



Pêches et Océans  
Canada

Fisheries and Oceans  
Canada

Sciences des écosystèmes  
et des océans

Ecosystems and  
Oceans Science

## Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

---

Document de recherche 2019/032

Région du Pacifique

# Évaluation de la robustesse des procédures de gestion des pêches à la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) en Colombie-Britannique, au Canada, pour 2017-2018

Sean Cox<sup>1</sup>, Kendra Holt<sup>2</sup> et Sam Johnson<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> School of Resource and Environmental Management  
Simon Fraser University  
888 University Drive  
Burnaby (C.-B.) V5A 1S6

<sup>2</sup> Station biologique du Pacifique  
Pêches et Océans Canada  
3190, chemin Hammond Bay  
Nanaimo (C.-B.) V9T 6N7

<sup>3</sup> Landmark Fisheries Research, Ltd  
430 Ioco Road  
Port Moody (C.-B.) V3H 2W2

---

### Avant-propos

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

### Publié par :

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

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2019  
ISSN 2292-4272

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

Cox, S., Holt, K., Johnson, S. 2019. Évaluation de la robustesse des procédures de gestion des pêches à la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) en Colombie-Britannique, au Canada, pour 2017-2018. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2019/032. vi + 87 p.

### Also available in English :

Cox, S., Holt, K., Johnson, S. 2019. *Evaluating the robustness of management procedures for the Sablefish (*Anoplopoma fimbria*) fishery in British Columbia, Canada for 2017-18. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/032. vi + 79 p.*

---

---

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	7
1 INTRODUCTION.....	1
2 MÉTHODES.....	2
2.1 Objectifs et mesures du rendement .....	2
2.1.1 Objectifs en matière de pêche .....	2
2.1.2 Mesures du rendement.....	3
2.2 Procédures de gestion.....	3
2.2.1 Procédure de gestion actuelle (PGactuelle).....	4
2.2.2 Procédures de gestion de remplacement.....	6
2.3 Modèle opérationnel et scénarios .....	7
2.4 Simulations de rétroaction.....	9
3 RÉSULTATS DES SIMULATIONS.....	10
3.1 Exemple de répétitions de la simulation .....	10
3.2 Rendement des procédures de gestion.....	11
3.2.1 Rendement des procédures de gestion : scénario de référence .....	11
3.2.2 Rendement des procédures de gestion : Scénario de productivité élevée (PÉ) ...	12
3.2.3 Rendement des procédures de gestion : Scénario de productivité faible (PF).....	13
3.2.4 Rendement des procédures de gestion : Biomasse du stock reproducteur élevée (BSRé) 14	
3.2.5 Rendement des procédures de gestion : Faible biomasse du stock reproducteur en 2016 (BSRf) .....	14
3.3 Résumé du rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs .....	15
4 DISCUSSION.....	16
4.1 Rendement par rapport aux objectifs .....	16
4.2 Répercussions de la stratégie de gestion sur la pêche en 2017-2018.....	18
4.3 Limites .....	19
4.4 Conclusions .....	20
5 REMERCIEMENTS.....	21
6 RÉFÉRENCES CITÉES.....	21
7 TABLEAUX .....	23
8 FIGURES.....	35
ANNEXE A : MODÈLE DE PRODUCTION UTILISÉ DANS LES PROCÉDURES DE GESTION.....	45
Structure du modèle.....	45
Fonction de probabilité .....	46
Distributions a priori .....	47
ANNEXE B : TABLEAUX DE DONNÉES.....	50
Prises conservées.....	50

---

Prises remises à l'eau .....	50
Estimation des prises pour le reste de l'année 2016 .....	51
Indices de l'abondance.....	51
ANNEXE C : DIAGNOSTICS DE L'AJUSTEMENT DU MODÈLE OPÉRATIONNEL.....	56
ANNEXE D : RÉSULTATS DE LA SIMULATION – SÉRIES SUR LES ÉPUISEMENTS ET SUR LES PRISES .....	68
ANNEXE E : RÉSULTATS DE LA SIMULATION – TAUX DE RÉCOLTE .....	78

---

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Statistiques sur le rendement calculées pour chaque répétition de la simulation d'une combinaison d'une procédure de gestion/d'un scénario. ....	23
Tableau 2. Composante de la règle de contrôle des prises associée à la procédure de gestion de la morue charbonnière. ....	25
Tableau 3. Procédures de gestion candidates évaluées pour la pêche à la morue charbonnière en Colombie-Britannique.....	26
Tableau 4. Caractéristiques distinctives des scénarios de productivité du modèle opérationnel S1 à S5.....	28
Tableau 5. Rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs pour le scénario de référence du modèle opérationnel.....	29
Tableau 6. Rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs pour le scénario de productivité élevée (PÉ) du modèle opérationnel. Voir la légende du Tableau 5 pour prendre connaissance des définitions des termes. ....	30
Tableau 7. Rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs pour le scénario de productivité faible (PF) du modèle opérationnel. ....	31
Tableau 8. Rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs pour le scénario de BSR <sub>f2017</sub> élevée du modèle opérationnel. ....	32
Tableau 9. Rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs pour le scénario de BSR <sub>f2017</sub> faible du modèle opérationnel. ....	33
Tableau 10. Rendement moyen (pondéré) des procédures de gestion pour les cinq scénarios du modèle opérationnel.....	34

---

## LIST DE FIGURES

Figure 1. Distributions conjointes à posteriori de l'inclinaison de la pente de la relation stock-recrutement versus a) la biomasse des génitrices de morues charbonnières en 2016 ou b) le rendement maximal soutenu. ....	35
Figure 2. Biomasse du stock de génitrices, prises et recrutement dans le modèle opérationnel en vertu du scénario de référence pour deux procédures de gestion : i) la procédure de gestion actuelle (PGactuelle, à gauche) et ii) une procédure de gestion de remplacement ne comportant pas de seuil de TAC et prévoyant un taux de récolte cible maximal de 0,055, une période de mise en place progressive sur cinq ans du nouveau taux de récolte cible et une autorisation de conservation de toutes les prises (FI0.00_TR5.5_ph5_frt, à droite). La ligne tirée verticale sépare la période historique de la période visée par les projections. ....	36
Figure 3. Exemple de profil rétrospectif des estimations de la biomasse à partir du modèle d'évaluation du stock ajusté en fonction de deux procédures de gestion de remplacement appliquées au modèle opérationnel de référence : i) la procédure de gestion actuelle (PGactuelle, à gauche) et ii) une procédure de gestion de remplacement ne comportant pas de seuil de TAC et prévoyant un taux de récolte cible maximal de 0,055, une période de mise en place progressive sur cinq ans du nouveau taux de récolte cible et une autorisation de conservation de toutes les prises (FI0.00_TR5.5_ph5_frt, à droite). ....	37
Figure 4. Composantes de la règle de contrôle des prises pour la procédure de gestion actuelle (PGactuelle, à gauche) et une procédure de gestion de remplacement ne comportant pas de seuil de TAC et prévoyant un taux de récolte cible maximal de 0,055, une période de mise en place progressive sur cinq ans du nouveau taux de récolte cible et une autorisation de conservation de toutes les prises (FI0.00_TR5.5_ph5_frt, à droite). ....	37
Figure 5. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices selon le modèle opérationnel (c.-à-d. $BSR_f / BSR_{f_0}$ ) (en haut), et des prises conservées (TAC) dans le cadre des procédures de gestion simulées (en bas) en vertu du <b>scénario de référence</b> . ....	39
Figure 6. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices selon le modèle opérationnel (c.-à-d. $BSR_f / BSR_{f_0}$ ) (en haut), et des prises conservées (TAC) dans le cadre des procédures de gestion simulées (en bas) en vertu du <b>scénario de productivité élevée</b> . ....	40
Figure 7. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices selon le modèle opérationnel (c.-à-d. $BSR_f / BSR_{f_0}$ ) (en haut), et des prises conservées (TAC) dans le cadre des procédures de gestion simulées (en bas) en vertu du <b>scénario de productivité faible</b> . ....	41
Figure 8. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices selon le modèle opérationnel (c.-à-d. $BSR_f / BSR_{f_0}$ ) (en haut), et des prises conservées (TAC) dans le cadre des procédures de gestion simulées (en bas) en vertu du <b>scénario de BSRf élevée</b> . ....	42
Figure 9. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices selon le modèle opérationnel (c.-à-d. $BSR_f / BSR_{f_0}$ ) (en haut), et des prises conservées (TAC) dans le cadre des procédures de gestion simulées (en bas) en vertu du <b>scénario de BSRf faible</b> . ....	43
Figure 10. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel en vertu du scénario de productivité faible et dans le cadre de la PG actuelle, comportant un seuil de 1 992 tonnes (en haut), d'une PG comportant un seuil inférieur de 1 800 tonnes et un taux de récolte maximal inférieur (au milieu) et d'une PG ne comportant pas de seuil et prévoyant un taux de récolte maximal inférieur et une période de mise en place progressive sur cinq ans (en bas). ....	44

---

## RÉSUMÉ

Pêches et Océans Canada (MPO) et l'industrie de la pêche à la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) de la Colombie-Britannique (C.-B.) ont collaboré à la mise en œuvre d'un processus d'évaluation de la stratégie de gestion depuis 2009. On suit ce processus pour élaborer et mettre en œuvre une stratégie de récolte transparente et durable pour la pêche à la morue charbonnière avec engins multiples. Le modèle opérationnel sous-jacent utilisé pour poser des hypothèses à propos de la dynamique du stock de morues charbonnières et de la pêche dans le cadre de l'évaluation de la stratégie de gestion a été récemment mis à jour pour inclure plusieurs changements structurels qui ont permis d'améliorer l'ajustement du modèle aux données et les estimations du recrutement historique qui en ont résulté. Le présent document met à jour l'évaluation de la stratégie de gestion de la morue charbonnière en intégrant ces améliorations au modèle opérationnel, puis met à l'essai la robustesse des procédures de gestion actuelle et de remplacement, pour des dynamiques des stocks incertaines. La procédure de gestion (PG) actuelle repose sur une règle de contrôle des prises, avec un taux de récolte (TR) maximal fixé au taux de récolte estimé au rendement maximal soutenu ( $U_{RMS}$ ), un seuil du total autorisé des captures (TAC) minimum de 1 992 tonnes et une limite de taille minimale de 55 cm. Neuf procédures de gestion de remplacement ont également été évaluées, lesquelles présentaient des différences dans l'utilisation des seuils des TAC, les taux de récolte maximaux de la règle de contrôle des prises, les périodes de mise en place progressive d'une nouvelle procédure de gestion et les règlements sur les remises à l'eau des poissons de taille inférieure à la taille réglementaire. Nous avons fait reposer nos cinq scénarios du modèle opérationnel sur des hypothèses plausibles concernant la productivité (c.-à-d. le paramètre de l'inclinaison de la pente de la relation géniteurs-recrues) et la biomasse actuelle du stock reproducteur. Le rendement des procédures de gestion a été classé au sein des scénarios et pondéré entre les scénarios du modèle opérationnel. Nos résultats montrent que la procédure de gestion actuelle ne permet pas d'atteindre les objectifs de conservation en vertu de chacun des cinq scénarios du modèle opérationnel. D'après le rendement moyen pondéré dans les cinq scénarios, les procédures de gestion qui comportaient des seuils de TAC ne permettaient pas d'atteindre les objectifs de conservation, tandis que les procédures de gestion qui ne comportaient pas de seuils de TAC pouvaient permettre d'atteindre ces objectifs. La longueur de la période de mise en place progressive d'un taux de récolte maximal inférieur n'a pas eu d'effet majeur sur le rendement de la procédure de gestion par rapport aux objectifs de conservation. Les procédures de gestion qui comprennent l'ajout de la conservation de toutes les prises (ce qui signifie ici que tous les poissons ayant atteint la taille réglementaire et d'une taille inférieure à la taille réglementaire [ $< 55$  cm] sont pris en considération pour le TAC) ont donné lieu à un meilleur rendement par rapport aux objectifs de conservation en comparaison avec les procédures de gestion identiques qui n'incluent pas la conservation de toutes les prises. En l'absence de la conservation de toutes les prises de morues charbonnières, une procédure de gestion comportant la mise en place progressive d'un nouveau taux de récolte maximal cible de 5,5 % sur cinq ans a pu permettre d'atteindre deux des objectifs de conservation, tout en fournissant des prises moyennes sur dix ans de 1 690 t, sous le seuil actuel du TAC de 1 992 t.

---

## 1 INTRODUCTION

Pêches et Océans Canada (MPO) et l'industrie de la pêche à la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) de la Colombie-Britannique (C.-B.) collaborent à la mise en œuvre d'un processus d'évaluation de la stratégie de gestion pour que l'on puisse élaborer et mettre en œuvre une stratégie de récolte transparente et durable. Le processus est en place depuis 2009 (Cox *et al.* 2009), des mises à jour ayant été effectuées en 2011 (Cox *et al.* 2011) et en 2014 (MPO 2014). La présente mise à jour de l'évaluation de la stratégie de gestion de la morue charbonnière intègre des améliorations apportées au modèle opérationnel sous-jacent qui est utilisé pour poser des hypothèses à propos de la dynamique du stock de morues charbonnières et des pêches (MPO 2016, Cox *et al.*<sup>1</sup>) et met à l'essai la robustesse des procédures de gestion actuelle et de remplacement pour des dynamiques du stock et des pêches qui sont incertaines.

L'évaluation de la stratégie de gestion est une démarche de gestion des pêches au cours de laquelle les conséquences d'un ensemble de procédures de gestion de remplacement sont comparées, de manière à exposer les compromis en matière de rendement au sein d'un éventail d'objectifs de gestion contradictoires (Smith 1993, Smith *et al.* 1999). Les procédures de gestion évaluées dans le cadre de l'évaluation de la stratégie de gestion comprennent trois principales composantes : la collecte de données, une évaluation de l'état du stock et des décisions de gestion des pêches reposant sur les résultats de l'évaluation. Au sein d'un processus d'évaluation de la stratégie de gestion, on se sert d'analyses de simulation en boucle fermée pour quantifier le rendement de procédures de gestion de remplacement au sein d'un éventail de modèles opérationnels, chacun d'eux reposant sur une hypothèse différente à propos de la dynamique du stock et des pêches sous-jacente.

Tout au long du processus d'évaluation de la stratégie de gestion de la morue charbonnière en Colombie-Britannique, on a mené des consultations auprès des participants de l'industrie et des gestionnaires des pêches pour établir des objectifs de pêche mesurables, relever les procédures de gestion candidates, relever les principales incertitudes et évaluer les compromis acceptables en matière de rendement par rapport à des objectifs contradictoires (Cox et Kronlund 2008, Cox et Kronlund 2009, Cox *et al.* 2009, Cox *et al.* 2011, MPO 2014). Les procédures de gestion candidates évaluées pour la morue charbonnière couvrent un vaste éventail de démarches de gestion, incluant des règles de décision reposant sur des données, des modèles d'évaluation des prises selon l'âge, des modèles d'évaluation de la production excédentaire, les contraintes liées aux changements annuels du TAC, des règlements visant à réduire les remises à l'eau de morues charbonnières dont la taille est inférieure à la taille réglementaire et qui sont pêchées à l'aide d'engins multiples et l'ajout d'un seuil de prises pour l'application des règles de décision concernant la récolte (Cox et Kronlund 2009, Cox *et al.* 2011, MPO 2014). De même, les scénarios du modèle opérationnel pour la morue charbonnière se sont concentrés sur la représentation d'un vaste éventail d'incertitudes, y compris concernant la productivité, le degré d'épuisement du stock reproducteur, la mortalité naturelle, la mortalité par remise à l'eau, les taux de croissance et l'autocorrélation au niveau du recrutement (Cox et Kronlund 2009, Cox *et al.* 2011).

Un modèle opérationnel mis à jour pour la morue charbonnière a été élaboré en janvier 2016 (MPO 2016, Cox *et al.*<sup>1</sup>). Le modèle opérationnel révisé comprend des changements structurels qui permettent d'améliorer l'ajustement à la composition selon l'âge et aux données sur les remises à l'eau, par comparaison avec la structure du modèle opérationnel précédent, y compris l'inclusion d'erreurs liées au vieillissement et un élargissement à un modèle des deux sexes, lequel permet de tenir compte de différences dans la croissance, la mortalité et la maturation des morues charbonnières mâles et femelles. Ces changements ont permis d'améliorer la série chronologique du recrutement des morues charbonnières d'âge 1 en

---

réduisant l'autocorrélation non réaliste qui était présente dans les résultats de l'application du modèle précédent. Les estimations révisées du recrutement indiquent la présence de fortes classes d'âge de la morue charbonnière, qui sont semblables du point de vue du moment et de l'ampleur aux estimations effectuées pour le golfe d'Alaska. L'amélioration de la série chronologique sur le recrutement a également contribué à mieux expliquer le profil temporel des remises à l'eau, ce qui donne à penser qu'il pourrait être possible d'améliorer l'évaluation des règlements visant à réduire les remises à l'eau dans toutes les pêches qui ont été pris dans le cadre de l'examen de l'évaluation de la stratégie de gestion de la morue charbonnière de 2011 (Cox *et al.* 2011).

## 2 MÉTHODES

### 2.1 OBJECTIFS ET MESURES DU RENDEMENT

#### 2.1.1 Objectifs en matière de pêche

Objectifs pour la Colombie-Britannique. La pêche à la morue charbonnière a été développée de façon itérative par l'entremise de consultations entre des gestionnaires des pêches, des chercheurs et des intervenants de l'industrie (Cox et Kronlund 2009, Cox *et al.* 2011, MPO 2014). Les cinq objectifs principaux qui régissent cette pêche sont les suivants :

1.  $P(\text{BSRf} > \text{PRL})$  : Maintenir la biomasse du stock reproducteur de femelles (BSRf) au-dessus du point de référence limite  $\text{PRL} = 0,4 B_{\text{RMS}}$ , où  $B_{\text{RMS}}$  est la biomasse des génitrices selon le modèle opérationnel au rendement maximal soutenu (RMS) durant 95 % des années où des mesures ont été prises sur deux générations de morues charbonnières (36 ans);
2.  $P(\text{déclin})$  : Lorsque la biomasse du stock reproducteur de femelles se situe entre  $0,4 B_{\text{RMS}}$  et  $0,8 B_{\text{RMS}}$ , limiter la probabilité du déclin au cours des dix prochaines années de très faible (5 %) à la valeur de  $B_{\text{RMS}}$  de 0,4 à modérée (50 %) à la valeur de  $B_{\text{RMS}}$  de 0,8; À des niveaux intermédiaires de l'état du stock, définir la tolérance au déclin en effectuant une interpolation linéaire entre ces probabilités.
3.  $P(\text{BSRf} > B_{\text{RMS}})$  : Maintenir la biomasse du stock reproducteur de femelles au-dessus du niveau cible de a)  $B_{\text{RMS}}$  ou b)  $0,8 B_{\text{RMS}}$  lorsqu'on enregistre une reconstitution à partir de la zone de prudence durant la moitié des années où des mesures ont été prises, sur deux générations de morues charbonnières;
4.  $P(\text{prises} > 1\,992)$  : Hausser le plus possible la probabilité que les niveaux de prises annuels demeurent au-dessus de 1 992 tonnes, tel que mesuré sur deux générations de morues charbonnières;
5. Prises moyennes : Hausser le plus possible les prises annuelles moyennes sur dix ans selon l'atteinte des objectifs 1 à 4.

Aux fins de la présente évaluation de la stratégie de gestion, l'objectif 4 [ $P(\text{prises} > 1\,992)$ ] est proposé pour que l'on puisse refléter les niveaux de prises minimales actuelles acceptables pour l'industrie de 1 992 tonnes (MPO 2014). La procédure de gestion actuelle pour la morue charbonnière de la Colombie-Britannique repose sur un seuil de TAC de 1 992 tonnes pour faire en sorte que cet objectif soit rempli avec une certitude de 100 %, lequel objectif agit essentiellement comme une mesure de protection économique pour la pêche. Cependant, compte tenu des nouvelles estimations du recrutement et de la mortalité par remise à l'eau des poissons de taille inférieure à la taille réglementaire, cet objectif pourrait ne pas être atteignable 100 % du temps.

---

## 2.1.2 Mesures du rendement

L'évaluation des procédures de gestion par simulation exige qu'on dispose d'un indicateur de rendement quantitatif pour chaque objectif en matière de pêche. Les indicateurs de l'état du stock sont tous mesurés d'après la biomasse du stock reproducteur de femelles réelle au sein du modèle opérationnel. Nous faisons porter notre évaluation sur deux générations de morues charbonnières (36 ans) en tant que cadre temporel « raisonnable » requis par l'approche de précaution du MPO et à court terme, sur dix ans, pour refléter les intérêts économiques de l'industrie.

Les statistiques sur le rendement correspondant à chacun des objectifs 1 à 5, ainsi que d'autres chiffres d'intérêt, sont énumérés au Tableau 1. Chaque statistique est calculée pour une répétition de la simulation, et le rendement escompté pour une procédure de gestion en particulier est résumé par la moyenne (ou la médiane) des 100 répétitions de chaque simulation.

## 2.2 PROCÉDURES DE GESTION

Nous définissons une procédure de gestion comme une combinaison de données de surveillance, d'une méthode d'évaluation du stock, d'une règle de contrôle des prises et de mesures régissant la remise à l'eau des morues charbonnières de taille inférieure à la taille réglementaire. Dans la présente section, nous décrivons la procédure de gestion actuellement utilisée pour la pêche à la morue charbonnière en Colombie-Britannique (MPO 2014) ainsi que neuf procédures de gestion candidates supplémentaires.

Pour décrire les procédures de gestion, nous utilisons les termes  $B_{\text{inférieur}}$  et  $B_{\text{supérieur}}$  pour définir les points de contrôle opérationnels (PCO) reposant sur la biomasse qui sont utilisés au sein de la règle de contrôle des prises de morues charbonnières. Les PCO représentent le niveau d'état du stock auquel une réponse en matière de gestion est prise, et diffèrent des points de référence reposant sur la biomasse (PRL et cible) qui ont été utilisés pour définir les objectifs en matière de gestion de la morue charbonnière à la section 2.1. On utilise les valeurs des PCO de  $B_{\text{inférieur}} = 0,4 B_{\text{RMS}}$  et  $B_{\text{supérieur}} = 0,6 B_{\text{RMS}}$  pour déclencher des changements dans les taux de récolte cibles dans le cadre de la règle de contrôle des prises, tandis que les objectifs en matière de gestion sont exprimés par rapport à un PRL =  $0,4 B_{\text{RMS}}$  et une cible =  $B_{\text{RMS}}$  ou une cible =  $0,8 B_{\text{RMS}}$ .

Toutes les procédures de gestion reposent sur les mêmes données et les mêmes méthodes d'évaluation du stock, à l'exception d'un petit changement qui a été apporté à l'ajustement des distributions a priori des paramètres du modèle d'évaluation du stock pour certaines procédures de gestion (voir la description ci-après). Les solutions de remplacement à la procédure de gestion actuelle présentaient des différences quant à leur utilisation de seuils de TAC, aux taux de récolte maximaux dans le cadre de la règle de contrôle des prises, aux périodes de mise en place progressive des nouveaux taux de récolte cibles ainsi qu'aux règlements sur la remise à l'eau des poissons de taille inférieure à la taille réglementaire.

Les morues charbonnières capturées dont la taille est inférieure à la limite réglementaire de 55 cm doivent être remises à l'eau par règlement dans toutes les pêches pratiquées en Colombie-Britannique. Cette limite a été tout d'abord déterminée au moyen d'analyses du rendement par recrue qui présupposaient i) que la pêche était pratiquée par une seule flottille et ii) une capacité, soit d'éviter complètement les morues charbonnières dont la taille est inférieure à la limite de taille, soit de remettre à l'eau les poissons de taille inférieure à la taille réglementaire sans qu'une mortalité ne soit associée.

---

Aucune de ces conditions n'est actuellement vraie pour la morue charbonnière de la Colombie-Britannique. Les trois flottilles de pêche à la morue charbonnière affichent différentes sélectivités en matière de taille et différentes intensités de la pêche. Durant la période pour laquelle nous disposons d'estimations directes grâce à la présence d'observateurs ou à des journaux de bord vérifiés par vidéo, les trois flottilles combinées ont donné lieu à des remises à l'eau de poissons de taille inférieure à la taille réglementaire allant de 307 à 646 tonnes par année, ce qui représente de 11 à 24 % des prises débarquées. Les estimations actuelles de la mortalité par remise à l'eau pour les pêches au casier (15 %), à la palangre (30 %) et au chalut (80 %) donnent à penser que les remises à l'eau pourraient avoir une incidence importante sur le taux de croissance de la population de morues charbonnières et le rendement disponible aux tailles réglementaires supérieures à 55 cm.

Une évaluation initiale de la conservation de toutes les prises, quelle que soit leur taille, a été entreprise dans le cadre de l'évaluation de la stratégie de gestion de la morue charbonnière de 2011 (Cox *et al.* 2011). En tant que solution de remplacement au règlement actuel établissant la limite de taille à 55 cm, l'option de la « conservation de toutes les prises » exige que toutes les pêches conservent toutes les morues charbonnières capturées, quelle que soit leur taille. Tandis que les résultats des analyses par simulation de l'évaluation de la stratégie de gestion de 2011 montraient que les procédures de gestion reposant sur la conservation de toutes les morues charbonnières affichaient un meilleur rendement général de la pêche par comparaison avec les options qui maintenaient la limite de taille réglementaire actuelle à 55 cm, les avantages étaient moins importants que prévu. On a relevé que les limites structurelles du modèle opérationnel de 2011 représentaient des explications possibles de ces petites différences. La mise à jour récente du modèle opérationnel traitait plusieurs de ces limites, ce qui a permis d'améliorer l'ajustement du modèle aux données de la composition selon l'âge et aux données sur les remises à l'eau dans le cadre de la pêche au chalut (Cox *et al.*<sup>1</sup>). Les estimations mises à jour des taux d'exploitation de morues charbonnières de taille inférieure à la taille réglementaire affichent des valeurs considérablement plus élevées que les estimations précédentes, ce qui donne à penser que la réévaluation de l'option de la conservation de toutes les prises pourrait engendrer des résultats différents de ceux qui ont été enregistrés en 2011. Compte tenu de l'amélioration de l'ajustement du modèle au nouveau modèle opérationnel, les résultats des analyses actuelles devraient être plus réalistes que ceux produits durant l'évaluation de 2011.

Les sections ci-après décrivent d'abord la procédure de gestion actuelle, puis on présente des descriptions des neuf procédures de gestion de remplacement que nous avons évaluées et qui renferment chacune des variations dans la règle de contrôle des prises et dans le règlement relatif à la conservation de toutes les prises qui a été appliqué.

### **2.2.1 Procédure de gestion actuelle (PGactuelle)**

Les exigences en matière de données pour la procédure de gestion actuelle comprennent les débarquements totaux de morues charbonnières dans toutes les pêches de la Colombie-Britannique et trois indices de l'abondance reposant sur les captures par unité d'effort (CPUE). La composante du modèle d'évaluation du stock de la procédure de gestion ignore les remises à l'eau et la mortalité par remise à l'eau, de sorte que les données simulées sur les prises totales reposent sur les débarquements totaux regroupés pour tous les types d'engins. Il

---

<sup>1</sup> Cox, S.P., Kronlund, A.R., Lacko, L. et Jones, M. A Revised Operating Model for Sablefish in British Columbia, Canada. Document de travail du CASP 2014GRF03. *En cours de révision.*

---

convient de noter que le processus de remise à l'eau et la mortalité continuent d'exister dans le modèle opérationnel.

Les trois indices de l'abondance simulés sont les suivants :

1. CPUE dans la pêche commerciale au casier (1979-2009);
2. CPUE durant le relevé normalisé au casier (1991-2009);
3. CPUE durant le relevé aléatoire stratifié au casier (de 2003 jusqu'à présent).

Les indices de l'abondance reposant sur la pêche commerciale et sur le relevé normalisé au casier ne sont pas simulés après 2009. À partir de 2009, le relevé aléatoire stratifié au casier produit le seul indice d'abondance qui soit généré à partir du modèle opérationnel. Les analyses précédentes réalisées dans le cadre de l'évaluation de la stratégie de gestion pour la pêche à la morue charbonnière en Colombie-Britannique ont montré que les procédures de gestion n'utilisant que le relevé aléatoire stratifié au casier après 2009 se traduisaient par un rendement en matière de conservation qui était semblable à celui des procédures reposant à la fois sur le relevé aléatoire stratifié au casier et sur le relevé normalisé au casier (Cox *et al.* 2011).

Pour tous les relevés, les observations relatives au CPUE énoncées ci-devant sont simulées en tant qu'observations suivant une distribution logarithmique normale corrigée pour éviter les biais,

$$I_{g,t} = q_g B_{g,t}^{exp} e^{\sigma_g \epsilon_{g,t} - \sigma_g^2 / 2}$$

où  $g$  est un indice indiquant la série de relevés ( $g = 1, 2, \text{ ou } 3$ ),  $t$  est l'année,  $q_g B_{g,t}^{exp}$  sont les CPUE attendues pour un relevé  $g$  et durant une année  $t$ , qui est la biomasse exploitable dérivée du relevé ( $B_{exp}$ ) mise à l'échelle en fonction de la capturabilité dans le relevé ( $q$ ),  $\epsilon_{g,t}$  est l'écart-type normal et  $\sigma_g$  est l'écart-type logarithmique des observations. Les écarts-types de l'erreur d'observation  $\sigma_g$  et les paramètres de la capturabilité  $q_g$  sont estimés durant le conditionnement du modèle opérationnel.

La composante de l'évaluation du stock de la procédure de gestion implique l'ajustement d'un modèle de production excédentaire de l'état-espace aux séries de données présentées ci-devant (annexe A). Le modèle d'évaluation permet d'estimer la biomasse exploitable actuelle ( $\hat{B}_T$ ), le taux d'exploitation et la biomasse au rendement maximal soutenu ( $\hat{U}^{RMS}$  et  $\hat{B}^{RMS}$ , respectivement) et les prévisions de la biomasse exploitable pour l'année à venir ( $\hat{B}_{T+1}$ ). Il convient de noter que la biomasse exploitable,  $\hat{B}_T$ , estimée durant l'évaluation, ne correspond pas à un relevé particulier, car les données sur les prises reposent sur les débarquements uniquement.

Les estimations des paramètres sont ensuite utilisées dans une règle de contrôle des prises à deux étapes (Tableau 2) en vertu de laquelle la première étape établit un TAC préliminaire compte tenu de la biomasse exploitable prévue ( $\hat{B}_{T+1}$ ). Le taux d'exploitation cible utilisé dans cette étape est établi à un maximum de  $\hat{U}^{RMS}$  lorsque la biomasse prévue se situe au-dessus du point de contrôle opérationnel supérieur ( $\hat{B}_{supérieur} = 0,6\hat{B}^{RMS}$ ) et diminue de façon linéaire  $\hat{U}^{RMS}$  jusqu'à zéro tandis que la biomasse prévue décline de  $\hat{B}_{supérieur}$  au point de contrôle opérationnel inférieur ( $\hat{B}_{inférieur} = 0,4\hat{B}^{RMS}$ ). La deuxième étape consiste à modifier le TAC préliminaire de sorte qu'il se situe au niveau du seuil minimal du TAC ou au-dessus de celui-ci, le seuil correspondant au TAC établi en 2013-2014 de 1 992 tonnes. Les seuils des prises offrent un moyen d'intégrer les objectifs annuels minimaux en matière de prises directement dans la règle de contrôle des prises. L'application d'un seuil des prises peut également

---

permettre de réduire la variabilité annuelle des prises, qui est une autre mesure importante du rendement de la pêche. En vertu de la procédure de gestion actuelle, toutes les morues charbonnières capturées dont la taille est inférieure à la taille réglementaire minimale de 55 cm de longueur à la fourche sont remises à l'eau et vulnérables face à la mortalité par remise à l'eau dans le modèle opérationnel. Nous faisons référence à la procédure de gestion actuelle en utilisant l'abréviation **PGactuelle**.

### 2.2.2 Procédures de gestion de remplacement

Des simulations préliminaires ont indiqué que la procédure de gestion actuelle pourrait ne pas être robuste à long terme en vertu du nouveau modèle opérationnel, compte tenu notamment des incertitudes entourant la productivité. L'amélioration du rendement à long terme en matière de conservation implique généralement de faire des compromis entre les rendements à court terme et à long terme; cependant, le seuil actuel du TAC limite la portée pour ajuster le rendement de la procédure de gestion actuelle à n'importe quelle période. Dans la présente section, nous faisons dériver neuf procédures de gestion de remplacement de combinaisons de seuils des TAC, de taux d'exploitation cibles maximaux ( $U_{\max}$ ), de périodes de mise en place progressive au cours desquelles de nouveaux taux d'exploitation maximaux inférieurs sont introduits graduellement et d'un règlement autorisant la conservation de toutes les morues charbonnières dont la longueur est inférieure à 55 cm (voir l'explication dans la section suivante).

Pour toutes les procédures de gestion de remplacement décrites ci-après (numérotées de PG2 à PG10), nous avons inclus une nouvelle contrainte sur les changements à la hausse du TAC, en vertu de laquelle le TAC demeure à un niveau particulier jusqu'à ce que le TAC recommandé augmente d'au moins 200 tonnes. Ce changement a été demandé par l'industrie pour que l'on puisse limiter les déplacements vers le haut inutiles du TAC. En outre, les neuf procédures de gestion de remplacement présentaient des différences par rapport à la procédure de gestion actuelle dans le degré d'ajustement qui a été utilisée pour définir les distributions a priori de  $F_{\text{RMS}}$  et du RMS durant l'évaluation simulée du stock. Les PG2 à PG10 ont été associés à des distributions à priori plus serrées et légèrement plus précises pour ces paramètres, afin que l'on puisse refléter les réductions correspondantes de ces valeurs dans le modèle opérationnel mis à jour. La différence la plus importante entre les distributions à priori de la PGactuelle et de toutes les autres procédures de gestion concernait l'écart-type de  $F_{\text{RMS}}$ . Tandis que la PGactuelle utilisait une distribution a priori de *Normal* (0,08 et 0,04) pour  $F_{\text{RMS}}$ , les PG2 à PG10 reposaient sur une distribution a priori de *Normal* (0,07 et 0,005). Par comparaison, les différences dans les distributions a priori de RMS étaient négligeables. Des analyses de sensibilité portant sur les effets de la distribution a priori de  $F_{\text{RMS}}$  sur le rendement de la PGactuelle ont montré que, tandis les distributions a priori plus précises réduisaient le TAC moyen d'environ 1 %, le classement relatif de la PGactuelle ne changeait pas avec l'utilisation de nouveaux paramètres de la distribution a priori de  $F_{\text{RMS}}$  (les résultats ne sont pas montrés). C'est ce à quoi on s'attendait, car les analyses préliminaires ont montré que l'enjeu avec la procédure de gestion actuelle n'était pas la précision de l'évaluation, mais le seuil de prises qui créait un effet de rétroaction positif menant à une surpêche soutenue. Nous avons choisi de maintenir les distributions a priori moins informatives de  $F_{\text{RMS}}$  et le RMS qui ont été utilisés dans des analyses précédentes réalisées dans le cadre de l'évaluation de la stratégie de gestion pour la PGactuelle, de sorte que les résultats de notre évaluation soient comparables à ceux obtenus en utilisant la vieille formulation du modèle opérationnel pour cette procédure de gestion.

**PG2 - FI1.992\_TR5.5** : Nous avons combiné le seuil de 1 992 tonnes avec un taux d'exploitation des intrants fixe  $U_{\max} = 0.055$  au lieu de  $U^{\text{ms}}$  estimé chaque année dans le cadre

---

de l'évaluation du stock en vertu de la procédure de gestion actuelle. Cela a pour effet de conserver les prises actuelles au niveau ou au-dessus du seuil, tout en permettant également aux prises de suivre les changements vers le haut du stock au fil du temps. On a choisi la valeur particulière de 0,055 par essais et erreurs en tant que valeur du taux de récolte cible en vertu de la procédure de gestion qui produisait une exploitation concrétisée de morues charbonnières de taille réglementaire qui se situait près du taux de récolte réglementaire optimal du modèle opérationnel. Nous fournissons des exemples graphiques de cet effet dans la section portant sur les résultats.

**PG3-FI1.992\_TR5.5\_frt** : Cette procédure ajoute une option de conservation de toutes les prises à la PG2. En vertu de cette procédure, toutes les morues charbonnières sont débarquées, quelle que soit leur taille.

**PG4-FI1.80\_TR5.5** : Cette procédure est la même que la PG2, mais avec un seuil de 1 800 tonnes.

**PG5-FI1.80\_TR5.5\_frt** : Cette procédure est la même que la PG4, avec un règlement autorisant la conservation de toutes les prises.

**PG6-FI0.00\_TR5.5** : Cette procédure est la même que la PG2, mais sans seuil de TAC.

**PG7-FI0.00\_TR5.5\_ph3** : Cette procédure est la même que la PG6, mais avec un taux de récolte cible maximal passant de 0,08 en 2017 à 0,055 en 2019 (mise en place progressive sur trois ans d'un taux de récolte cible inférieur). Il s'agit d'une forme de protection de recharge pour l'industrie, qui ne comporte pas les risques associés à une politique de prises constantes. La mise en place progressive vise à maintenir des TAC viables minimums tandis que les stocks se rétablissent.

**PG8-FI0.00\_TR5.5\_ph4** : Cette procédure est la même que la PG7, mais avec une période de mise en place progressive sur quatre ans.

**PG9-FI0.00\_TR5.5\_ph5** : Cette procédure est la même que la PG7, mais avec une période de mise en place progressive sur cinq ans.

**PG10-FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt** : Cette procédure est la même que la PG9, mais avec un règlement autorisant la conservation de toutes les prises.

Un résumé des dix procédures de gestion candidates considérées est présenté au Tableau 3.

## 2.3 MODÈLE OPÉRATIONNEL ET SCÉNARIOS

Le modèle opérationnel mis à jour concernant la morue charbonnière qui a été élaboré en janvier 2016 (MPO 2016; Cox *et al.*<sup>1</sup>) met en œuvre un modèle des deux sexes structuré selon l'âge pour que l'on tienne compte des différences dans la croissance, la mortalité et la maturation des morues charbonnières mâles et femelles. Ce modèle remplace le modèle des deux sexes combinés qui a été utilisé dans les analyses afférentes à l'évaluation de la stratégie de gestion qui ont été réalisées en 2011 et en 2014 (Cox *et al.* 2011, MPO 2014). Les trois changements structurels supplémentaires qui ont été apportés au modèle de 2016 sont les suivants : une matrice des erreurs liées au vieillissement qui a été appliquée aux proportions des âges dans le modèle, une probabilité révisée de la composition selon l'âge logistique multivariée qui réduit la sensibilité du modèle aux proportions des âges plus jeunes et la capacité de modéliser la sélectivité variable en fonction du temps. Ces changements ont amélioré l'ajustement du modèle aux données sur la composition selon l'âge et sur les remises à l'eau par comparaison avec le modèle opérationnel précédent, et ont réduit l'autocorrélation irréaliste au niveau du recrutement qui est présente dans les estimations du modèle précédent. Nous renvoyons les lecteurs à Cox et ses collaborateurs<sup>1</sup> pour une description du modèle

---

opérationnel mis à jour, y compris une évaluation approfondie de l'ajustement du modèle aux données et des profils rétrospectifs.

Nous avons utilisé le scénario de données « D2 : scénario de référence avec la correction de l'erreur liée au vieillissement – long » de Cox et ses collaborateurs<sup>1</sup> pour conditionner les modèles opérationnels pour nos analyses de simulation. En vertu de ce scénario, le modèle opérationnel est ajusté aux données suivantes :

1. série chronologique des prises conservées entre 1965 et 2016, y compris trois types de pêche commerciale (casier, palangre et chalut de fond) et deux relevés de recherche;
2. série chronologique des remises à l'eau entre 1996 et 2016 pour la pêche au chalut et entre 2006 et 2016 pour la pêche au casier et à la palangre;
3. indices de l'abondance relative calculés en fonction des prises par unité d'effort (CPUE) commerciales (1979-2009), du relevé normalisé au casier (1991-2009) et du relevé aléatoire stratifié au casier (2003-2015);
4. données sur la composition selon l'âge issues de la pêche commerciale au casier de morues charbonnières, du relevé normalisé au casier et du relevé aléatoire stratifié au casier.

Les descriptions détaillées de ces ensembles de données sont présentées dans Cox et ses collaborateurs<sup>1</sup>. Aux fins de la présente analyse, nous mettons à jour les données du modèle opérationnel pour inclure une année supplémentaire (annexe B). Les diagnostics d'ajustement du modèle reposant sur des données mises à jour à la fin de 2016 sont montrés à l'annexe C. Une démarche d'estimation bayésienne reposant sur l'utilisation d'une simulation de Monte Carlo par chaîne de Markov a été utilisée pour produire des estimations des paramètres a posteriori pour les scénarios du modèle opérationnel décrits ci-après. D'après les estimations dérivées des données sur la récupération d'étiquettes posées sur des morues charbonnières relâchées, on a présumé que la sélectivité des tailles dans la pêche au chalut était en forme de dôme et constante au fil des années (Annexe E de Cox et ses collaborateurs<sup>1</sup>). La sélectivité des tailles était également en forme de dôme et constante au fil du temps pour les pêches au casier et à la palangre, bien que le degré d'inclinaison du dôme fût faible dans le cas de la pêche à la palangre.

Nous utilisons cinq scénarios de modèle opérationnel pour mettre à l'essai les procédures de gestion candidates, en divisant celles-ci selon un scénario du cas attendu dérivé des valeurs des paramètres moyens a posteriori et quatre scénarios de robustesse (Rademeyer *et al.* 2007, Cox *et al.* 2013, Punt *et al.* 2016). Le scénario du cas attendu représente l'hypothèse la plus plausible à propos de la dynamique du stock et des pêches, et doit être utilisé en tant que point de départ principal pour l'évaluation du rendement de la procédure de gestion candidate (Punt *et al.* 2016). Les scénarios de robustesse sont considérés comme étant moins vraisemblables que le scénario de référence, mais sont encore plausibles et, ainsi, sont importants si l'on veut établir la sensibilité dans des conditions potentiellement extrêmes (Cox *et al.* 2013, Punt *et al.* 2016).

Nous avons fait reposer nos scénarios du modèle opérationnel sur des hypothèses plausibles concernant la productivité (c.-à-d. le paramètre de l'inclinaison de la pente de la relation géniteurs-recrues) et la biomasse actuelle du stock reproducteur. Le modèle opérationnel du scénario de référence reposait sur l'utilisation de la valeur moyenne a posteriori (c.-à-d. attendue) de l'inclinaison de la pente et de la  $BSRf_{2016}$ . Les quatre scénarios restants ont été choisis en ajustant une distribution normale multivariée à la distribution conjointe a posteriori de ces deux variables, et en sélectionnant quatre points sur la même ellipse de percentile qui permettait de rendre compte du 80<sup>e</sup> percentile central marginal de chaque valeur a posteriori du

---

paramètre (figure 1a). Pour chacune des cinq paires d'inclinaison de la pente –  $BSRf_{2016}$  définie, le point a posteriori de la méthode de Monte Carlo par chaîne de Markov (MCMC) qui se situe le plus près de la paire a été relevé, et les échantillons de MCMC correspondants pour tous les autres paramètres principaux et les termes d'erreur ont été utilisés pour conditionner le modèle opérationnel selon chaque scénario. Les quatre solutions de rechange au scénario de référence représentaient les combinaisons suivantes :

1. productivité élevée et  $BSRf_{2017}$  moyenne (PÉ)
2. productivité faible et  $BSRf_{2017}$  moyenne (PF)
3. productivité moyenne et  $BSRf_{2017}$  élevée (BSRé)
4. productivité moyenne et  $BSRf_{2017}$  faible (BSRf)

Cette démarche nous a permis de rendre compte des incertitudes entourant l'inclinaison de la pente de la relation stock-recrutement et la biomasse actuelle du stock reproducteur sans simulation de toutes les combinaisons de paramètres possibles à partir de la distribution a posteriori du modèle opérationnel. Tandis que la corrélation a posteriori entre la biomasse du stock reproducteur actuelle et l'inclinaison de la pente de la relation stock-recrutement est elle-même assez faible, l'ajustement d'une distribution normale bivariée pour lisser les valeurs a posteriori permet de rendre compte de cette corrélation (Figure 1b). Les principaux paramètres du modèle pour chaque scénario de modèle opérationnel sont présentés au Tableau 4.

## 2.4 SIMULATIONS DE RÉTROACTION

Nous utilisons l'algorithme de simulation en boucle fermée suivant pour évaluer chaque procédure de gestion candidate (p. ex. Walters 1986, de la Mare 1998, Cooke 1999, Punt et Smith 1999, Sainsbury *et al.* 2002, Butterworth 2007) :

1. Définir une procédure de gestion reposant sur un seuil de TAC et sur un règlement concernant les poissons de taille inférieure à la taille réglementaire en vertu de la règle de contrôle des prises;
2. Initialiser un scénario de modèle opérationnel pré-conditionné pour la période (de 1965 à 2016) reposant sur des données historiques;
3. Prévoir la population et les pêches selon le modèle opérationnel pour un intervalle de temps dans l'avenir. À chaque étape s'applique ce qui suit :
  - a. Produire les données sur les prises et les données dérivées des relevés qui seront disponibles pour l'évaluation du stock;
  - b. Appliquer la méthode d'évaluation du stock aux données pour estimer les quantités requises par la règle de contrôle des prises;
  - c. Appliquer la règle de contrôle des prises pour produire une limite des prises;
  - d. Mettre à jour la population selon le modèle opérationnel compte tenu du taux de mortalité par pêche engendré par la limite des prises et par le règlement sur les poissons de taille inférieure à la taille réglementaire et du nouveau recrutement;
  - e. Répéter les étapes 3i à 3iv jusqu'à la fin de la période visée par les projections.
4. Calculer les statistiques quantitatives sur le rendement pour les répétitions.
5. Répéter les étapes 2 à 4 pour 100 répétitions.

---

## 3 RÉSULTATS DES SIMULATIONS

### 3.1 EXEMPLE DE RÉPÉTITIONS DE LA SIMULATION

Dans cette section, nous présentons les résultats du modèle opérationnel pour le scénario de référence en vertu de la procédure de gestion actuelle (PGactuelle) et de la procédure de gestion FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt, qui est probablement celle qui offre le meilleur rendement général. Cette dernière comprend à la fois une mise en place progressive sur cinq ans d'un taux de récolte cible inférieur de 5,5 % et un règlement autorisant la conservation de toutes les prises. Toutes les autres procédures de gestion se situent, de façon générale, entre ces deux extrêmes. En vertu du scénario de référence, la biomasse du stock reproducteur de femelles (BSRf) au sein du modèle opérationnel devrait, d'après les projections, augmenter au cours de la période allant de 2016 à 2026, quelle que soit la procédure de gestion. Cela s'explique principalement par le recrutement élevé récent à l'âge 1 qui est déjà présent au sein de la population du modèle opérationnel (Figure 2), et qui devrait alimenter une forte croissance de la BSRf. Durant la phase de croissance, la PGactuelle consiste à maintenir le TAC au seuil actuel de 1 992 tonnes, tandis que la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt commence par réduire le TAC, puis suit le taux de croissance au fil du temps. Les deux procédures maintiennent des TAC élevés ou, même, en augmentation, tandis que la BSRf commence à décliner à la fin des années 2020, lorsque la cohorte abondante de poissons recrues en 2013-2014 se fondra dans la population. La principale différence entre les deux procédures de gestion commence à apparaître aux alentours de 2035, lorsque la PGactuelle reviendra au seuil du TAC, tandis que la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt continuera de reposer sur une réduction du TAC jusqu'à ce que la BSRf montre des signes de rétablissement. Cette tendance générale est à l'origine de la plus grande partie des différences dans le rendement à long terme de la conservation, c'est-à-dire que la plupart des effets des stratégies de récolte différentes se feront sentir après que les recrues de 2013-2014 progresseront au sein de la population. La variabilité dans le recrutement futur prévu de la morue charbonnière semble similaire aux profils de recrutement historiques, d'après une comparaison visuelle entre les périodes de temps historiques et projetées (Figure 2, panneaux du bas).

Les évaluations simulées du stock diffèrent entre les deux procédures de gestion, car les distributions a priori de  $F_{RMS}$  et le RMS selon la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt seraient plus bas et plus précis par comparaison avec ceux qui sont associées à la PGactuelle. Les évaluations réalisées en vertu de la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt finissent par être moins variables que celles réalisées en vertu de la PGactuelle, comme le montre la distribution plus serrée des ajustements rétrospectifs du modèle (lignes grises) à la Figure 3. Cependant, les deux procédures de gestion sont semblables en ce qui concerne les niveaux généraux de la biomasse. Comme le montrent les profils d'estimation rétrospective à la Figure 3, les évaluations simulées comportent des biais concernant la BSRf et la biomasse exploitable dans le modèle opérationnel. Dans les deux cas, les séries chronologiques sur la biomasse estimées grâce au modèle de production excédentaire tendent à être inférieures à la biomasse réglementaire et supérieures à la BSRf dans le modèle opérationnel (Figure 3). Ce biais est dû au fait que i) le modèle de production repose sur l'hypothèse selon laquelle il n'existe qu'un seul stock de géniteurs/de poissons exploitables et ii) l'évaluation ne tient compte que des prises débarquées, ce qui a un effet négatif sur le biais menant à une sous-estimation de la biomasse exploitable.

Les différences dans les résultats du modèle opérationnel et dans le rendement de l'évaluation simulée mènent à différents profils des composantes de la règle de contrôle des prises pour la PGactuelle et pour la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt (Figure 4). Premièrement, les distributions a priori plus serrées dans les évaluations de la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt mènent à une variabilité

---

moins importante des points de contrôle opérationnels de la règle de contrôle des prises (c.-à-d.  $B_{\text{inférieur}}$  et  $B_{\text{supérieur}}$ ). Les deux évaluations estiment que la biomasse se situe près de  $B_{\text{RMS}}$  pour la plus grande partie de la période visée par la simulation. Les taux de récolte concrétisée déclinent à court terme en vertu des deux procédures de gestion, tandis que le stock croît. Cependant, après 2018, les deux procédures de gestion donnent lieu à des résultats en matière de taux de récolte très différents. Près de la fin de l'horizon temporel de la simulation pour la PGactuelle, une règle de contrôle des prises obéissant au principe de précaution recommande de faire chuter le taux de récolte cible à zéro (panneau du bas), mais le seuil conserve le TAC à 1 992 tonnes. En conséquence, la PGactuelle mène à un taux de récolte en augmentation continue qui peut atteindre plus du double du taux optimal de  $U_{\text{RMS}}$  pour le modèle opérationnel. En revanche, la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt maintient un taux de récolte concrétisée inférieur après 2035, puis réduit celui-ci encore davantage en réponse au déclin du stock. Le taux de récolte concrétisée sur le stock du modèle opérationnel demeure en réalité près de la valeur estimée par l'évaluation, et l'ajustement à la baisse inverse le déclin. Il convient de noter que, dans toutes ces simulations, la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt avait l'avantage de permettre une conservation de toutes les prises, de sorte qu'il y a i) une correspondance exacte entre les prises débarquées et la mortalité totale relative aux prises, ce qui contribue à favoriser le modèle d'évaluation, et ii) une mortalité globale inférieure des petits poissons, ce qui permet davantage de production à l'appui de la croissance et du rétablissement du stock.

## **3.2 RENDEMENT DES PROCÉDURES DE GESTION**

Cette section présente les distributions selon les projections de l'épuisement de la BSRf, des prises et du taux de récolte pour certaines procédures de gestion. Nous avons élargi la liste des procédures de gestion utilisées pour présenter les résultats dans la section précédente (PGactuelle et PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt) pour inclure également deux variantes de cette dernière, l'une sans période de mise en place progressive ou sans conservation de toutes les prises (FI0.00\_TR5.5), et l'autre comportant une période de mise en place progressive sur cinq ans seulement (FI0.00\_TR5.5\_ph5). Les distributions selon les projections pour les dix procédures de gestion et les cinq scénarios sont présentées, en ce qui concerne l'épuisement et les prises, à l'annexe D et, en ce qui concerne le taux de récolte réglementaire, à l'annexe E.

### **3.2.1 Rendement des procédures de gestion : scénario de référence**

La distribution selon les projections de la BSRf en vertu de la PGactuelle appliquée au scénario de référence reflète la répétition unique présentée dans la section précédente, c'est-à-dire que le stock croît au cours des dix premières années, après quoi le risque de déclin en deçà du PRL augmente pendant le reste de la période visée par les projections (Figure 5). Lorsque la PGactuelle est appliquée au scénario de référence, la BSRf est inférieure au PRL environ 7 % du temps (Tableau 5), tandis que la BSRf médiane commence à se stabiliser juste en dessous de la zone saine (la zone saine étant  $> 0,8 B_{\text{RMS}}$ ; veuillez noter que les lignes de référence à la Figure 5 ne sont montrées que pour le PRL et pour  $B_{\text{RMS}}$ ). Les prises débarquées en vertu de la PGactuelle augmentent durant les dix premières années, tandis que le stock croît, puis se stabilisent au cours de la dernière partie de la période visée par la simulation, bien que le TAC soit principalement limité à moins de 2 600 tonnes (Figure 5; Tableau 5).

La PG FI0.00\_TR5.5 (c.-à-d. absence de seuil, taux de récolte cible inférieur, absence de période de mise en place progressive et pas de conservation de toutes les prises) mène à une croissance continue du stock pendant l'ensemble de la période visée par la simulation et à une chance quasiment nulle de  $BSRf < PRL$  (Tableau 5). Le niveau médian d'épuisement du stock s'approche de  $0,8 B_{\text{RMS}}$  près de la fin de la période visée par les projections (Figure 5). Le coût de ce niveau de rendement en matière de conservation est une diminution initiale du TAC en

---

2017 à environ 1 500 tonnes, des prises moyennes sur dix ans près de 1 900 tonnes, mais des prises possibles supérieures à 2 100 tonnes durant les dix premières années visées par les projections. Comme avec toutes les procédures de gestion rétroactives, les prises ont tendance à suivre des changements à la hausse de la biomasse du stock, mais les TAC atteignent rarement plus de 3 000 tonnes (Figure 5).

L'application de la période de mise en place progressive sur cinq ans pour s'ajuster au nouveau taux de récolte cible inférieur de 5,5 % n'a pas d'effet mesurable sur le rendement à long terme en matière de conservation, en maintenant essentiellement la  $BSRf > PRL$  100 % du temps (Tableau 5) et en permettant au stock de croître jusqu'à  $0,8 B_{RMS}$  à long terme (Figure 5). La période de mise en place progressive mène à un TAC prévu en 2017 de 2 150 tonnes, avec une chute de la médiane de brève durée juste en dessous de 2 000 tonnes d'ici la fin des cinq premières années. Le rendement à long terme des prises est ensuite identique à celui constaté pour la procédure de gestion correspondante, sans la période de mise en place progressive.

Enfin, la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt complète affiche les avantages en matière de conservation d'une règle de contrôle des prises reposant sur l'approche de précaution (c.-à-d. en permettant une variation des prises selon l'abondance), outre l'avantage supplémentaire d'une réduction considérable de la mortalité des morues charbonnières de taille inférieure à la taille réglementaire. En conséquence, le stock croît de façon continue vers  $B_{RMS}$  et, en réalité, atteint une  $BSRf$  de  $B_{RMS}$  médiane à la fin de la simulation. Ce résultat particulier montre que la mortalité des morues charbonnières de taille inférieure à la taille réglementaire pourrait empêcher d'atteindre  $B_{RMS}$ , même en appliquant une règle de contrôle des prises idéale reposant sur l'approche de précaution. Toutes les PG FI0.00\_HR05.5 pourraient produire des résultats en matière de  $B_{RMS}$  en l'absence de mortalité de morues charbonnières de taille inférieure à la taille réglementaire. La PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt produit également les prises moyennes sur dix ans les plus élevées de 2 033 tonnes. Cette PG représente ainsi une option « gagnant gagnant », tant pour la conservation que pour les prises de morues charbonnières débarquées.

### **3.2.2 Rendement des procédures de gestion : Scénario de productivité élevée (PÉ)**

Le scénario de productivité élevée de la relation stock-recrutement est principalement défini par un paramètre d'inclinaison de la pente de  $h = 0,63$ . Le taux de récolte réglementaire optimal pour ce modèle opérationnel (0,05; Tableau 4) est supérieur d'environ 14 % à celui qui est associé au scénario de productivité attendue (0,044). Cependant, la taille actuelle du stock, qui est légèrement plus faible, pour le scénario de PÉ mène à un taux d'exploitation initial plus élevé et, en conséquence, à un impact négatif des prises à court terme (Figure 6). Le seuil de 1 992 tonnes pour la PGactuelle, en particulier, mène à un vaste éventail de résultats au chapitre de la biomasse des génitrices au cours de la première décennie des simulations (Figure 6). Le rendement à court terme en matière de conservation de la PGactuelle est en réalité plus mauvais pour le scénario de PÉ que pour le scénario de référence. À l'horizon temporel de la simulation sur deux générations,  $BSRf$  était inférieur au PRL environ 10 % du temps, tandis que la probabilité de déclin au cours des dix premières années était de 29 % (Tableau 6).

Compte tenu de la productivité du stock qui est supérieure à la moyenne, toutes les procédures, sauf la PGactuelle, entraînaient une croissance assez rapide du stock jusqu'à  $B_{RMS}$  ou plus, à la fin de la période visée par la simulation (Figure 6; annexe D). Toutes les probabilités de  $BSRf > PRL$  étaient conformes aux exigences de l'objectif 1, et les probabilités de déclin de la  $BSRf$  au cours des dix premières années étaient de 2 % ou moins (Tableau 6). Cependant, contrairement au scénario de référence, toutes les PG de remplacement affichaient des prises

---

moyennes sur dix ans inférieures à celles enregistrées pour la PGactuelle. À long terme, la plupart des PG affichaient des prises moyennes plus élevées au cours de la dernière partie de la période visée par la simulation, par comparaison avec la PGactuelle, en raison d'une biomasse du stock supérieure.

### **3.2.3 Rendement des procédures de gestion : Scénario de productivité faible (PF)**

Le scénario de productivité faible de la relation stock-recrutement est principalement défini par un paramètre d'inclinaison de la pente de  $h = 0,48$ . Le taux de récolte réglementaire optimal pour ce modèle opérationnel (0,036; Tableau 4) est inférieur d'environ 18 % à celui qui est associé au scénario de productivité attendue. À ce niveau de productivité, la BSRf était très proche du PRL en 2016, ce qui a entraîné des risques de déclin à court terme relativement plus élevés (Figure 7).

Pour le scénario de PF, la PGactuelle donne lieu à une probabilité de 59 % de voir la BSRf inférieure au PRL sur deux générations de morues charbonnières et de 62 % d'assister à un déclin au cours des dix premières années (Tableau 7). Les prises moyennes sur dix ans sont les mêmes que dans d'autres scénarios, mais, à long terme, les TAC chutent pour la PGactuelle dans certaines répétitions de la simulation, lorsque la BSRf chute en deçà de 5 % du niveau non exploité. Lorsque cela se produit, le seuil de 1 992 tonnes ne peut plus s'appliquer.

Les PG de remplacement qui ne comportent pas de seuils de TAC permettaient toutes de maintenir une probabilité d'au moins 94 % de conserver la BSRf supérieure au PRL, et s'accompagnaient de probabilités de déclin sur dix ans de 8 % (avec conservation de toutes les prises) ou de 15 % (sans conservation de toutes les prises), ces deux valeurs étant supérieures à la probabilité de déclin acceptable de 6 % (Tableau 7). À long terme, ces procédures qui ne comportent pas de seuil se traduisent par une croissance du stock au-dessus du PRL et vers la  $B_{RMS}$ , bien qu'aucune d'entre elles n'entraîne une probabilité de plus de 18 % d'atteindre  $0,8 B_{RMS}$  sur deux générations. À la fin de la période visée par la simulation, toutes ces PG ne comportant pas de seuils affichent des BSRf médianes qui se situent au milieu de la zone de prudence (Figure 7). Les prises moyennes sur dix ans pour ces PG sont caractérisées par une incertitude très importante, allant de creux de 780 tonnes à des pics de 2 000 tonnes, avec des médianes qui oscillent environ entre 1 300 et 1 400 tonnes.

En vertu du scénario de productivité faible, les procédures de gestion qui ne comportent pas de seuils de TAC maintenaient une rétroaction négative entre la biomasse du modèle opérationnel et les taux de récolte concrétisée du modèle opérationnel, permettant ainsi au stock de croître vers des tailles plus importantes en réponse à un bon recrutement. Les fluctuations dans la taille du stock sont compensées par des taux de récolte cibles inférieurs lorsque le niveau des stocks est bas, et par des taux de récolte cibles élevés lorsque le niveau des stocks est élevé. En général, ces taux de récolte fluctuent autour du taux de récolte optimal pour le modèle opérationnel (Figure 10, panneau du bas).

En revanche, les procédures qui comportent des seuils de TAC (Figure 10; panneaux du haut et du milieu) entraînent un piètre rendement à long terme en matière de conservation, car le fait de maintenir les prises constantes crée une rétroaction positive en vertu de laquelle les taux de récolte concrétisée augmentent lorsque les stocks déclinent. Cela commence à apparaître généralement aux alentours du milieu de l'horizon temporel des simulations (p. ex. 2027-2037), tandis que le recrutement récent élevé s'estompe et que le recrutement futur ressemble davantage à la relation moyenne stock-recrutement. Dans certains cas, des taux de

---

recrutement très élevés compensent les déclin; cependant, dans la plupart des cas, les taux de récolte augmentent au fil du temps pour s'établir à des valeurs bien supérieures à  $U_{RMS}$ .

### **3.2.4 Rendement des procédures de gestion : Biomasse du stock reproducteur élevée (BSRé)**

Nous avons défini le scénario d'une BSRé des femelles en fonction d'un niveau de biomasse des génitrices a posteriori de 11,5 tonnes en 2017 (Tableau 4). Bien que la BSRf en 2017 soit plus importante pour ce scénario comparativement au scénario de référence, le niveau d'épuisement en 2017 était semblable ( $BSRf_{2017} / B_0 = 0,21$  pour le scénario de BSRé et 0,2 pour le scénario de référence). Le paramètre de l'inclinaison de la pente pour ce scénario s'établit à 0,56, ce qui est près de la valeur de 0,57 qui est utilisée dans le scénario de référence. En conséquence, les quantités qui sont liées au RMS, y compris  $U_{RMS}$  et  $B_{RMS}$ , sont également près de celles qui correspondent au scénario de référence (Tableau 4).

En vertu du scénario de BSRé, la PGactuelle présente une probabilité de 10 % de voir la BSRf inférieure au PRL sur deux générations de morues charbonnières, et une probabilité de 25 % d'assister à un déclin au cours des dix premières années (Tableau 8). Comme prévu, les prises moyennes sur dix ans de 2 060 tonnes sont supérieures d'environ 4 % aux prises en vertu des autres scénarios, ce qui est causé par la biomasse absolue plus élevée dans le cadre de ce scénario. De la même manière, les prises maximales sont plus élevées que dans d'autres scénarios, se chiffrant à 2 270 tonnes (Tableau 8). Cependant, les prises médianes demeurent près du seuil du TAC au cours de la période visée par les projections, ce qui indique une faible croissance de la biomasse en vertu de la PGactuelle (Figure 8).

Comme pour le scénario de PÉ, toutes les PG, sauf la PGactuelle et la PG F11.992\_TR5.5, ont permis d'atteindre l'objectif 1 [ $P(BSRf > PRL)$ ] et l'objectif 2 [ $P(\text{déclin})$ ] (Tableau 8). Les procédures qui s'accompagnaient d'une conservation de tous les poissons juvéniles affichaient le meilleur rendement, quel que soit le seuil du TAC, avec des prises moyennes plus élevées et une probabilité plus élevée de sortir vers le haut de la zone de prudence. Les procédures de gestion qui ne s'accompagnaient pas d'une conservation de tous les poissons juvéniles affichaient une croissance plus lente. Le TAC moyen sur dix ans pour la PGactuelle était de 13 à 19 % plus élevé que celui qui était associé aux PG ne comportant pas de seuil ou comportant un seuil fixé à 1 800 tonnes. Bien que les PG restantes présentaient des TAC moyens sur dix ans inférieurs à ceux établis pour la PGactuelle, les TAC médians pour ces PG ont grimpé au-dessus du seuil au cours de la période visée par les projections (figures D-3 à D-10, à l'annexe D).

### **3.2.5 Rendement des procédures de gestion : Faible biomasse du stock reproducteur en 2016 (BSRf)**

Le scénario de BSRf des femelles est défini par un niveau de biomasse des génitrices de 8,72 tonnes en 2017 (Tableau 4), ce qui correspond à un niveau d'épuisement en 2017 de  $BSRf_{2017} / B_0 = 0,16$ . Le paramètre de l'inclinaison de la pente pour ce scénario s'établit à 0,56, ce qui est près de la valeur de 0,57 qui est utilisée dans le scénario de référence. Comme dans le cas de la BSRé, les quantités associées au RMS, y compris  $U_{RMS}$  et  $B_{RMS}$ , sont près de celles qui sont associées au scénario de référence (Tableau 4).

En vertu du scénario de BSRf, la PGactuelle présente une probabilité de 56 % de voir la BSRf inférieure au PRL, et une probabilité de 46 % d'assister à un déclin au cours des dix premières années (Tableau 9). Les prises moyennes sur dix ans sont également élevées pour la PGactuelle et pour les deux PG qui s'accompagnent de seuils fixés à 1 992 tonnes et de taux de récolte maximaux fixés à 5,5 % (F11.992\_TR5.5 et F11.992\_TR5.5\_frt). Cependant, aucune

---

de ces PG, sauf la PGactuelle, ne permettait d'atteindre l'objectif 1 [ $P(\text{BSRf} > \text{PRL})$ ] ou l'objectif 2 [ $P(\text{déclin})$ ].

Aucune des dix PG évaluées ne permettait d'atteindre l'objectif 1 [ $P(\text{BSRf} > \text{PRL})$ ] selon le scénario de BSR faible avec la probabilité requise de 95 %. Cependant, toutes les PG qui ne comportaient pas de seuils de TAC permettaient de maintenir la BSRf supérieure au PRL au moins 90 % du temps. En outre, les mêmes PG affichaient toutes des probabilités de déclin acceptables (tableau 9). Bien que la période visée par les projections ait commencé tandis que le stock se situait à l'extrémité inférieure de la zone de prudence, toutes les PG ne comportant pas de seuils de TAC permettaient à la biomasse médiane de croître au moins jusqu'à la moitié de la zone de prudence au cours des projections, les TAC médians dépassant le seuil au cours de la deuxième moitié de la période visée par les projections (figures E6 à E10, à l'annexe E). Ce comportement s'explique par le même effet de rétroaction négatif que celui qui est observé dans le scénario de PF, où des TAC inférieurs ont entraîné une diminution des taux de récolte effectifs, ce qui a permis à la procédure de gestion d'atteindre un taux optimal au cours d'environ la moitié des simulations à la fin de la période visée par les projections.

En revanche, l'utilisation de seuils de TAC sans conservation de toutes les prises de poissons juvéniles favorisait des rétroactions positives dans le taux de récolte. En maintenant les TAC constants, ces procédures de gestion permettaient d'éliminer efficacement la production excédentaire au niveau inférieur de la biomasse. Cet effet s'est traduit par une biomasse médiane plate au niveau du PRL, ce qui indique une probabilité de 50 % d'assister à une croissance nulle ou négative. Cet effet de rétroaction positive a été atténué dans le cas des options prévoyant la conservation de toutes les prises, où la pression de la pêche réduite sur les classes plus âgées s'est traduite par une croissance plus élevée du stock. Cependant, les TAC médians pour les procédures de gestion accompagnées de seuils et d'autorisations de conservation de toutes les prises (c.-à-d. F11.992\_TR5.5\_frt et F11.80\_TR5.5\_frt) n'ont commencé à augmenter que durant les dix dernières années de la période visée par les projections (figures D-3 et D-5, annexe D).

### **3.3 RÉSUMÉ DU RENDEMENT DES PROCÉDURES DE GESTION PAR RAPPORT AUX OBJECTIFS**

Le Tableau 10 présente le rendement des procédures de gestion pondérées par scénario. Des pondérations ont été attribuées aux scénarios en fonction des densités de probabilité calculées à chaque point associé à la productivité- $\text{BSRf}_{2017}$  de la distribution normale bivariée ajustée à la distribution conjointe a posteriori, ce qui a entraîné une probabilité de 36 % pour le scénario de référence attendu et à des probabilités de 16, 16, 15 et 17 %, respectivement, pour les scénarios de PÉ, PF, de BSRé et de BSRf.

D'après le rendement moyen pondéré des cinq scénarios du modèle opérationnel, les PG qui comportaient des seuils de TAC ne permettaient pas d'atteindre les objectifs de conservation (objectif 1 [ $P(\text{BSRf} > \text{PRL})$ ] et l'objectif 2 [ $P(\text{déclin})$ ]), tandis que les PG qui ne comportaient pas de seuils de TAC permettaient d'atteindre ces objectifs (Tableau 10). Les procédures de gestion qui comprenaient l'ajout d'une autorisation de conservation de toutes les prises affichaient habituellement un meilleur rendement par rapport aux objectifs de conservation que les procédures de gestion identiques sans cette autorisation.

La procédure de gestion actuelle ne permettait pas d'atteindre les trois objectifs de conservation, quel que soit le scénario du modèle opérationnel associant la productivité à la biomasse du stock reproducteur, et a été, de façon constante, classée en dernier pour ce qui est de son rendement en matière de conservation. En vertu du nouveau modèle opérationnel, la

---

PGactuelle affichait une probabilité de  $BSRf > PRL$  de 0,76 d'après son rendement pondéré, ce qui est contraire à la définition de l'objectif 1.

La PG de remplacement FI1.992\_TR5.5, qui combine le seuil établi pour la PGactuelle à un nouveau taux de récolte cible maximal inférieur, affichait le deuxième plus mauvais rendement par rapport aux objectifs de conservation (Tableau 10). Lorsque la PG FI1.992\_TR5.5 était combinée à une autorisation de conservation de toutes les prises (FI1.992\_TR5.5\_frt), le rendement en matière de conservation se classait au troisième rang parmi les meilleurs pour les scénarios de référence et de BSRé (Tableau 5 et Tableau 8, respectivement). Cependant, le rendement général pondéré pour cette PG était mauvais en raison d'un piètre rendement dans les scénarios de PF et de BSRf (Tableau 7 et Tableau 9).

La PG FI0.00\_TR5.5\_frt se comportait le mieux d'après le rendement pondéré par rapport aux deux objectifs de conservation et à l'objectif 4 concernant les prises (probabilité de  $TAC > 1\ 992$  tonnes = 0,52). Cette PG se situait parmi la moitié supérieure des PG affichant le meilleur rendement par rapport à l'objectif 5 (optimisation des prises; prises moyennes sur dix ans = 1 730 tonnes). Cependant, les prises moyennes sur dix ans associées à cette PG étaient de 18 % inférieures à celles associées à la PGactuelle, qui était la procédure affichant le meilleur rendement par rapport à l'objectif 5.

Parmi les procédures de gestion qui permettaient d'atteindre l'objectif 1 [ $P(BSRf > PRL)$ ] et l'objectif 2 [ $P(\text{déclin})$ ] sans conservation de toutes les prises, la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5 affichait la plus forte probabilité d'être associée à un  $TAC > 1\ 992$  tonnes et à des prises moyennes sur dix ans les plus élevées. Les périodes de mise en place progressive du nouveau taux de récolte inférieur plus courtes n'avaient que peu d'effets sur l'objectif 3b [c.-à-d.  $P(BSRf > 0,8 B_{RMS})$ ]. Comme les autres PG qui ne comportent pas de seuils de TAC, il y a une probabilité de 44 % de voir la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5 s'accompagner de TAC inférieurs au seuil actuel de 1 992 tonnes au cours des dix premières années de la période visée par les projections, le 5<sup>e</sup> percentile inférieur se situant dans la fourchette de 1 270 tonnes (Tableau 10, C min.). D'autre part, la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5 pouvait également s'accompagner de TAC bien au-dessus du seuil actuel durant les dix premières années de la période visée par les projections, l'extrémité supérieure se trouvant dans la fourchette de 2 150 tonnes (Tableau 10, C max.). Dans l'ensemble, le niveau de variabilité interannuelle de ces TAC se situait juste en dessous de 13 % pour cette procédure de gestion.

Aucune procédure de gestion ne permettait d'atteindre l'objectif 3b, qui consiste à maintenir la  $BSRf > 0,8 B_{RMS}$  plus de la moitié du temps sur deux générations de morues charbonnières. Dans tous les scénarios de productivité faible ou élevée, les PG qui s'accompagnaient d'une autorisation de conservation de toutes les prises, comme la PG FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt, permettaient d'atteindre une  $BSRf$  médiane supérieure à  $0,8 B_{RMS}$  la dernière année.

## 4 DISCUSSION

### 4.1 RENDEMENT PAR RAPPORT AUX OBJECTIFS

Dans le présent document, nous avons utilisé un nouveau modèle opérationnel pour évaluer le comportement en matière de conservation et de rendement de procédures de gestion de remplacement aux fins de l'établissement de niveaux de récolte annuels dans le cadre de la pêche à la morue charbonnière en Colombie-Britannique. D'après le rendement moyen pondéré associé à cinq scénarios, les procédures de gestion qui comportaient des seuils de TAC ne permettaient pas d'atteindre l'objectif de conservation 1 des pêches [ $P(BSRf > PRL)$ ], que ces procédures soient combinées ou non avec une autorisation de conservation de toutes les morues charbonnières de longueur inférieure à 55 cm. En l'absence de seuils de TAC et

---

d'autorisation de conservation de toutes les prises, une procédure de gestion qui prévoit la mise en place progressive d'un nouveau taux de récolte cible maximal de 5,5 % sur cinq ans permettraient d'atteindre l'objectif 1 [ $P(\text{BSRf} > \text{PRL})$ ] et l'objectif 2 [ $P(\text{déclin})$ ], tout en permettant des prises moyennes sur dix ans de 1 690 tonnes. Cette procédure (FI0.00\_TR5.5\_ph5) comporte un certain risque de voir les TAC se situer dans la fourchette des 1 200 à 1 300 tonnes au cours des dix premières années, ce qui serait bien en deçà du seuil actuel du TAC établi par l'industrie.

Aucune des procédures de gestion évaluées ne permettait d'atteindre l'objectif 3a [ $P(\text{BSRf} > B_{\text{RMS}})$ ] et l'objectif 3b [ $P(\text{BSRf} > 0,8 B_{\text{RMS}})$ ] avec le degré de certitude requis en vertu des scénarios du modèle opérationnel. L'atteinte de ces objectifs exige que la biomasse du stock reproducteur demeure au-dessus de  $B_{\text{RMS}}$  (objectif 3a) ou de  $0,8 B_{\text{RMS}}$  (objectif 3b) si le stock se rétablit à l'extérieur de la zone de prudence, durant la moitié des années ayant fait l'objet de mesures sur deux générations de morues charbonnières. Dans le contexte d'un stock qui se rétablit, cet objectif exige que la biomasse du stock reproducteur atteigne ces niveaux cibles à mi-chemin de la trajectoire projetée (p. ex. dans les 18 ans). Plusieurs des procédures de gestion évaluées permettaient de promouvoir une croissance du stock vers  $B_{\text{RMS}}$  d'ici la fin de la période de 36 ans visée par les projections (p. ex. celles qui comportaient des taux de récolte maximaux de 5,5 % et celles qui s'accompagnaient d'une autorisation de conservation de tous les poissons de taille inférieure à la taille réglementaire). Cependant, aucune des procédures de gestion ne permettait d'atteindre ce niveau et de demeurer au-dessus de celui-ci durant la 18<sup>e</sup> année. Ce résultat diffère de ceux d'analyses précédentes de la stratégie de gestion, qui ont affiché des possibilités plus élevées d'une croissance de la biomasse en vertu de procédures de gestion semblables à celles mises à l'essai dans le présent travail. Dans notre évaluation, l'incapacité des procédures de gestion d'atteindre les objectifs 3a [ $P(\text{BSRf} > B_{\text{RMS}})$ ] et 3b [ $P(\text{BSRf} > 0,8 B_{\text{RMS}})$ ] s'explique par une combinaison de l'état du stock actuel, qui se situe aux alentours de  $0,45 B_{\text{RMS}}$ , et d'une productivité faible des morues charbonnières, laquelle est représentée dans le modèle opérationnel mis à jour par comparaison avec les versions précédentes (p. ex.  $U_{\text{RMS}}$  est maintenant estimé à 5,5 % par rapport à 6 % dans le modèle opérationnel de 2011). Si on veut atteindre les objectifs 3a et 3b, il faudra prendre en considération des PG de remplacement qui permettront d'autres réductions des prises que les PG présentées ici. Par ailleurs, si l'on reconnaît que le rétablissement de stocks qui croissent lentement comme ceux de la morue charbonnière exige plus d'une génération, les objectifs et le rendement associés au rétablissement des stocks au niveau de points de référence cibles comme  $B_{\text{RMS}}$  pourraient être structurés de sorte qu'ils exigent une probabilité de 50 % d'atteindre la cible à la 36<sup>e</sup> année, plutôt que d'exiger l'atteinte de la cible durant 50 % des années. Les itérations précédentes de l'évaluation de la stratégie de gestion de la morue charbonnière prévoyaient des probabilités plus élevées d'atteindre ces objectifs en utilisant le vieux modèle opérationnel, en raison des estimations plus élevées de la productivité qui découlent de l'application du modèle précédent des sexes combinés.

Le nouveau modèle opérationnel de la morue charbonnière en Colombie-Britannique traite deux limites documentées des modèles précédents. En particulier, le nouveau modèle opérationnel structuré selon le sexe i) rend compte des différences dans la mortalité naturelle, la croissance et la sélectivité des morues charbonnières mâles et femelles, et ii) comprend une variabilité accrue du recrutement après avoir tenu compte des erreurs liées au vieillissement dans l'étape de conditionnement du modèle. Les estimations de la productivité globale de la morue charbonnière inférieures dans le cadre du nouveau modèle opérationnel donnent à penser que les tailles futures du stock seraient plus sensibles aux seuils de TAC qui sont utilisés pour protéger la pêche, et plus sensibles à la mortalité par remise à l'eau des morues charbonnières de longueur inférieure à 55 cm. La sensibilité aux seuils de TAC ne s'exprime généralement pas avant dix ans dans la période visée par les projections (pour le scénario de

---

référence), tandis que les morues charbonnières provenant de recrutements élevés récents se fondent dans la population. Contrairement à nos précédentes simulations dans le cadre de l'évaluation de la stratégie de gestion, on prévoit qu'un règlement autorisant la conservation de toutes les prises permettrait de compenser les taux de mortalité plus élevés associés aux seuils de TAC et, en fin de compte, d'offrir une meilleure protection de la pêche et du stock reproducteur futur.

Nous présentons le rendement des procédures de gestion classé par scénario, ainsi qu'un classement pondéré parmi les scénarios du modèle opérationnel. L'expérience acquise au cours des cinq dernières années à propos de la procédure de gestion actuelle donne à penser que les scénarios initiaux auraient été un peu trop optimistes en faisant reposer les décisions concernant les procédures de gestion sur le scénario le plus probable. Au cours des travaux précédents concernant l'évaluation de la stratégie de gestion pour cette pêche, on a principalement choisi les procédures de gestion d'après le scénario du modèle opérationnel le plus probable, les autres scénarios étant utilisés comme des tests de stress. Une condition, cependant, était à l'effet qu'aucune procédure de gestion ne devait être acceptable si elle ne permettait pas d'atteindre l'objectif 1 [ $P(\text{BSRf} > \text{PRL})$ ] dans tous les scénarios, y compris les tests de stress. Bien que la procédure de gestion actuelle ait donné des résultats positifs à ces tests initiaux (MPO 2014), elle n'a pas permis d'atteindre l'objectif 1 (c.-à-d. que la probabilité que BSRf soit supérieure au PRL était inférieure à 95 %) dans tous les scénarios de productivité. Le rendement en vertu du scénario de productivité faible était particulièrement faible, avec une probabilité supérieure à 60 % d'un déclin de la biomasse du stock reproducteur sur dix ans, et une probabilité de seulement 41 % de voir la biomasse du stock reproducteur se situer au-dessus du PRL. On prend ces risques en considération proportionnellement à leur crédibilité dans le modèle opérationnel lorsqu'on utilise le rendement moyen pondéré parmi tous les scénarios.

#### **4.2 RÉPERCUSSIONS DE LA STRATÉGIE DE GESTION SUR LA PÊCHE EN 2017-2018**

Bien que la procédure de gestion qui optimise le rendement des prises tout en faisant en sorte que les objectifs de conservation soient atteints comporte la conservation de toutes les prises de morues charbonnières (F10.00\_TR5.5\_ph5\_frt), la conservation de toutes les prises en tant qu'outil de gestion ne pourra probablement pas être mise en œuvre pour l'année de pêche 2017-2018. Parmi les options restantes en matière de procédures de gestion, les quatre règles de contrôle des prises qui ne prévoyaient aucun seuil et un taux de récolte maximal de 5,5 % (F10.00\_TR5.5, F10.00\_TR5.5\_ph3, F10.00\_TR5.5\_ph4 et F10.00\_TR5.5\_ph5) étaient les meilleures suivantes pour ce qui est de l'atteinte de l'objectif 1 [ $P(\text{BSRf} > \text{PRL})$ ], de l'objectif 2 [ $P(\text{déclin})$ ] et de l'objectif 3b [ $P(\text{BSRf} > 0,8 B_{\text{RMS}})$ ] d'après le rendement pondéré selon les cinq scénarios de productivité. Toutes ces PG permettaient d'atteindre les objectifs 1 et 2 avec le niveau de certitude requis, tandis qu'aucune d'entre elles ne permettait d'atteindre l'objectif 3b. Parmi ces quatre PG, l'augmentation du nombre d'années de la mise en place progressive de zéro à cinq ans a entraîné de faibles diminutions de la probabilité d'atteindre l'objectif 3b, mais l'amélioration du rendement par rapport aux deux objectifs concernant les prises (objectif 4 [ $\text{Pr}(\text{prises} > 1\,992 \text{ tonnes})$ ] et l'objectif 5 [prises moyennes]). Tandis que l'une de ces quatre procédures était le plus vraisemblablement la meilleure option parmi les PG sans conservation de toutes les prises évaluées dans le présent document, le choix final dépendra d'un compromis dans les préférences en matière de risque entre les objectifs 3b, 4 et 5. L'amélioration de la mesure du rendement par rapport à l'objectif 3b (la probabilité que la biomasse du stock reproducteur soit supérieure à  $0,8 B_{\text{RMS}}$  pendant une année donnée) va de 31 % à l'année zéro à 28 % à la cinquième année, tandis que les changements correspondants

---

dans le niveau de prises médianes sur dix ans (TAC) s'échelonnent entre 1 600 tonnes à l'année zéro et 1 690 tonnes à la cinquième année de la mise en place progressive.

Les TAC prévus pour la pêche en 2017-2018, reposant sur l'indice du relevé de 2015 qui est utilisé comme indicateur de l'indice du relevé de 2016, s'établissent à 1 380 tonnes pour la PG F10.00\_TR5.5 sans mise en place progressive et à 2 000 tonnes pour les trois autres PG qui comportent une période de mise en place progressive pour l'introduction d'un régime de taux de récolte maximal inférieur.

### 4.3 LIMITES

Le modèle opérationnel pour la morue charbonnière présente plusieurs incertitudes et défis en raison de limites dans les données et d'hypothèses fragiles concernant la dynamique des populations. On manque de données sur l'indice d'abondance et sur la composition selon l'âge pour tous les types d'engin durant la première partie des pêches (c.-à-d. dans les années 1960 et 1970). En outre, on manque de données sur la composition selon l'âge et la taille pour les pêches au chalut et à la palangre, ce qui signifie que nous continuons de nous fier fortement aux données de récupération des étiquettes des poissons remis à l'eau pour estimer la sélectivité des tailles dans ces pêches. L'échantillonnage biologique dans la pêche au casier continue d'être volontaire, bien que des données récentes semblent s'améliorer par rapport aux données recueillies dans les années 1980 et 1990. L'incidence des distributions a priori présumées de la mortalité naturelle et des paramètres de l'inclinaison de la pente au sein du modèle opérationnel n'a pas encore été minutieusement explorée pour le modèle opérationnel mis à jour, de sorte que, dans les analyses futures de la stratégie de gestion, on devrait envisager d'effectuer des essais de robustesse de ces distributions a priori.

Le manque de fermeture de la population de morues charbonnières en Colombie-Britannique est bien documenté grâce à des décennies de collecte de données sur la récupération des étiquettes des poissons remis à l'eau, tant au Canada qu'aux États-Unis. Bien que la majorité des morues charbonnières étiquetées soient recapturées en Colombie-Britannique, nous devons encore examiner le rôle relatif de la production locale par l'intermédiaire du frai par rapport aux déplacements nets en Colombie-Britannique à partir de l'habitat de la morue charbonnière dans le golfe d'Alaska, au nord, et sur la côte Ouest des États-Unis, au sud. Jusqu'à présent, les modèles structurés selon l'âge et le sexe ou les modèles de production de base ne semblent pas montrer un manque d'ajustement systématique ou des profils rétrospectifs indiquant une défaillance du modèle à l'ampleur observée durant les évaluations historiques du stock de flétans du Pacifique (avant la fusion de toutes les zones au sein d'un modèle unique pour l'ensemble de la côte). Cependant, l'hypothèse d'une population fermée s'entoure d'incertitudes importantes dans notre analyse. Des travaux futurs pourraient s'attaquer à mieux quantifier les taux de déplacement entre le Canada et les États-Unis en utilisant des données d'étiquetage et en envisageant des options pour une perspective sur le stock qui soit davantage concentrée sur l'ensemble de la côte.

Nous continuons de présumer que la biomasse de la population de morues charbonnières de la Colombie-Britannique se situait à l'équilibre non pêché en 1965, car il n'y a essentiellement pas d'espoir de pouvoir estimer librement une condition de départ sans équilibre pour ce modèle, compte tenu du manque de données à cette époque. Bien que les prises déclarées fussent faibles durant les années 1960, ce qui soutient l'hypothèse non pêchée, l'industrie de la pêche estime que des prises considérables n'ont pas été déclarées avant les années 1970. En réalité, une condition de départ sans équilibre pourrait être cohérente avec l'évaluation actuelle du stock du golfe d'Alaska, durant laquelle la biomasse du stock reproducteur commence près de  $0,75 B_0$  en 1960. Les travaux futurs d'évaluation de la stratégie de gestion devraient tenir compte d'autres hypothèses portant sur l'exploitation avant les années 1960. Les hypothèses

---

initiales sur l'abondance et la composition du stock pourraient être représentées dans le modèle opérationnel, soit en tant que paramètres fixés, soit en tant que paramètres estimés, à l'aide de distributions a priori hautement informatives.

La sélectivité des tailles de la morue charbonnière en Colombie-Britannique continue de présenter un défi pour la réalisation d'estimations. En particulier, la sélectivité des tailles dans le relevé aléatoire stratifié au casier de la morue charbonnière pourrait être surestimée pour les poissons d'âges 1 et 2 (annexe C, figure C-3). Nous n'avons pas encore évalué les répercussions d'une sélectivité biaisée, mais nous présumons qu'une surestimation des poissons d'âges 1 et 2 pourrait mener à de futurs indices dérivés des relevés affichant un biais positif. Cela pourrait avoir pour effet de simuler des TAC plus élevés que ceux qui seraient enregistrés en présence d'une sélectivité non biaisée lors du relevé, bien que l'ampleur soit incertaine. D'autre part, les taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel sont généralement maintenus près de  $U_{RMS}$ , donc, peut-être, le biais est compensé par un taux de récolte cible maximal inférieur de 5,5 %, lequel a été obtenu par essais et erreurs.

La diminution de l'abondance de la morue charbonnière en Colombie-Britannique est cohérente avec les résultats des évaluations récentes menées dans le golfe d'Alaska et sur la côte Ouest des États-Unis (Hanselman *et al.* 2015, Johnson *et al.* 2015). De même, les taux de récolte cible de 7 à 8 % en Colombie-Britannique sont semblables à ceux qui sont estimés pour le golfe d'Alaska. Les projections de la biomasse du stock reproducteur pour la population du golfe d'Alaska affichent des profils semblables à ceux qui sont présentées ici. Il est donc possible que les taux de récolte se situant dans cette fourchette soient trop élevés pour la morue charbonnière, comme semblent l'indiquer les estimations de 4 à 5 % en vertu de notre nouveau modèle opérationnel. La mortalité par remise à l'eau et les dommages supplémentaires dans le golfe d'Alaska représentent des pertes de production qui devraient faire l'objet d'études plus poussées en Colombie-Britannique et, qui, nous l'espérons, seront réduits le plus possible à l'avenir. Nos résultats, qui montrent qu'une pêche avec conservation de toutes les prises se comporte mieux en matière de conservation et de prises, devraient susciter des discussions et des recherches sur le bien-fondé de réduire les taux de mortalité chez les poissons non débarqués.

#### **4.4 CONCLUSIONS**

Le processus d'évaluation de la stratégie de gestion de la morue charbonnière en Colombie-Britannique a été établi, à l'origine, pour que l'on puisse élaborer un ensemble de règles de décision transparentes pour établir des TAC durables (Cox et Kronlund 2008). Depuis 2011, des décisions concernant la récolte annuelle ont suivi de façon étroite les recommandations découlant de la mise à l'essai par simulation des procédures de gestion, malgré les limites connues des modèles opérationnels qui sous-tendent ces essais. Des révisions récentes du modèle opérationnel, qui sont mises à l'essai par simulation pour la première fois dans la présente étude, semblent améliorer les estimations du recrutement et de la mortalité, mais elles ajoutent également de la complexité et des incertitudes à l'ensemble du processus d'évaluation de la stratégie de gestion. En vertu des scénarios du nouveau modèle opérationnel, la procédure de gestion actuelle de la pêche à la morue charbonnière ne permettait pas d'atteindre l'objectif de conservation du plus haut niveau, lequel a orienté les choix historiques. Nous présentons plusieurs nouvelles procédures de gestion de remplacement, lesquelles pourraient satisfaire aux normes de rendement associées aux deux objectifs de conservation du plus haut niveau (objectifs 1 et 2), tout en permettant également de protéger le rendement économique de la pêche. Bien que toutes ces procédures mènent à une croissance continue du stock à l'avenir, aucune d'entre elles ne permet de respecter l'exigence

---

probabiliste spécifique de la reconstitution de la biomasse du stock reproducteur à  $0,8 B_{RMS}$  sur une génération. Pour ce qui est des procédures les mieux classées, l'atteinte de ce troisième objectif nécessiterait un compromis entre des réductions à court terme assez considérables du rendement de l'ordre de 500 à 700 tonnes par année et un changement dans la probabilité que la biomasse du stock reproducteur soit supérieure à  $0,8 B_{RMS}$  de 31 à 42 % à 50 %.

## 5 REMERCIEMENTS

Le processus continu d'évaluation de la stratégie de gestion de la morue charbonnière en Colombie-Britannique ne pourrait pas être possible sans le soutien continu de tous les secteurs au sein de l'industrie, du secteur des Sciences du MPO et de la direction du MPO. Wild Canadian Sablefish Ltd. a fourni un soutien financier pour le travail d'élaboration du modèle et d'essais par simulation qui a été exécuté par Landmark Fisheries Research Ltd. Nous remercions les membres du comité scientifique de la morue charbonnière pour leurs conseils durant l'élaboration des procédures de gestion, ainsi que l'équipe chargée des relevés de recherche sur la morue charbonnière, qui comprenait des représentants du MPO, de l'Archipelago Marine Research et de l'industrie de la morue charbonnière. En particulier, les contributions à la collecte et au traitement des données de Malcolm Wyeth, Kristina Anderson, Lisa Lacko, Schon Acheson, Karina Cooke, Norm Olsen et Kate Rutherford, du MPO, ont été grandement appréciées. Enfin, nous remercions nos examinateurs externes, Bill Clark (Commission internationale du flétan du Pacifique; à la retraite) et Brooke Davis (MPO) pour leurs commentaires durant la réunion d'examen et leurs suggestions, qui ont permis d'améliorer le document final.

## 6 RÉFÉRENCES CITÉES

- Butterworth, D.S. 2007. Why a management procedure approach? Some positives and negatives. 11 ICES J. Mar. Sci. 64: 629 - 644.
- Cooke, J.G. 1999. Improvement of fishery-management advice through simulation testing of harvest algorithms. ICES J. of Mar. Sci., 56: 797-810.
- Cox, S.P. and Kronlund, A.R. 2008. Practical stakeholder-driven harvest policies for groundfish in British Columbia, Canada. Fish. Res. 94(3): 224-237.
- Cox, S.P., and Kronlund, A.R. 2009. [Evaluation of interim harvest strategies for sablefish \(\*Anoplopoma fimbria\*\) in British Columbia, Canada for 2008/09](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2009/042. vi + 82 p. (consulté le 13 décembre 2018)
- Cox, S.P., Kronlund, A.R., and Wyeth, M.R. 2009. [Development of precautionary management strategies for the British Columbia sablefish \(\*Anoplopoma fimbria\*\) fishery](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2009/043. vi + 145 p. (consulté le 13 décembre 2018)
- Cox, S.P., Kronlund, A.R., Lacko, L. 2011. [Management procedures for the multi-gear sablefish \(\*Anoplopoma fimbria\*\) fishery in British Columbia, Canada](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/063. viii + 45 p. (consulté le 13 décembre 2018)
- Cox, S.P., Kronlund, A.R., and Benson, A.J. 2013. [The roles of biological reference points and operational control points in management procedures for the Sablefish \(\*Anoplopoma fimbria\*\) fishery in British Columbia, Canada](#). Environ. Cons. 40(04): 318-328. (consulté le 13 décembre 2018)
- de la Mare, W.K. 1998. Tidier fisheries management requires a new MOP (management-oriented paradigm). Rev. Fish. Biol. Fisheries 8: 349-356.

- 
- Hanselman, D.H., C. Lunsford, and C. Rodgveller. 2015. [Assessment of the sablefish stock in Alaska](#). In Stock assessment and fishery evaluation report for the groundfish resources of the Gulf of Alaska. North Pacific Fishery Management Council, 605 W 4th Ave, Suite 306 Anchorage, AK 99501. pp. 297-414. (consulté le 13 décembre 2018)
- Johnson, K.F., Rudd, M.B., Pons, M., Akselrud, C.A., Lee, Q., Hurtado-Ferro, F., Haltuch, M.A., and Hamel, O.S. 2015. Status of the U.S. sablefish resource in 2015. Available from: [The Pacific Fishery Management Council](#). (consulté le 13 décembre 2018)
- MPO. 2009. [Cadre décisionnel pour les pêches en conformité avec l'approche de précaution](#). (consulté le 13 décembre 2018)
- MPO. 2014. [Rendement d'une procédure révisée de gestion de la morue charbonnière en Colombie-Britannique](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2014/025. (consulté le 13 décembre 2018)
- MPO. 2016. [Élaboration du modèle d'exploitation de la morue charbonnière \(\*Anoplopoma fimbria\*\) en Colombie-Britannique, au Canada](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2016/015. (consulté le 13 décembre 2018)
- Punt, A.E. and Smith, A.D.M. 1999. Harvest strategy evaluation for the eastern stock of gemfish (*Rexea solnadri*). ICES J. Mar. Sci. 56: 860-875.
- Punt, A.E., Butterworth, D.S., de Moor, C.L., De Oliveira, J.A.A., and Haddon, M. 2016. Management strategy evaluation: best practices. Fish and Fisheries. 17: 303-334.
- Rademeyer, R.A., Plaganyi, E.E., and Butterworth, D.S. 2007. Tips and tricks in designing management procedures. ICES J. Mar. Sci. 64: 618-625.
- Sainsbury, K.J., Punt, A.E., and Smith, A.D.M. 2000. Design of operational management strategies for achieving fishery ecosystem objectives. ICES J. Mar. Sci. 57: 731-741.
- Smith, A.D.M. 1993. Management strategy evaluation – the light on the hill. p. 249–253. In: D.A. Hancock (ed.), Population Dynamics for Fisheries Management, Perth, Western Australia, Australian Society for Fish Biology.
- Smith, A.D.M., Sainsbury, K.J. and Stevens, R.A. 1999. Implementing effective fisheries management systems – management strategy evaluation and the Australian partnership approach. ICES J. of Mar. Sci. 56: 967-979.
- Walters, C.J. 1986. Adaptive management of renewable resources. The Blackburn Press, NJ, 374p.

## 7 TABLEAUX

Tableau 1. Statistiques sur le rendement calculées pour chaque répétition de la simulation d'une combinaison d'une procédure de gestion/d'un scénario. Il convient de noter que  $BSRf$  désigne la biomasse du stock reproducteur de femelles et que l'intervalle  $t = t_1 \dots t_2$  définit la période de temps sur laquelle chaque statistique est calculée. La probabilité  $P(\text{déclin})$  diffère selon les scénarios en fonction de l'état du stock dans le modèle opérationnel. La fonction de l'indicateur  $I(x \text{ est VRAI}) = 1$  ou  $I(x \text{ est FAUX}) = 0$

Numéro	Objectif	Description	Probabilité ou statistique	Définition
P.1	Objectif 1 : $P(BSRf > PRL)$	Proportion des années visées par la projection au cours desquelles $BSRf$ dépasse le $PRL$ de $0,4 B_{RMS}$ (Période : $t_1 = 2017, t_2 = 2052$ )	$P(BSRf > PRL)$	$P(B > PRL) = \frac{\sum_{t_2}^{t_1} I(BSRf_t > PRL)}{t_2 - t_1 - 1}$
P.2	Objectif 2 : $P(\text{déclin})$	Proportion des tendances au déclin sur dix ans (Période : $t_1 = 2017, t_2 = 2026$ )	$P(\beta < 0)$ $< P(\text{déclin})$	$P(\beta > 0) = \frac{1}{100} \sum_1^{100} I(\beta < 0)$
P.3a	Objectif 3a $P(BSRf > B_{RMS})$	Proportion des années visées par les projections au cours desquelles $BSRf$ dépasse $B_{RMS}$ (Période : $t_1 = 2017, t_2 = 2052$ )	$P(B > B_{RMS})$	$P(B > B_{RMS}) = \frac{\sum_{t_2}^{t_1} I(B_t > B^{RMS})}{t_2 - t_1 - 1}$
P.3b	Objectif 3b : $P(BSRf > 0,8 B_{RMS})$	Proportion des années visées par les projections au cours desquelles la biomasse du stock reproducteur dépasse $0,8 B_{RMS}$ . (Période : $t_1 = 2017, t_2 = 2052$ )	$P(B > 0,8 B_{RMS})$	$P(B > 0,8 B_{RMS}) = \frac{\sum_{t_2}^{t_1} I(B_t > 0,8 B^{RMS})}{t_2 - t_1 - 1}$

Numéro	Objectif	Description	Probabilité ou statistique	Définition
P.4	Objectif 4 : P(prises > 1 992 tonnes)	Proportion des années visées par les projections au cours desquelles les prises sont supérieures à 1 992 tonnes. (Période : $t_1 = 2017$ , $t_2 = 2052$ )	$P(C^L > 1,992 t)$	$P(C^L > 1,992 t) = \frac{\sum_{t_1}^{t_2} I(C > 1,992 t)}{t_2 - t_1 - 1}$
P.5	Objectif 5 : Prises moyennes	Moyenne des prises annuelles débarquées. (Période : $t_1 = 2017$ , $t_2 = 2026$ )	$\overline{C^L}$	$\overline{C^L} = \frac{1}{t_2 - t_1 + 1} \sum_{t_1}^{t_2} C_t^L$
P.6	Minimum et maximum	Prises débarquées minimales et maximales (Période : $t_1 = 2017$ , $t_2 = 2026$ )	C min C max	$\min(C_{2017}^L, C_{2018}^L, \dots, C_{2026}^L)$ $\max(C_{2017}^L, C_{2018}^L, \dots, C_{2026}^L)$
P.7	Préférence de l'industrie	Modification annuelle moyenne absolue des prises débarquées (Période : $t_1 = 2017$ , $t_2 = 2026$ )	VAA (AAV)	$AAV = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2}  C_t^L - C_{t-1}^L }{\sum_{t=t_1}^{t_2} C_t^L}$

Tableau 2. Composante de la règle de contrôle des prises associée à la procédure de gestion de la morue charbonnière. Les paramètres de la règle sont dérivés du seuil du TAC ( $Q_{min}$ ), du taux de récolte maximal ( $U_{max}$ ) et des estimations du modèle d'évaluation de production excédentaire du stock (énumérés à H1). Les estimations du modèle de production excédentaire comprennent le taux de récolte optimal  $U_{RMS}$ , la biomasse produisant le rendement maximal soutenu  $B_{RMS}$  et les multiplicateurs (0,4 et 0,6) de  $B_{RMS}$  qui définissent les bornes  $B_{inférieur}$  et  $B_{supérieur}$ , respectivement. Ces paramètres définissent un taux de récolte cible répondant à l'approche de précaution  $U_{T+1}$  (H2) qui multiplie la prévision de la biomasse exploitable ( $\hat{B}_{T+1}$ ) pour établir un quota total recommandé  $Q_{T+1}$  de poissons de taille réglementaire en utilisant H3 (s'il n'y a pas d'augmentation du TAC minimal) ou H3a (si l'on utilise une augmentation du TAC minimal de 200 tonnes). La procédure de gestion actuelle utilise  $U_{max}$  établi à  $\hat{U}^{MSY}$  et l'équation H3, avec  $Q_{min} = 1\,192$  tonnes.

Numéro	Définition
H1	$\Psi = (\hat{U}^{MSY}, \hat{B}_{inférieur}, \hat{B}_{supérieur}, \hat{B}_{T+1})$
H2	$U_{T+1} = \begin{cases} 0 & \hat{B}_{T+1} < \hat{B}_{inférieur} \\ U_{max} \left( \frac{\hat{B}_{T+1} - \hat{B}_{inférieur}}{\hat{B}_{supérieur} - \hat{B}_{inférieur}} \right) & \hat{B}_{inférieur} \leq \hat{B}_{T+1} \leq \hat{B}_{supérieur} \\ U_{max} & \hat{B}_{T+1} \geq \hat{B}_{supérieur} \end{cases}$
H3	$Q_{T+1} = \max(Q_{min}, U_{T+1} \hat{B}_{T+1})$
H3a	$Q_{T+1} = \begin{cases} \max(Q_{min}, U_{T+1} \hat{B}_{T+1}) & (Q_{T+1} - Q_T) \geq 200 \\ Q_T & (Q_{T+1} - Q_T) < 200 \end{cases}$

Tableau 3. Procédures de gestion candidates évaluées pour la pêche à la morue charbonnière en Colombie-Britannique. Les valeurs qui sont présentées dans les colonnes de  $U_{max}$  et de  $Q_{min}$  représentent les taux de récolte maximaux et les seuils de TAC utilisés dans les équations H2 et H3, respectivement (voir le Tableau 2). La colonne d'augmentation minimale du TAC indique l'augmentation la plus faible du TAC admissible, selon la procédure de gestion actuelle (PG1); on a calculé le TAC en utilisant l'équation H3, tirée du Tableau 2, tandis que toutes les autres PG utilisaient plutôt l'équation H3a. La période de mise en place progressive montre le nombre d'années durant lesquelles le taux de récolte cible maximal diminuera par rapport à la valeur de 2017 de 0,08 à  $U_{MAX}$ . Les règlements autorisant la conservation des poissons de taille inférieure à la taille réglementaire prévoient le statu quo « remise à l'eau des poissons dont la longueur est inférieure à 55 cm » ou la « conservation de toutes les prises », en vertu de laquelle aucune limite de taille n'est appliquée, quel que soit l'engin ou le secteur. La colonne finale montre les étiquettes qui sont utilisées pour identifier chaque PG dans les graphiques et les tableaux. À des fins de référence, les acronymes qui sont utilisés pour construire les étiquettes des PG sont présentés entre parenthèses dans les en-têtes des colonnes.

Procédure de gestion	$U_{max+}$ (TR)	$Q_{min}$ (FI)	Augmentation minimale du TAC	Années de mise en place progressive (ph)	Règlement concernant les poissons de taille inférieure à la taille réglementaire (frt)	Étiquette
<b>PG 1</b>	$\hat{U}_{RMS}$	1 992 tonnes	0	0	Remise à l'eau des poissons de taille < 55 cm	PGactuelle
<b>PG 2</b>	0,055	1 992 tonnes	200	0	Remise à l'eau des poissons de taille < 55 cm	FI1.992_TR5.5
<b>PG 3</b>	0,055	1 992 tonnes	200	0	Conservation de toutes les prises	FI1.992_TR5.5_frt
<b>PG 4</b>	0,055	1 800 tonnes	200	0	Remise à l'eau des poissons de taille < 55 cm	FI1.80_TR5.5
<b>PG 5</b>	0,055	1 800 tonnes	200	0	Conservation de toutes les prises	FI1.80_TR5.5_frt
<b>PG 6</b>	0,055	0,000	200	0	Remise à l'eau des poissons de taille < 55 cm	FI0.00_TR5.5

<b>Procédure de gestion</b>	<b>U<sub>max+</sub> (TR)</b>	<b>Q<sub>min</sub> (FI)</b>	<b>Augmentation minimale du TAC</b>	<b>Années de mise en place progressive (ph)</b>	<b>Règlement concernant les poissons de taille inférieure à la taille réglementaire (frt)</b>	<b>Étiquette</b>
<b>PG 7</b>	0,055	0,000	200	3	Remise à l'eau des poissons de taille < 55 cm	FI0.00_TR5.5_ph3
<b>PG 8</b>	0,055	0,000	200	4	Remise à l'eau des poissons de taille < 55 cm	FI0.00_TR5.5_ph4
<b>PG 9</b>	0,055	0,000	200	5	Remise à l'eau des poissons de taille < 55 cm	FI0.00_TR5.5_ph5
<b>PG 10</b>	0,055	0,000	200	5	Conservation de toutes les prises	FI0.00_TR5.5_ph5_frt

Tableau 4. Caractéristiques distinctives des scénarios de productivité du modèle opérationnel S1 à S5 Les principaux paramètres du modèle pour chaque scénario sont les suivants : l'inclinaison de la pente de la relation stock-recrutement ( $h$ ), le taux de mortalité naturelle ( $M$ ) chez les mâles (en haut) et les femelles (en bas), la biomasse des génitrices non pêchée ( $B_0$ ) et la biomasse du stock reproducteur de femelles en 2017 ( $BSRf_{2017}$ ). Les caractéristiques à l'équilibre comprennent le rendement maximal soutenu ( $RMS$ ), le taux de récolte réglementaire optimal ( $U_{RMS}$ ), la biomasse du stock reproducteur ( $B_{RMS}$ ), l'épuisement de la biomasse du stock reproducteur ( $E_{RMS}$ ) et l'épuisement au point de référence limite de 0,4  $B_{RMS}$  ( $E_{PRL}$ ).

Scénario	$h$	$M$	$B_0$	$BSRf_{2017}$	$RMS$	$U_{RMS}$	$B_{RMS}$	$D_{RMS}$	$D^{LRP}$	$BSRf_{2017}/B_{RMS}$
S1 : scénario de référence	0,57	0,041 0,079	56,76	10,45	2,84	0,044	23,01	0,41	0,16	0,45
S2 : PÉ	0,63	0,041 0,079	56,91	10,40	3,09	0,050	22,42	0,39	0,16	0,46
S3 : PF	0,48	0,041 0,081	55,15	9,90	2,49	0,036	23,71	0,43	0,17	0,42
S4 : BSRé	0,56	0,041 0,078	57,19	11,50	2,78	0,043	23,34	0,41	0,16	0,49
S5 : BSRf	0,56	0,041 0,079	56,62	8,72	2,81	0,043	23,21	0,41	0,16	0,38

Tableau 5. Rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs pour le scénario de référence du modèle opérationnel. Pour les objectifs 1 à 3, on utilise le symbole (●) pour montrer qu'une procédure de gestion permet d'atteindre un objectif. Des valeurs numériques ne sont présentées au lieu du symbole (●) que lorsqu'un objectif n'est pas atteint. Une procédure permet d'atteindre l'objectif 1 si le stock demeure au-dessus du PRL durant 95 % des années, en moyenne, sur deux générations. L'objectif 2 est atteint si la proportion de la trajectoire à la baisse du stock au cours des dix premières années visées par les projections est plus faible que la probabilité de déclin acceptable [ $P(\text{déclin}^*)$ ], où  $P(\text{déclin}^*)$  repose sur la biomasse du stock reproducteur en 2016. Lorsque cet objectif n'est pas atteint, la proportion des trajectoires à la baisse du stock prévue, de pair avec  $P(\text{déclin}^*)$ , est indiquée pour référence. Il convient de noter que  $P(\text{déclin}^*)$  est différent selon les scénarios. L'objectif 3a est rempli si la biomasse du stock reproducteur est supérieure à  $B_{RMS}$  durant la moitié des années sur deux générations, tandis que l'objectif 3b est atteint si la biomasse du stock reproducteur est supérieure à  $0,8 B_{RMS}$  durant la moitié des années sur deux générations. L'objectif 4 indique la proportion moyenne des années durant lesquelles les prises débarquées annuelles se situent au-dessus de 1 992 tonnes. Les valeurs en vertu de l'objectif 5 sont les prises moyennes médianes (en milliers de tonnes) durant les dix premières années visées par les projections. Des mesures supplémentaires du rendement présentées qui ne sont pas directement reliées aux objectifs comprennent « C min » et « C max » (les médianes des prises minimales et maximales, respectivement, au cours des dix premières années visées par les projections), la VAA (la variation annuelle moyenne absolue des prises),  $E_{2016}$  (l'épuisement moyen de la biomasse du stock reproducteur pour 2016) et  $C_{2017}$  (les prises réglementaires moyennes prévues pour 2017).

Scénario S1 : Scénario de référence	Objectif						C min	C max	VAA	$E_{2017}$	$C_{2017}$
	1	2	3a	3b	4	5					
Procédure de gestion	P(BSRf > PRL)	P(déclin)	P(BSRf > $B_{RMS}$ )	P(BSRf > $0,8 B_{RMS}$ )	P (C > 1 992 t)	Prises moy.					
FI1.80_TR5.5_frt	●	●	0,23	0,45	0,69	1,93	1,79	2,19	3,95	0,20	1,79
FI0.00_TR5.5_ph5_frt	●	●	0,22	0,43	0,73	2,03	1,77	2,31	6,47	0,20	2,15
FI1.992_TR5.5_frt	●	●	0,22	0,43	0,65	2,02	1,98	2,16	1,39	0,20	1,98
FI0.00_TR5.5	●	●	0,15	0,37	0,61	1,87	1,52	2,17	7,59	0,20	1,48
FI1.80_TR5.5	●	●	0,14	0,34	0,58	1,91	1,79	2,14	3,79	0,20	1,79
FI0.00_TR5.5_ph3	●	●	0,14	0,34	0,61	1,95	1,67	2,29	7,39	0,20	2,15
FI0.00_TR5.5_ph4	●	●	0,14	0,33	0,61	1,98	1,72	2,29	6,91	0,20	2,15
FI0.00_TR5.5_ph5	●	●	0,14	0,32	0,62	2,01	1,75	2,30	6,65	0,20	2,15
FI1.992_TR5.5	●	●	0,13	0,32	0,53	2,00	1,98	2,09	1,02	0,20	1,98
PGactuelle	0,93	●	0,07	0,18	0,73	2,30	1,98	2,59	5,00	0,20	2,05

Tableau 6. Rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs pour le scénario de PÉ du modèle opérationnel. Voir la légende du Tableau 5 pour prendre connaissance des définitions des termes.

Scénario S2 : PÉ	Objectif						C min	C max	VAA	E <sub>2017</sub>	C <sub>2017</sub>
	1 P(BSRf > PRL)	2 P(déclin)	3a P(BSRf > B <sub>RMS</sub> )	3b P(BSRf > 0,8 B <sub>R</sub> MS)	4 P (C > 1 992 t)	5 Prises moy.					
FI0.00_TR5.5_ph5_frt	•	•	0,29	0,48	0,54	1,62	1,11	2,12	13,13	0,19	1,95
FI1.80_TR5.5_frt	•	•	0,27	0,45	0,47	1,79	1,79	1,79	1,21	0,19	1,79
FI0.00_TR5.5	•	•	0,22	0,42	0,44	1,51	1,09	1,72	12,94	0,19	1,34
FI0.00_TR5.5_ph3	•	•	0,22	0,41	0,44	1,53	1,02	2,04	14,03	0,19	1,95
FI0.00_TR5.5_ph4	•	•	0,22	0,40	0,45	1,55	1,02	2,08	14,13	0,19	1,95
FI0.00_TR5.5_ph5	•	•	0,22	0,40	0,45	1,57	1,04	2,11	14,80	0,19	1,95
FI1.992_TR5.5_frt	•	0,12>0,10	0,24	0,41	0,43	1,98	1,98	1,98	0,13	0,19	1,98
FI1.80_TR5.5	•	0,14>0,10	0,18	0,33	0,36	1,79	1,79	1,79	1,21	0,19	1,79
FI1.992_TR5.5	0,90	0,28>0,10	0,15	0,27	0,31	1,98	1,98	1,98	0,13	0,19	1,98
PGactuelle	0,90	0,29>0,10	0,09	0,22	0,48	1,99	1,98	2,09	1,08	0,19	2,01

Tableau 7. Rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs pour le scénario de productivité faible (PF) du modèle opérationnel. Voir la légende du tableau 5 pour prendre connaissance des définitions des termes.

Scénario S3 : PF	Objectif						C min	C max	VAA	E <sub>2017</sub>	C <sub>2017</sub>
	1 P(BSRf > PRL)	2 P(déclin)	3a P(BSRf > B <sub>RMS</sub> )	3b P(BSRf > 0,8 B <sub>R</sub> MS)	4 P (C > 1 992 t)	5 Prises moy.					
FI0.00_TR5.5_ph5_frt	•	0,08>0,06	0,06	0,18	0,24	1,40	0,85	2,04	18,72	0,18	1,90
FI0.00_TR5.5	•	0,15>0,06	0,04	0,13	0,16	1,31	0,88	1,62	16,80	0,18	1,31
FI0.00_TR5.5_ph3	•	0,15>0,06	0,04	0,12	0,16	1,34	0,78	1,97	19,13	0,18	1,90
FI0.00_TR5.5_ph5	0,94	0,15>0,06	0,04	0,12	0,17	1,35	0,78	2,03	19,81	0,18	1,90
FI0.00_TR5.5_ph4	0,94	0,15>0,06	0,04	0,12	0,17	1,34	0,79	2,01	19,25	0,18	1,90
FI1.80_TR5.5_frt	0,72	0,41>0,06	0,04	0,11	0,15	1,79	1,79	1,79	1,21	0,18	1,79
FI1.992_TR5.5_frt	0,62	0,53>0,06	0,02	0,08	0,13	1,98	1,98	1,98	0,13	0,18	1,98
FI1.80_TR5.5	0,56	0,56>0,06	0,00	0,04	0,07	1,79	1,79	1,79	1,21	0,18	1,79
FI1.992_TR5.5	0,42	0,62>0,06	0,00	0,02	0,04	1,98	1,98	1,98	0,13	0,18	1,98
PGactuelle	0,41	0,62>0,06	0,00	0,01	0,11	1,98	1,98	1,98	0,13	0,18	2,00

Tableau 8. Rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs pour le scénario de  $BSRf_{2017}$  élevée du modèle opérationnel. Voir la légende du tableau 5 pour prendre connaissance des définitions des termes.

Scénario S4 : BSRé	Objectif						C min	C max	VAA	E <sub>2017</sub>	C <sub>2017</sub>
	1 P(BSRf > PRL)	2 P(déclin)	3a P(BSRf > B <sub>RMS</sub> )	3b P(BSRf > 0,8 B <sub>RMS</sub> )	4 P (C > 1 992 t)	5 Prises moy.					
FI0.00_TR5.5_ph5_frt	•	•	0,21	0,40	0,52	1,80	1,50	2,21	8,72	0,21	2,08
FI1.80_TR5.5_frt	•	•	0,20	0,38	0,46	1,80	1,79	1,86	1,79	0,21	1,79
FI1.992_TR5.5_frt	•	•	0,18	0,35	0,42	1,98	1,98	1,98	0,13	0,21	1,98
FI0.00_TR5.5	•	•	0,15	0,33	0,40	1,66	1,40	1,86	8,42	0,21	1,43
FI0.00_TR5.5_ph3	•	•	0,14	0,32	0,41	1,73	1,42	2,19	9,32	0,21	2,08
FI0.00_TR5.5_ph4	•	•	0,14	0,31	0,41	1,75	1,47	2,19	9,29	0,21	2,08
FI0.00_TR5.5_ph5	•	•	0,14	0,31	0,42	1,78	1,45	2,20	9,16	0,21	2,08
FI1.80_TR5.5	•	•	0,13	0,28	0,35	1,79	1,79	1,80	1,35	0,21	1,79
FI1.992_TR5.5	0,91	0,22>0,13	0,10	0,24	0,29	1,98	1,98	1,98	0,13	0,21	1,98
PGactuelle	0,90	0,25>0,13	0,06	0,17	0,51	2,06	1,98	2,27	3,08	0,21	2,03

Tableau 9. Rendement des procédures de gestion par rapport aux objectifs pour le scénario de BSRf<sub>2017</sub> faible du modèle opérationnel. Voir la légende du tableau 5 pour prendre connaissance des définitions des termes.

Scénario S5 : BSRf	Objectif						C min	C max	VAA	E <sub>2017</sub>	C <sub>2017</sub>
	1 P(BSRf > PRL)	2 P(déclin)	3a P(BSRf > B <sub>RMS</sub> )	3b P(BSRf > 0,8 B <sub>R</sub> MS)	4 P (C > 1 992 t)	5 Prises moy.					
FI0.00_TR5.5_ph5_frt	0,92	•	0,14	0,28	0,38	1,39	0,79	1,94	20,07	0,16	1,76
FI0.00_TR5.5	0,93	•	0,08	0,21	0,28	1,32	0,80	1,63	18,67	0,16	1,21
FI0.00_TR5.5_ph3	0,91	•	0,08	0,21	0,28	1,32	0,73	1,87	20,61	0,16	1,76
FI0.00_TR5.5_ph4	0,90	•	0,08	0,21	0,28	1,33	0,73	1,91	20,74	0,16	1,76
FI0.00_TR5.5_ph5	0,90	•	0,08	0,21	0,28	1,33	0,72	1,94	21,04	0,16	1,76
FI1.80_TR5.5_frt	0,74	0,17>0,05	0,09	0,21	0,28	1,79	1,79	1,79	1,21	0,16	1,79
FI1.992_TR5.5_frt	0,64	0,31>0,05	0,07	0,17	0,24	1,98	1,98	1,98	0,13	0,16	1,98
FI1.80_TR5.5	0,58	0,34>0,05	0,03	0,11	0,16	1,79	1,79	1,79	1,21	0,16	1,79
FI1.992_TR5.5	0,45	0,46>0,05	0,01	0,06	0,12	1,98	1,98	1,98	0,13	0,16	1,98
PGactuelle	0,44	0,46>0,05	0,00	0,04	0,21	1,98	1,98	1,98	0,13	0,16	1,99

Tableau 10. Rendement moyen (pondéré) des procédures de gestion pour les cinq scénarios du modèle opérationnel, avec des pondérations égales à 36 % pour le scénario de la productivité attendue, 16 % pour le scénario de PÉ, 16 % pour le scénario de PF, 15 % pour le scénario de BSRé et 17 % pour le scénario de BSRf. Les descriptions pour chaque mesure du rendement sont les mêmes que celles présentées au tableau 5, sauf en ce qui concerne l'objectif 2. En ce qui concerne l'objectif 2, on a calculé le rendement en utilisant la moyenne pondérée de la différence entre la probabilité observée de déclin et la probabilité de déclin acceptable (observée – acceptable), de sorte que l'objectif a été atteint si la différence était inférieure à zéro.

Procédure de gestion	Objectif						C min	C max	VAA	E <sub>2017</sub>	C <sub>2017</sub>
	1 P(BSRf > PRL)	2 P(déclin)	3a P(BSRf > B <sub>RMS</sub> )	3b P(BSRf > 0,8 B <sub>RMS</sub> )	4 P (C > 1 992 t)	5 Prises moy.					
FI0.00_TR5.5_ph5_frt	•	•	0,19	0,37	0,54	1,73	1,32	2,16	12,02	0,19	2,00
FI0.00_TR5.5	•	•	0,14	0,31	0,43	1,60	1,21	1,87	11,83	0,19	1,38
FI0.00_TR5.5_ph3	•	•	0,13	0,29	0,43	1,65	1,24	2,11	12,75	0,19	2,00
FI0.00_TR5.5_ph4	•	•	0,13	0,29	0,43	1,67	1,26	2,13	12,62	0,19	2,00
FI0.00_TR5.5_ph5	•	•	0,12	0,28	0,44	1,69	1,27	2,15	12,75	0,19	2,00
FI1.80_TR5.5_frt	0,91	0,09	0,18	0,35	0,47	1,84	1,79	1,95	2,30	0,19	1,79
FI1.992_TR5.5_frt	0,87	0,23	0,16	0,32	0,43	1,99	1,98	2,04	0,59	0,19	1,98
FI1.80_TR5.5	0,84	0,17	0,11	0,25	0,36	1,83	1,79	1,92	2,17	0,19	1,79
FI1.992_TR5.5	0,78	0,27	0,09	0,21	0,31	1,99	1,98	2,02	0,46	0,19	1,98
PGactuelle	0,76	0,26	0,05	0,14	0,48	2,11	1,98	2,26	2,52	0,19	2,02

## 8 FIGURES

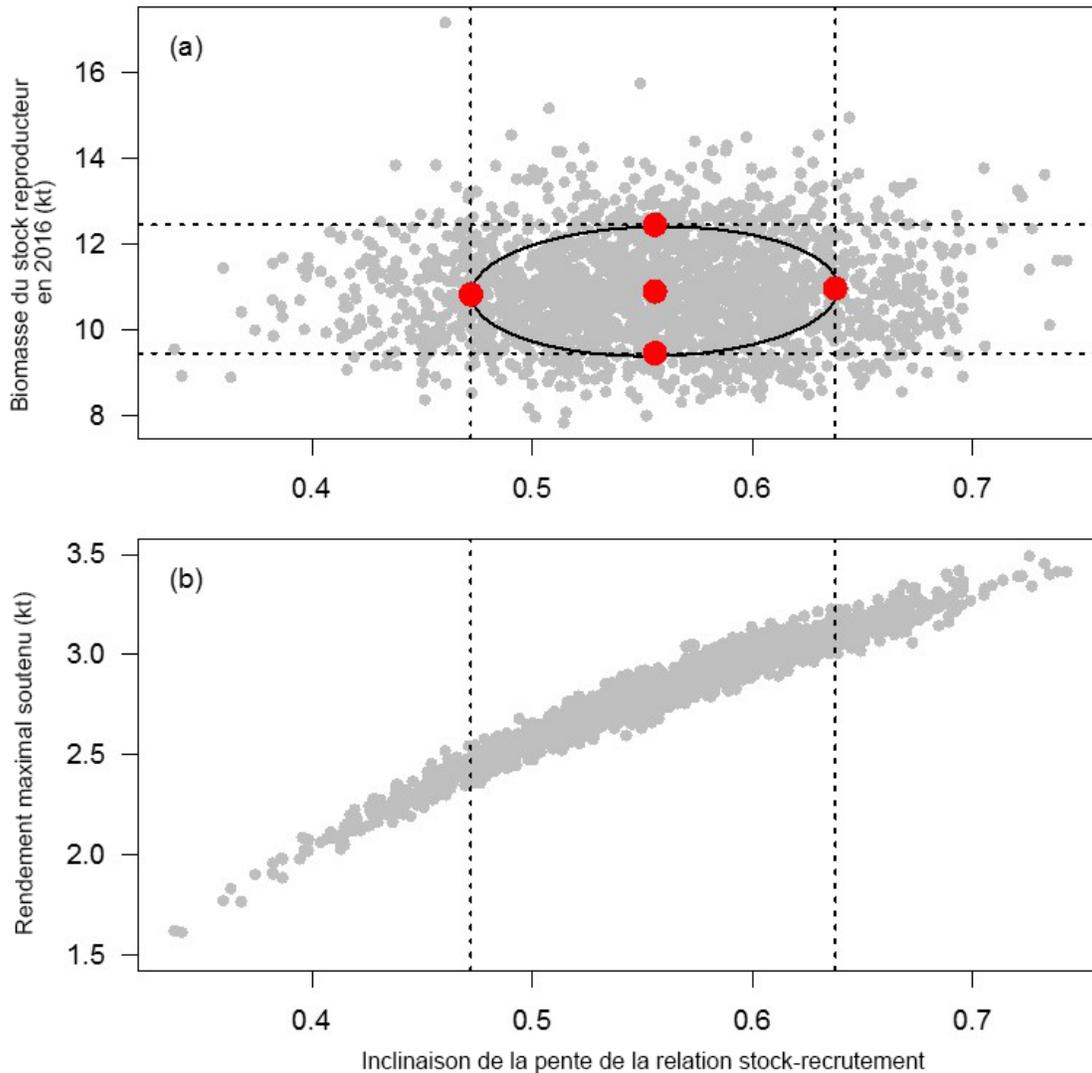


Figure 1. Distributions conjointes à posteriori de l'inclinaison de la pente de la relation stock-recrutement versus a) la biomasse des génitrices de morues charbonnières en 2016 ou b) le rendement maximal soutenu. Les points gris représentent les échantillons conjoints à posteriori dans le cadre de la méthode de Monte Carlo par chaîne de Markov. Dans le graphique (a), les scénarios concernant la productivité et la biomasse du modèle opérationnel sont définis par les points rouges, à la moyenne conjointe a posteriori (centre) et aux intersections des 80<sup>e</sup> percentiles centraux marginaux (lignes tiretées), et l'ellipse définit les 57 % centraux de la distribution conjointe marginale a posteriori pour l'inclinaison de la pente et pour la biomasse des génitrices en 2016.

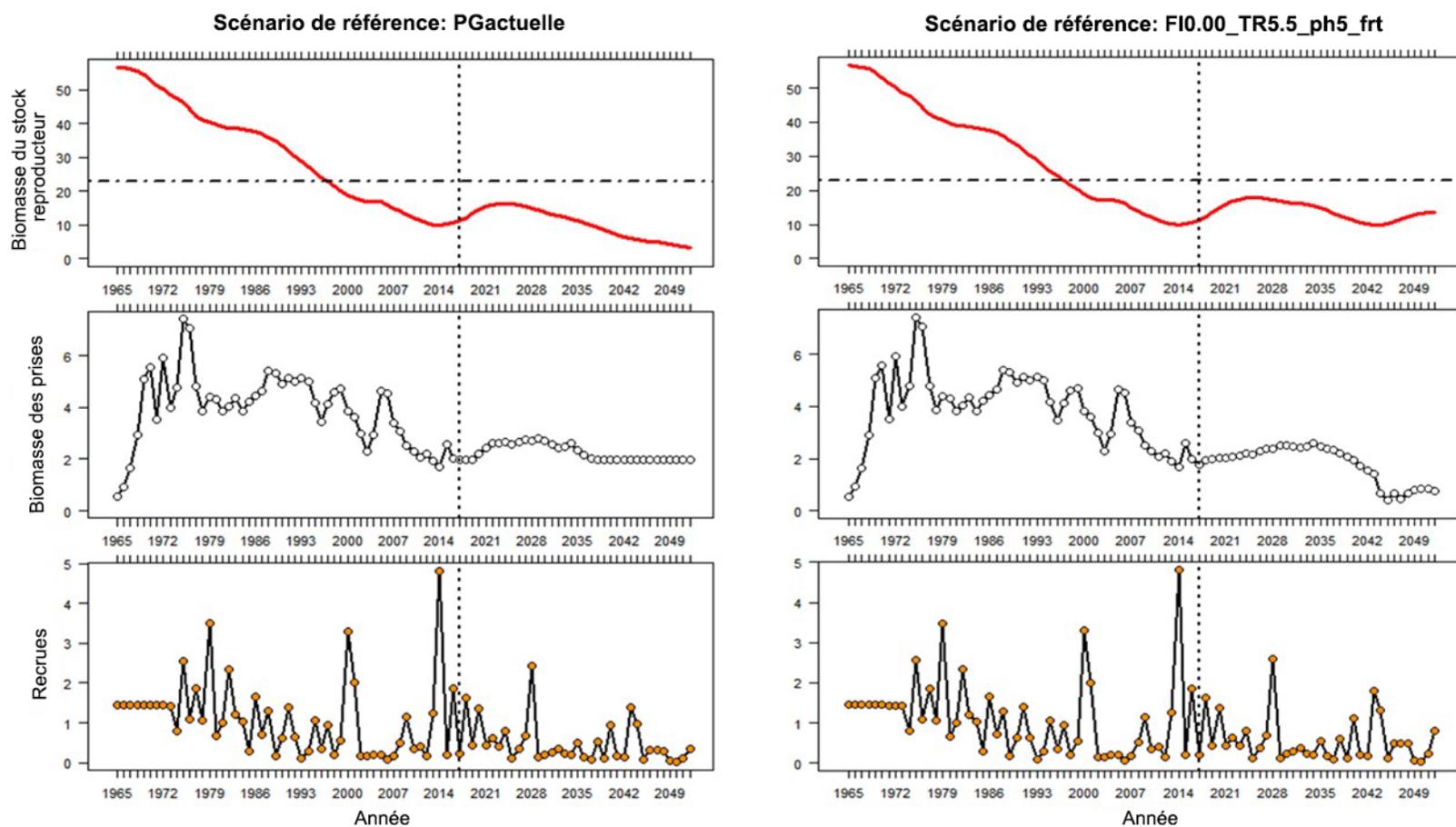


Figure 2. Biomasse du stock de génitrices, prises et recrutement dans le modèle opérationnel en vertu du scénario de référence pour deux procédures de gestion : i) la procédure de gestion actuelle (PGactuelle, à gauche) et ii) une procédure de gestion de remplacement ne comportant pas de seuil de TAC et prévoyant un taux de récolte cible maximal de 0,055, une période de mise en place progressive sur cinq ans du nouveau taux de récolte cible et une autorisation de conservation de toutes les prises (F10.00\_TR5.5\_ph5\_frt, à droite). La ligne tiretée verticale sépare la période historique de la période visée par les projections.

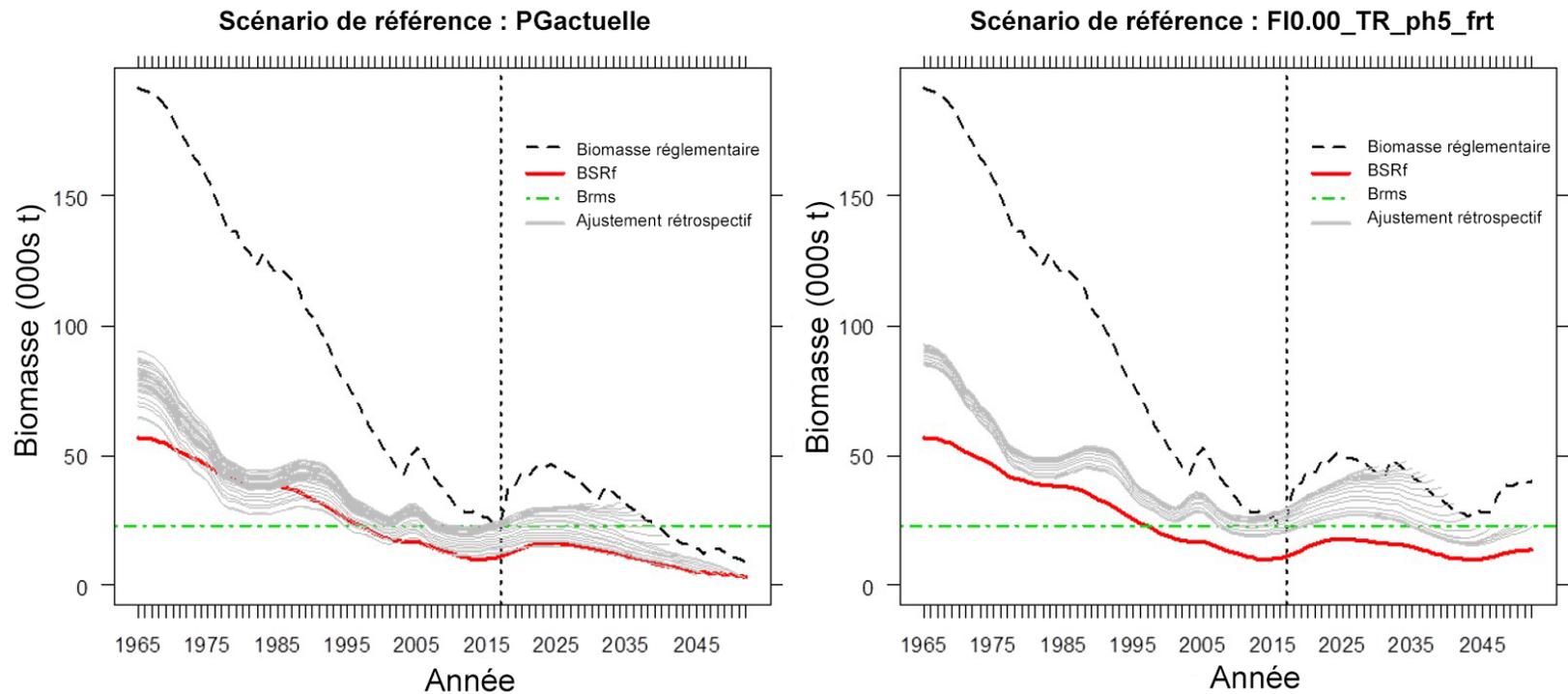


Figure 3. Exemple de profil rétrospectif des estimations de la biomasse à partir du modèle d'évaluation du stock ajusté en fonction de deux procédures de gestion de remplacement appliquées au modèle opérationnel de référence : i) la procédure de gestion actuelle (PGactuelle, à gauche) et ii) une procédure de gestion de remplacement ne comportant pas de seuil de TAC et prévoyant un taux de récolte cible maximal de 0,055, une période de mise en place progressive sur cinq ans du nouveau taux de récolte cible et une autorisation de conservation de toutes les prises (F10.00\_TR5.5\_ph5\_frt, à droite). La ligne rouge continue et la ligne noire tiretée montrent la biomasse du stock reproducteur et la biomasse réglementaire totale dans le modèle opérationnel, respectivement, tandis que les lignes grises montrent les estimations annuelles rétrospectives du stock reproducteur. La ligne tiretée verticale sépare la période historique de la période visée par les projections.

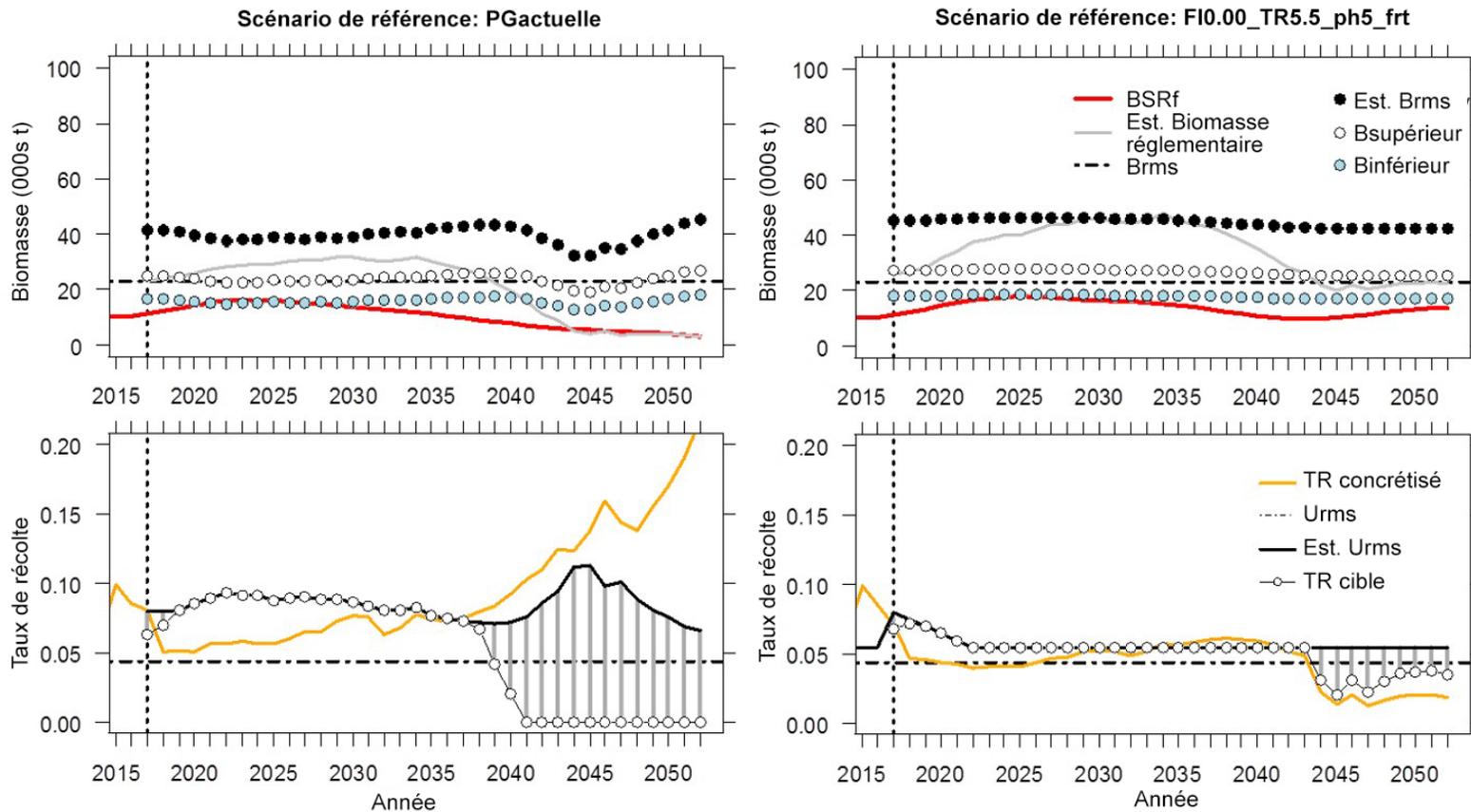


Figure 4. Composantes de la règle de contrôle des prises pour la procédure de gestion actuelle (PGactuelle, à gauche) et une procédure de gestion de remplacement ne comportant pas de seuil de TAC et prévoyant un taux de récolte cible maximal de 0,055, une période de mise en place progressive sur cinq ans du nouveau taux de récolte cible et une autorisation de conservation de toutes les prises (F10.00\_TR5.5\_ph5\_frt, à droite). Les panneaux du haut montrent la  $B_{RMS}$  estimée, les points de contrôle opérationnel supérieur et inférieur utilisés dans la règle de contrôle des prises ( $B_{supérieur} = 0,6 B_{RMS}$  et  $B_{inférieur} = 0,4 B_{RMS}$ , respectivement) et une projection sur un an de la biomasse exploitable totale (biomasse réglementaire estimée). La biomasse des génitrices (BSRf) et  $B_{RMS}$  tirés du modèle opérationnel sont montrées à des fins de référence. Les panneaux du bas montrent le taux de récolte cible maximal tiré du modèle opérationnel ( $U_{RMS}$ ), les estimations annuelles de  $U_{RMS}$  dans le cadre de la procédure de gestion ( $U_{RMS}$  estimé), les taux de récolte cible annuels reposant sur l'application annuelle de la règle de contrôle des prises (TR cible) et le taux de récolte concrétisé par la population selon le modèle opérationnel. Les ajustements du taux de récolte annuel dans les panneaux du bas sont effectués lorsque le stock exploitable estimé dans le panneau du haut se situe entre les points  $0,4 B_{RMS}$  et  $0,6 B_{RMS}$  de la règle de contrôle des prises.

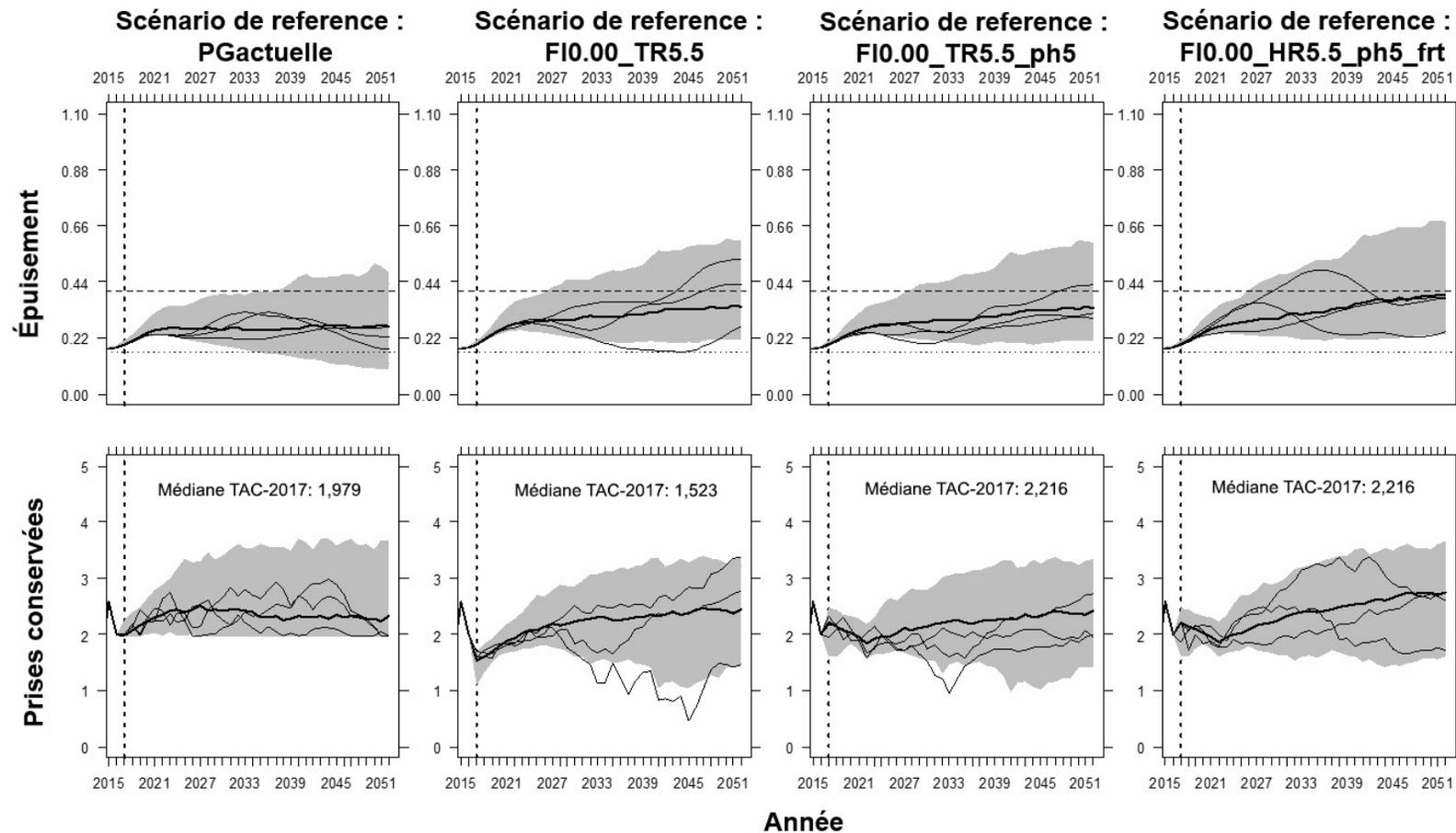


Figure 5. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices selon le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSR_f / BSR_{f_0}$ ) (en haut), et des prises conservées (TAC) dans le cadre des procédures de gestion simulées (en bas) en vertu du **scénario de référence**. De gauche à droite, la procédure de gestion actuelle est la plus limitée en matière de prises, FIO.00\_TR5.5 est la moins limitée, FIO.00\_TR5.5\_ph5 comporte une mise en place progressive sur cinq ans du nouveau taux de récolte maximal inférieur et FIO.00\_HR5.5\_ph5\_frt comporte la mise en œuvre d'un règlement autorisant la conservation de toutes les prises. Les distributions représentent les 80 % centraux des résultats de 100 répétitions de la simulation, les médianes (lignes noires épaisses) et des répétitions individuelles choisies au hasard (lignes minces). Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

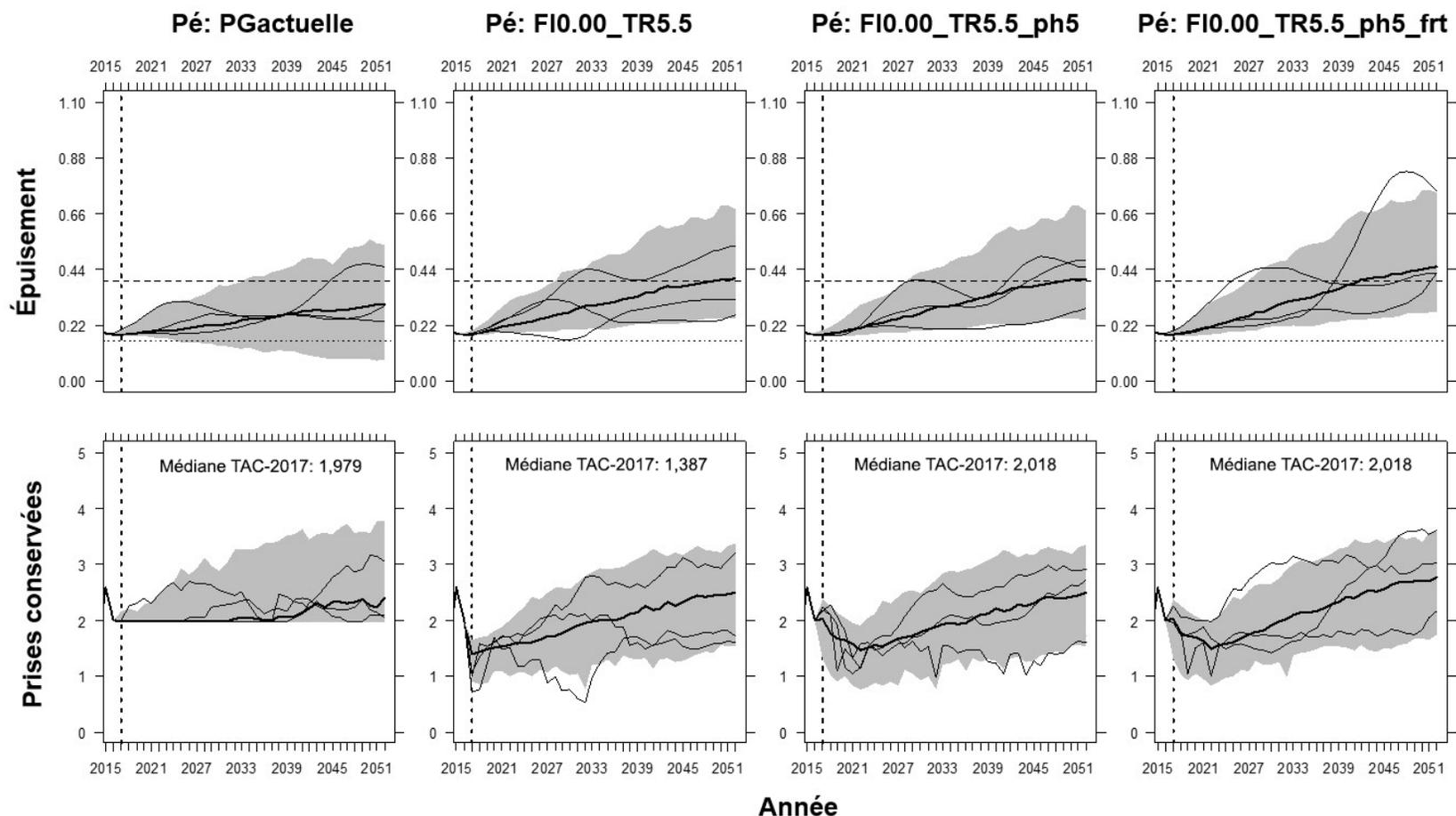


Figure 6. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices selon le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSRf / BSRf_0$ ) (en haut), et des prises conservées (TAC) dans le cadre des procédures de gestion simulées (en bas) en vertu du **scénario de productivité élevée**. De gauche à droite, la procédure de gestion actuelle est la plus limitée en matière de prises, FI0.00\_TR5.5 est la moins limitée, FI0.00\_TR5.5\_ph5 comporte une mise en place progressive sur cinq ans du nouveau taux de récolte maximal inférieur et FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt comporte la mise en œuvre d'un règlement autorisant la conservation de toutes les prises. Les distributions représentent les 80 % centraux des résultats de 100 répétitions de la simulation, les médianes (lignes noires épaisses) et des répétitions individuelles choisies au hasard (lignes minces). Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

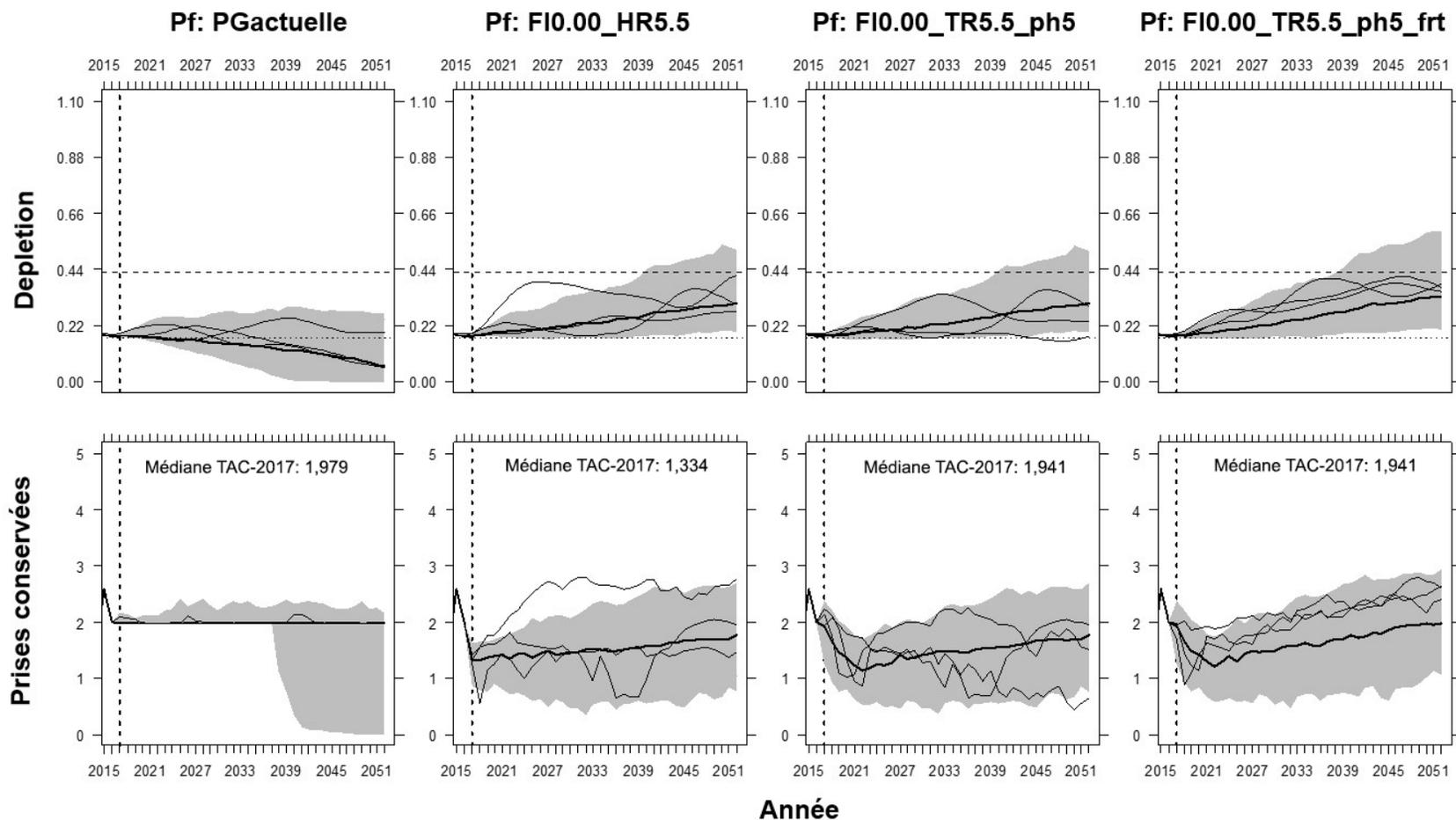


Figure 7. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices selon le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSR_f / BSR_{f_0}$ ) (en haut), et des prises conservées (TAC) dans le cadre des procédures de gestion simulées (en bas) en vertu du **scénario de productivité faible**. De gauche à droite, la procédure de gestion actuelle est la plus limitée en matière de prises, FI0.00\_TR5.5 est la moins limitée, FI0.00\_TR5.5\_ph5 comporte une mise en place progressive sur cinq ans du nouveau taux de récolte maximal inférieur et FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt comporte la mise en œuvre d'un règlement autorisant la conservation de toutes les prises. Les distributions représentent les 80 % centraux des résultats de 100 répétitions de la simulation, les médianes (lignes noires épaisses) et des répétitions individuelles choisies au hasard (lignes minces). Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

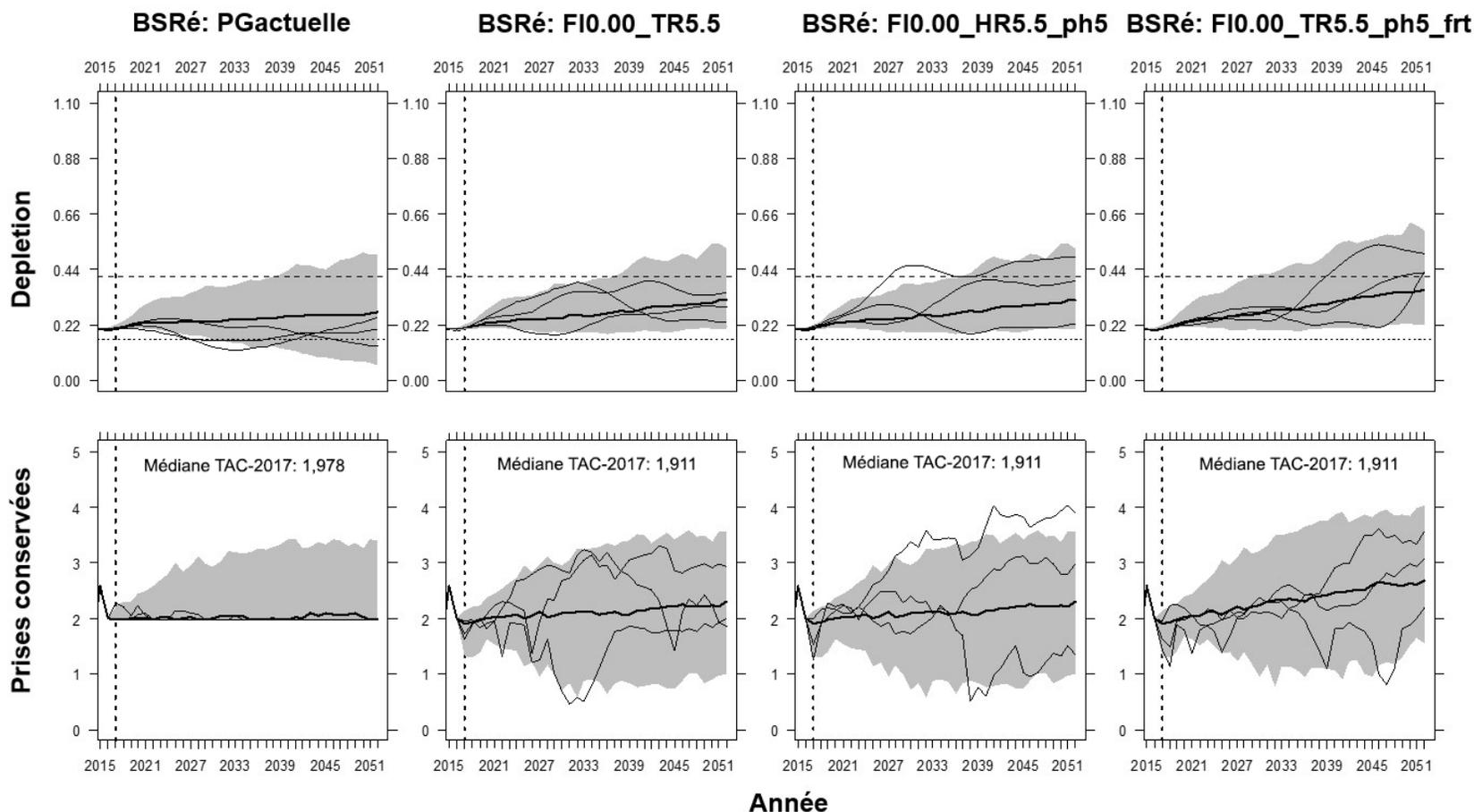


Figure 8. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices selon le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSR_f / BSR_{f_0}$ ) (en haut), et des prises conservées (TAC) dans le cadre des procédures de gestion simulées (en bas) en vertu du **scénario de  $BSR_f$  élevée**. De gauche à droite, la procédure de gestion actuelle est la plus limitée en matière de prises,  $FI0.00\_TR5.5$  est la moins limitée,  $FI0.00\_TR5.5\_ph5$  comporte une mise en place progressive sur cinq ans du nouveau taux de récolte maximal inférieur et  $FI0.00\_TR5.5\_ph5\_ftr$  comporte la mise en œuvre d'un règlement autorisant la conservation de toutes les prises. Les distributions représentent les 80 % centraux des résultats de 100 répétitions de la simulation, les médianes (lignes noires épaisses) et des répétitions individuelles choisies au hasard (lignes minces). Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

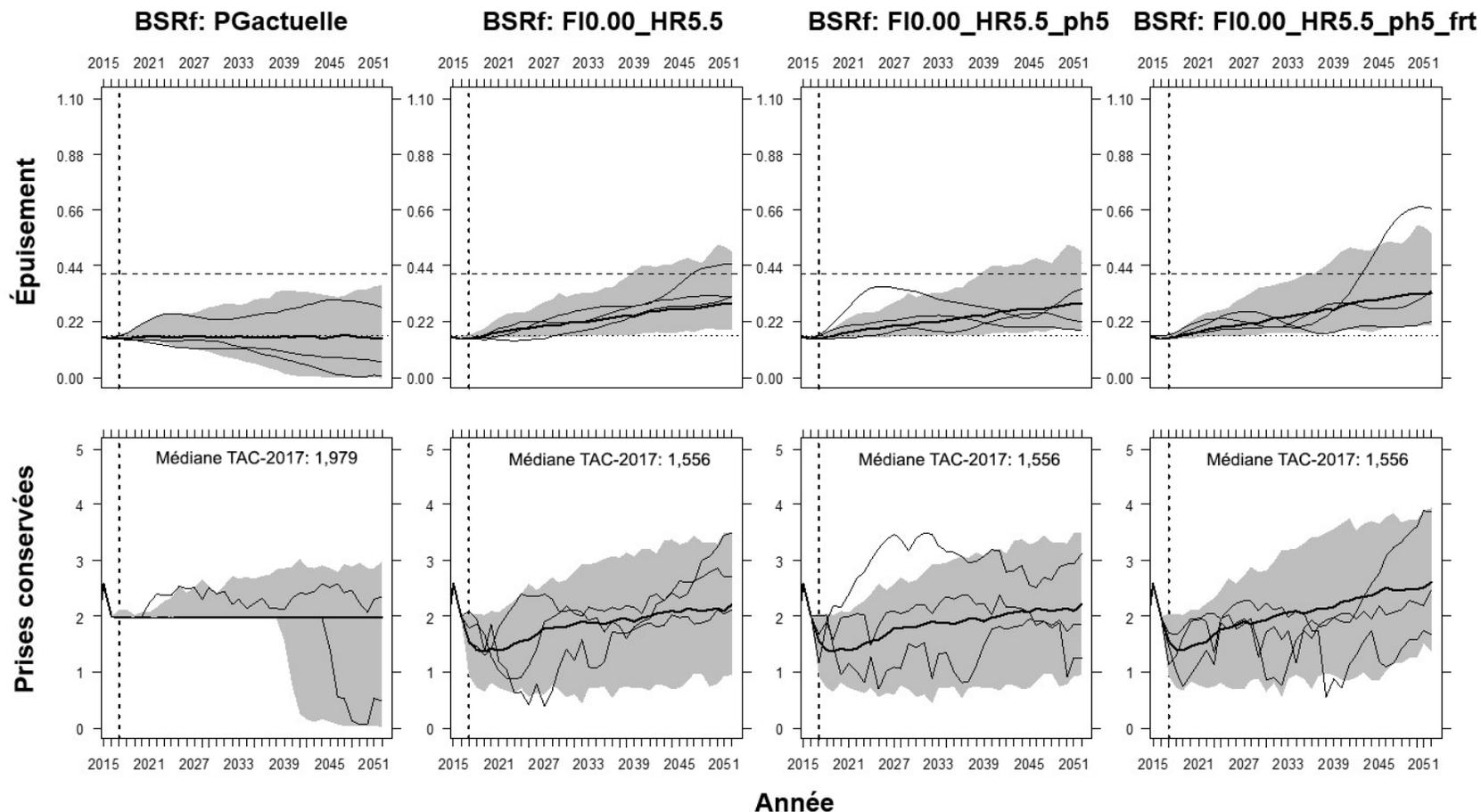


Figure 9. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices selon le modèle opérationnel (c.-à-d. BSRf / BSRf<sub>0</sub>) (en haut), et des prises conservées (TAC) dans le cadre des procédures de gestion simulées (en bas) en vertu du **scénario de BSRf faible**. De gauche à droite, la procédure de gestion actuelle est la plus limitée en matière de prises, FI0.00\_TR5.5 est la moins limitée, FI0.00\_TR5.5\_ph5 comporte une mise en place progressive sur cinq ans du nouveau taux de récolte maximal inférieur et FI0.00\_TR5.5\_ph5\_frt comporte la mise en œuvre d'un règlement autorisant la conservation de toutes les prises. Les distributions représentent les 80 % centraux des résultats de 100 répétitions de la simulation, les médianes (lignes noires épaisses) et des répétitions individuelles choisies au hasard (lignes minces). Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de B<sub>RMS</sub> (en haut, ligne tiretée).

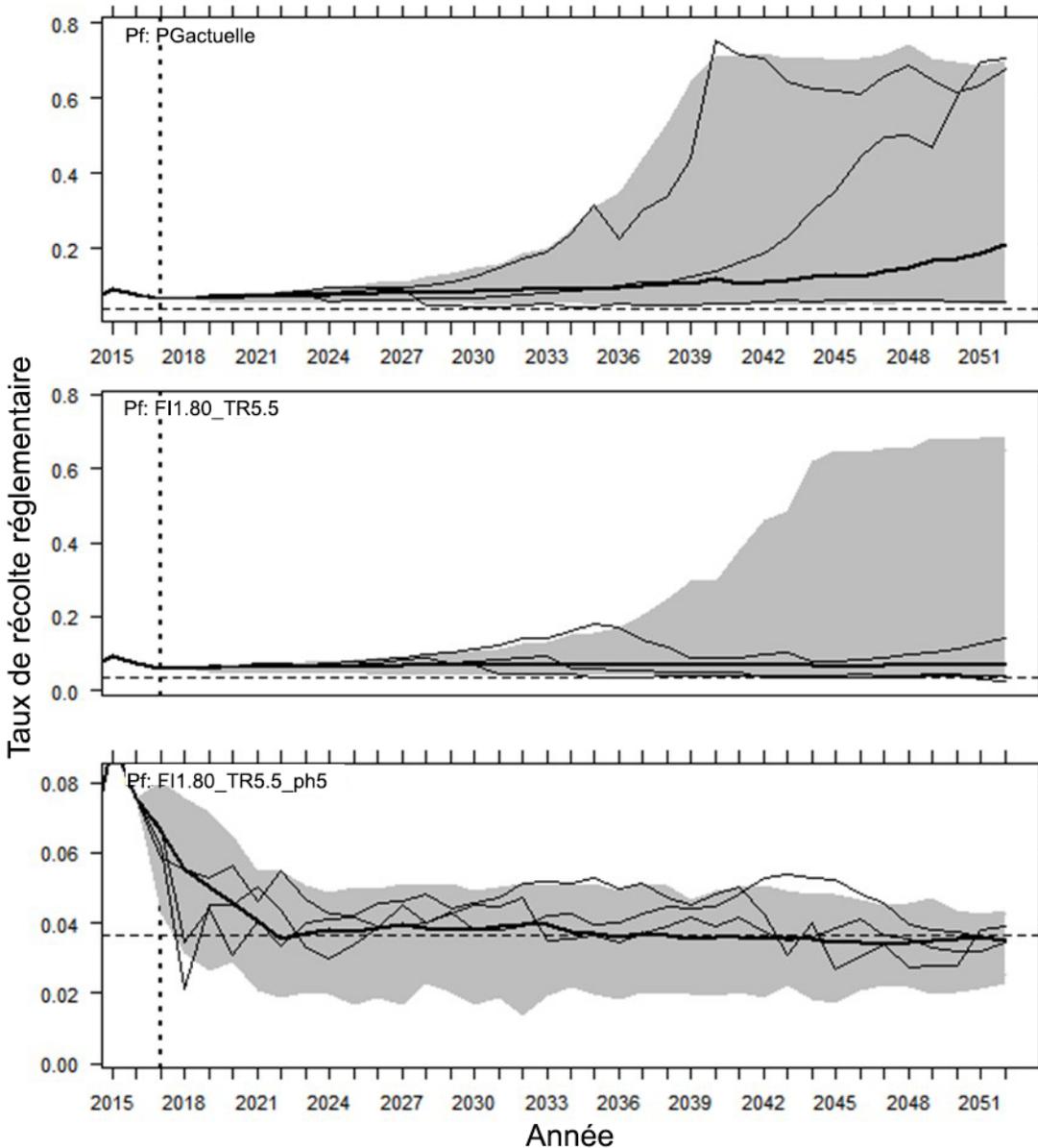


Figure 10. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel en vertu du scénario de productivité faible et dans le cadre de la PGactuelle, comportant un seuil de 1 992 tonnes (en haut), d'une PG comportant un seuil inférieur de 1 800 tonnes et un taux de récolte maximal inférieur (au milieu) et d'une PG ne comportant pas de seuil et prévoyant un taux de récolte maximal inférieur et une période de mise en place progressive sur cinq ans (en bas). Remarquez la différence d'ordre de grandeur dans l'échelle de l'axe du taux de récolte réglementaire dans le panneau du haut. Les lignes tiretées horizontales montrent le taux de récolte cible maximal tiré du modèle opérationnel ( $U_{RMS}$ ).

---

## ANNEXE A : MODÈLE DE PRODUCTION UTILISÉ DANS LES PROCÉDURES DE GESTION

### Structure du modèle

Nous utilisons un modèle de production excédentaire de Schaefer pour la composante de l'évaluation annuelle du stock des procédures de gestion. Les notations du modèle et les équations sont présentées au Tableau A-1 et au Tableau A-2, respectivement. Le modèle de production permet de dériver des inférences à propos des paramètres de gestion à partir des observations chronologiques des prises totales débarquées et de toute combinaison des CPUE dans la pêche au casier, des CPUE dans le relevé normalisé au casier et des CPUE dans le relevé aléatoire stratifié au casier. L'évaluation ne tient pas compte des remises à l'eau de poissons de taille réglementaire et de taille inférieure à la taille réglementaire, même si les deux processus existent dans le cadre du modèle opérationnel.

Les modèles de production regroupent les effets du recrutement, de la croissance et de la mortalité naturelle au sein d'une fonction de production unique, permettant de prévoir la biomasse pour chaque année  $B_{t+1}$  d'après nos quatre composantes : i) le stock prévu présent durant l'année précédente  $B_t$ , ii) une fonction de production moyenne  $f(B_t)$  qui dépend de la biomasse, iii) les prises totales débarquées  $C_t$  et iv) un écart aléatoire  $\omega_t$  tiré de la relation de la production moyenne (Punt 2003). Ces composantes peuvent être exprimées au sein d'un modèle de production de la forme (1)

$$B_{t+1} = (B_t + rB_t(1 - B_t / K) - C_t) e^{\omega_t},$$

où  $B_t$  (tonnes) et  $C_t$  (tonnes) représentent la biomasse du stock au début de l'année  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, T + 1$ ) et la biomasse des prises durant l'année  $t$ , respectivement, et  $(r, K)$  est le taux de croissance et la capacité de charge habituels logistiques de la dynamique de la population. On présume que les prises sont effectuées instantanément et après la production. On présume également que le terme d'anomalie aléatoire de la production  $\omega_t$  est indépendant de la biomasse du stock, et pourrait représenter, par exemple, le résultat net de i) l'immigration de morues charbonnières en Colombie-Britannique à partir de l'Alaska et de la côte Ouest inférieure des États-Unis, ii) l'émigration à l'extérieur du stock qui est présent en Colombie-Britannique à tout moment ou iii) les écarts aléatoires par rapport à la relation de production moyenne en Colombie-Britannique. Nous avons présumé que les écarts de production, quels qu'ils se produisent, sont indépendants et distribués de façon identique (Eq E2.1).

La formule de Schaefer présume que la production de poissons obéit à une fonction symétrique en forme de dôme de la biomasse du stock existant, de sorte que l' $U^{FMS} = r/2$  et l' $Y^{RMS} = rK/4$  définissent le taux d'exploitation optimal et le rendement maximal soutenu, respectivement. Le niveau de biomasse au rendement maximal soutenu est  $B^{RMS} = K/2$ . On peut utiliser ces quantités dans le cadre de stratégies de gestion « adaptatives passives » qui tentent d'orienter l'exploitation par la pêche vers des niveaux optimaux théoriques (voir Walters 1986 pour une description complète des politiques de récolte adaptatives). Nous avons de nouveau paramétré l'équation (1) de sorte que deux paramètres de gestion,  $U^{RMS}$  et  $Y^{RMS}$ , puissent être estimés directement. Le modèle de production qui en résulte s'exprime par l'équation E2.6.

On utilise les indices de l'abondance relative des sources  $g = 1, \dots, G$  pour estimer les paramètres du modèle de production grâce à un modèle d'observation linéaire de la forme

$$(2) \quad I_{t,g} = q_g B_t e^{\varepsilon_{t,g}},$$

où  $q_g$  est un coefficient de capturabilité constant et  $\xi_{t,g}$  est une erreur d'observation aléatoire affichant une distribution normale durant une année  $t$  pour un indice  $g$ .

### Fonction de probabilité

Différentes hypothèses à propos de la façon d'attribuer des écarts aléatoires dans les données à la dynamique du stock ( $\omega_t$ ) ou les observations ( $\xi_{t,g}$ ) donnent lieu à différents estimateurs du modèle de production. Si l'on attribue l'erreur totale du modèle aux observations, cela se traduit par un estimateur d'une « erreur d'observation » par lequel la dynamique du stock est, selon les hypothèses, non aléatoire et exactement égale à ce qui est prévu par l'équation 1, avec  $\omega_t = 0$  pour toutes les valeurs de  $t$ . Ainsi, les modèles de l'erreur d'observation ignorent les changements interannuels dans la biomasse du stock qui pourraient être observés par l'entremise de processus non modélisés comme la mortalité naturelle, l'immigration, l'émigration ou des incidences environnementales sur la production. D'autre part, si l'on attribue toute l'erreur aléatoire à la dynamique du stock sous-jacente en établissant  $\xi_{t,g} = 0$  dans le modèle des observations (équation 2) pour toutes les valeurs de  $t$  et de  $g$ , cela mène à un estimateur de l'« erreur de processus » par lequel les observations sont présumées exactes, c.-à-d.  $I_{t,g} = q_g B_t$  et, ainsi, les fluctuations interannuelles dans les données indiquent des changements dans la biomasse réelle du stock. En ce qui concerne l'estimateur de l'erreur de processus, il faut estimer la variance et les termes individuels de  $\omega_t$ .

Les inférences à propos de la dynamique des stocks de poissons sont tributaires des incertitudes entourant les observations et les processus sous-jacents de la dynamique des populations. Si l'on admet les erreurs d'observation et les erreurs de processus dans le modèle d'évaluation du stock, cela mène à des estimateurs des erreurs dans les variables par lesquels une certaine proportion  $\rho$  de la variance totale de l'erreur est attribuée aux observations, et le reste de  $1-\rho$  est attribuée aux changements non modélisés de la dynamique du stock sous-jacente. De façon systématique, les estimateurs des erreurs dans les variables définissent la variance totale de l'erreur,  $\kappa^2$ , comme étant

$$(5) \quad \kappa^2 = \tau^2 + \sigma^2.$$

Si l'on présume que la proportion de l'erreur d'observation  $\rho = \tau^2 / (\tau^2 + \sigma^2)$  est connue, les composantes de la variance individuelle peut être exprimée comme étant

$$(6) \quad \tau^2 = \rho \kappa^2, \quad \sigma^2 = (1 - \rho) \kappa^2,$$

pour les erreurs d'observation et les erreurs de processus, respectivement. Pour les fins de nos analyses,  $\rho$  est considérée comme agissant à titre paramètre de contrôle ou d'ajustement dans la procédure d'estimation. Tandis que  $\rho$  s'approche de zéro, l'accent mis sur l'erreur de processus tendra à permettre des changements aléatoires relativement importants de la biomasse du stock estimée d'une année à l'autre, pourvu, bien sûr, que des indices d'abondance possiblement multiples suggèrent la même direction et la même ampleur du changement. Inversement, des valeurs de  $\rho$  près de un causeront un changement déterministe de la biomasse d'après le modèle en réponse à des changements dans l'impact de la pêche. C'est-à-dire que le stock n'augmentera que si les prises sont inférieures à celles prévues dans le modèle de production excédentaire déterministe. L'expérience acquise durant la simulation des évaluations du modèle de production (Cox *et al.* 2009) donne à penser que les valeurs élevées de  $\rho$  affichent un rendement adéquat pour les espèces à plus longue durée de vie

---

comme la morue charbonnière, de sorte que nous avons établi  $\rho = 0,95$ . La fonction de probabilité logarithmique négative qui en résulte est donnée par E2.10.

### **Distributions a priori**

Nous avons utilisé les distributions a priori informatives sur  $U^{rms}$  et sur  $Y^{rms}$  pour ajuster le comportement du modèle de production. Les distributions a priori reposaient sur une distribution normale, avec des moyennes  $(\mu^U, \mu^Y)$  et des écarts-types  $(\sigma^U, \sigma^Y)$ , respectivement. La spécification des distributions a priori informatives pour la composante du modèle d'évaluation des procédures de gestion ressemble à la démarche adoptée dans le cadre de l'algorithme des limites des prises de la Commission baleinière internationale (Cooke 1999).

Tableau A-1. Notation du modèle d'évaluation du stock d'après la production excédentaire.

### Indices et fourchettes d'indices

Symbole	Description
$T$	Année durant laquelle l'évaluation du stock est réalisée
$t$	Année, où $t = 1, \dots, T$
$g$	Indices du stock (pêches ou relevés), où $g = 1, \dots, G$
$n_g$	Nombre d'observations non manquantes pour l'indice $g$
$i$	Indices des observations non manquantes dérivés du relevé $i = 1, \dots, n_g$

### Données

Symbole	Description
$C_{t,g}$	Élimination de la biomasse des prises durant l'année $t$ par type d'engin $g$
$I_{t,g}$	Observation de l'abondance relative du stock pour l'année $t$

### Paramètres principaux du modèle

Symbole	Description
$Y^{\text{RMS}}$	Rendement maximal soutenu
$U^{\text{RMS}}$	Taux d'exploitation optimal

### Paramètres de nuisance

Symbole	Description
$q_g$	Coefficient de capturabilité $g$ pour l'indice d'abondance
$\kappa^2$	Variance totale de l'erreur
$\rho$	Proportion de la variance totale attribuée à l'erreur d'observation (présumée connue)

### Variables d'état

Symbole	Description
$B_t$	Biomasse au début de l'année $t$

### Points de référence dérivés

Symbole	Description
$B^{\text{RMS}}$	Niveau de la biomasse au rendement maximal soutenu

### Distributions a priori

Symbole	Description
$N(\mu^Y, \sigma^Y)$	Distribution a priori normale pour $Y^{\text{RMS}}$
$N(\mu^U, \sigma^U)$	Distribution a priori normale pour $U^{\text{RMS}}$

### Distributions de l'erreur statistique

Symbole	Description
$\xi_{t,g} \sim N(0, \rho\kappa^2)$	Erreur d'observation durant l'année $t$ pour l'indice $g$
$\omega_t \sim N(0, (1-\rho)\kappa^2)$	Erreur de processus durant l'année $t$

Tableau A-2. Modèle de production excédentaire avec erreurs mixtes utilisé pour les évaluations annuelles du stock dans les simulations des procédures de gestion. (Note : MSY = RMS)

### Paramètres du modèle

Numéro	Description
E2.1	$\Theta = \left( U', Y', \{\omega_t\}_{t=1}^{t=T-1} \right)$

### Transformations des paramètres

Numéro	Description
E2.2	$U^{\text{MSY}} = \exp(U')$
E2.3	$Y^{\text{MSY}} = \exp(Y')$

### Modèle de la dynamique de la biomasse

Numéro	Description
E2.4	$B_1 = 2Y^{\text{MSY}} / U^{\text{MSY}}$
E2.5	$B^{\text{MSY}} = Y^{\text{MSY}} / U^{\text{MSY}}$
E2.6	$B_{t+1} = \begin{cases} \left( B_t + 2U^{\text{MSY}} B_t \left( 1 - \frac{B_t}{2B^{\text{MSY}}} \right) - \sum_{g=1}^G C_{t,g} \right) e^{\omega_t} & 1 \leq t \leq T-1 \\ B_t + 2U^{\text{MSY}} \left( 1 - \frac{B_t}{2B^{\text{MSY}}} \right) - \sum_{g=1}^G C_{t,g} & t = T \end{cases}$

### Résiduels

Numéro	Description
E2.7	$\xi_{i,g} = \log_e (I_{i,g} / B_t)$

### Estimations conditionnelles de la probabilité maximale

Numéro	Description
E2.8	$\widehat{\log q_g} = \frac{1}{n_g} \sum_1^{n_g} \xi_{i,g}$
E2.9	$\hat{\kappa}^2 = \frac{1}{n. + T - 1} \left( \frac{1}{\rho} \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} (\xi_{i,g} - \widehat{\log q_g})^2 + \frac{1}{1 - \rho} \sum_{t=1}^{T-1} \omega_t^2 \right)$

### Fonction des objectifs et de la probabilité logarithmique négative

Numéro	Description
E2.10	$\ell(\mathbf{I} \Theta) = \frac{n. + T - 1}{2} \left( \log_e \frac{1}{\rho} \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} (\xi_{i,g} - \widehat{\log q_g})^2 + \frac{1}{1 - \rho} \sum_{t=1}^{T-1} \omega_t^2 \right)$
E2.11	$G(\Theta \mathbf{I}) \propto \ell(\mathbf{I} \Theta) + \frac{1}{2(\sigma^Y)^2} (Y^{\text{MSY}} - \mu^Y)^2 + \frac{1}{2(\sigma^U)^2} (U^{\text{MSY}} - \mu^U)^2$

---

## ANNEXE B : TABLEAUX DE DONNÉES

L'histoire de la gestion des pêches et de la collecte de données sur la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) a été récemment résumée par Cox et ses collaborateurs<sup>1</sup> lorsqu'ils ont décrit le paramétrage du modèle opérationnel révisé concernant cette espèce. Dans cette annexe, nous ne présentons qu'un bref survol des types de données utilisées pour paramétrer le modèle opérationnel dans le cadre de l'évaluation de la stratégie de gestion actuelle, et nous renvoyons les lecteurs au document produit par Cox et ses collaborateurs<sup>1</sup> pour un aperçu détaillé de cette histoire, y compris les tactiques de gestion, les règlements, les systèmes de déclaration des prises et les indices de l'abondance disponibles.

Dans cette annexe, nous fournissons les tableaux de données à jour (à la fin de 2016) ci-après pour les valeurs concernant les prises conservées, les prises remises à l'eau et les indices de l'abondance. Ces données sont légèrement différentes des données utilisées pour conditionner les modèles opérationnels dans Cox et ses collaborateurs<sup>1</sup>. Des données recueillies sur une année supplémentaire sont devenues disponibles à ce moment, et des mises à jour de moindre importance des données remontant à avant 2016 ont été effectuées en raison de l'achèvement de l'année civile 2015. Des données sur la composition selon l'âge pour 2015 sont également devenues disponibles depuis la publication du document de Cox et ses collaborateurs<sup>1</sup> et sont utilisées pour conditionner les modèles opérationnels. Ces données sont présentées à l'annexe C, où l'on évalue l'ajustement aux données du modèle opérationnel.

Les prises sont résumées par année civile plutôt que par année de pêche en raison des différents changements dans la définition et la durée des années de pêche au cours de l'histoire de la gestion de la morue charbonnière. La définition actuelle de l'année de pêche, du 21 février au 20 février, n'est pas utilisée en prévision d'éventuels ajustements futurs et parce qu'il n'est pas très difficile d'appliquer la modélisation de l'évaluation du stock à une année civile.

### PRISES CONSERVÉES

La série chronologique des prises dans la pêche à la morue charbonnière qui sont conservées utilisée pour paramétrer le modèle opérationnel s'étend de 1965 jusqu'à présent (Tableau B - 1) et comprend trois types d'engins utilisés dans la pêche commerciale (les casiers, les palangres et les chaluts de fond). En outre, on a utilisé les prises conservées durant deux relevés de recherche sur la morue charbonnière : le relevé normalisé au casier (1990 et 2010) et le relevé aléatoire stratifié au casier (de 2003 jusqu'à présent). Les valeurs des prises dans la pêche à la palangre proviennent des pêches intérieures canadiennes et des pêches pratiquées par des flottilles étrangères du Japon, des États-Unis, de l'URSS et de la république de Corée, qui ont pratiqué la pêche dans les eaux canadiennes avant 1980. Les sources de données qu'on a utilisées pour calculer les enregistrements des prises conservées sont résumées dans le document de Cox et ses collaborateurs<sup>1</sup>.

### PRISES REMISES À L'EAU

Nous avons utilisé les valeurs des prises remises à l'eau consignées par des observateurs en mer (secteurs de la pêche au chalut de 1996 à 2016) et figurant dans les journaux de bord dont les données font l'objet d'une surveillance électronique par vidéo (secteurs autres que la pêche au chalut de 2006 à 2015) pour paramétrer les modèles opérationnels (Tableau B - 2).

Avant 1996, les remises à l'eau de morues charbonnières étaient consignées dans les journaux de bord sur une base volontaire pour tous les secteurs de la pêche au poisson de fond. En 1996, on a mis en œuvre un programme d'observateurs en mer dans le cadre de la pêche au chalut (option A seulement) et, à ce moment, des estimations indépendantes des pêches des remises à l'eau de morues charbonnières sont devenues disponibles. D'autres secteurs de la

---

pêche au poisson de fond se sont appuyés sur des journaux de bord dépendant des pêches jusqu'en 2006, lorsque la surveillance électronique par vidéo a été introduite aux fins de la vérification des journaux de bord. Les données consignées dans les journaux de bord avant 1996 (tous les secteurs) et avant 2006 (tous les secteurs autres que la pêche au chalut) n'étaient pas utilisées pour estimer la quantité absolue de morues charbonnières remises à l'eau dans le cadre de nos analyses, car on ne pouvait pas vérifier de façon indépendante leur précision.

## **ESTIMATION DES PRISES POUR LE RESTE DE L'ANNÉE 2016**

Les tableaux de données utilisés dans les analyses de la stratégie de gestion ont été compilés en utilisant les interrogations de la base de données effectuées le 28 octobre 2016. Les étapes suivies pour estimer les prises conservées de façon incomplète et les prises remises à l'eau pour le reste de l'année civile 2016 sont les suivantes :

1. Formulation d'une hypothèse selon laquelle les prises conservées en 2016 se chiffreront à environ 2 000 tonnes. Cette hypothèse repose sur le quota de morues charbonnières disponible pour la pêche au poisson de fond durant l'année en cours. Une hypothèse de 2 000 tonnes permet la capture de 474 tonnes de prises qui seront conservées après le 28 octobre 2016.
2. Attribution des 474 tonnes de prises conservées aux types d'engins de pêche commerciale par la moyenne des proportions de prises conservées observées entre 2013 et 2015. Ce calcul permet de produire des estimations des prises conservées de 747,5, 1 134,5 et 118 tonnes pour les pêches au casier, à la palangre et au chalut de fond, respectivement.
3. Formulation d'une hypothèse selon laquelle, durant le reste de 2016, des morues charbonnières seront remises à l'eau au taux observé durant les dix premiers mois de 2016, c'est-à-dire, les rapports entre les prises remises à l'eau observées et les prises conservées par type d'engin entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 28 octobre 2016.
4. Application des rapports présentés à l'étape 3 aux prises conservées estimées par engin défini à l'étape 2 pour estimer les remises à l'eau par type d'engin. Ce calcul permet de produire des remises à l'eau de 139,8, 112,5 et 244,5 tonnes dans le cadre de la pêche au casier, à la palangre et au chalut, respectivement.
5. Ajout des prises conservées et des prises remises à l'eau estimées aux prises observées jusqu'à présent pour estimer les prises dans la pêche commerciale par engin.
6. Formulation d'une hypothèse selon laquelle le relevé aléatoire stratifié au casier de 2016 s'accompagnera du même niveau de prises conservées qu'en 2015 (40,7 tonnes).

## **INDICES DE L'ABONDANCE**

Trois différents indices d'abondance relative reposant sur les captures par unité d'effort (CPUE) annuelles de morues charbonnières ont été utilisés pour ajuster les modèles opérationnels (Tableau B - 3). Le premier d'entre eux était un indice dépendant des pêches,

1. les CPUE dans la pêche commerciale nominale au casier (1979-2009),

tandis que les deux autres étaient dérivés de relevés de recherche indépendants des pêches qui ciblaient la morue charbonnière,

2. les CPUE durant le relevé normalisé au casier (1990-2009), et
3. les CPUE durant le relevé d'échantillonnage aléatoire stratifié (2003-2015).

Les trois séries d'indices reposaient sur l'utilisation de palangres à casier (nommées ci-après « casiers »). Les captures par unité d'effort (CPUE) sont exprimées en unités de kg/casier pour chaque ensemble. Des descriptions de chacun de ces indices du stock, y compris la conception des relevés et la méthode d'estimation, sont disponibles dans le document de Cox et ses collaborateurs<sup>1</sup>.

*Tableau B - 1. Prises conservées annuelles de morues charbonnières (tonnes) regroupées par engin comme données d'entrée pour les analyses de simulation. Les données présentées en italiques pour l'année 2016 reposent sur les totaux des prises disponibles au 6 octobre 2016. Les prises effectuées durant le restant de l'année civile 2016 (du 7 octobre au 31 décembre) ont été estimées (voir le texte). La désignation de l'année 2016\* indique les prises conservées estimées en 2016 utilisées dans les simulations (voir le texte ci-après pour de l'information sur la méthode d'estimation).*

Année	Intervalle de temps	Casier	Palangre	Chalut	Relevé normalisé au casier	Relevé aléatoire stratifié au casier	Total
1965	1	0	193,2	353,9	0	0	547,1
1966	2	0	499,7	406,9	0	0	906,6
1967	3	0	1 441,9	203,6	0	0	1 645,5
1968	4	0	2 682,3	232	0	0	2 914,3
1969	5	0	4 882,3	191,3	0	0	5 073,6
1970	6	0	5 284,1	269,9	0	0	5 554
1971	7	0	3 173	350,3	0	0	3 523,3
1972	8	0	4 635,7	1 270,3	0	0	5 906
1973	9	745,8	3 069,8	170,8	0	0	3 986,4
1974	10	327,1	4 036,3	413,8	0	0	4 777,2
1975	11	469,4	6 117,2	820,8	0	0	7 407,4
1976	12	303,4	5 918,4	855	0	0	7 076,8
1977	13	214,6	3 224,1	1 357,5	0	0	4 796,2
1978	14	634,6	2 160,2	1 078,5	0	0	3 873,3
1979	15	1 480,1	1 388,8	1 512,1	0	0	4 381
1980	16	3 210,8	447,6	652,3	0	0	4 310,7
1981	17	3 275,3	326,1	228,8	0	0	3 830,2
1982	18	3 437,8	343,6	245,9	0	0	4 027,4
1983	19	3 610,5	451,4	274,1	0	0	4 336
1984	20	3 275,4	365,1	187	0	0	3 827,4
1985	21	3 501,3	458,3	233,1	0	0	4 192,7
1986	22	3 277,1	619,2	551,8	0	0	4 448,1
1987	23	2 954,3	1 268,6	406,9	0	0	4 629,8
1988	24	3 488,5	1 273,6	637,3	0	0	5 399,4
1989	25	3 772	928,6	623,4	0	0	5 324
1990	26	3 072,4	1 371,8	460,7	10,1	0	4 915
1991	27	3 494,4	1 179,2	438,8	6	0	5 118,4
1992	28	3 710,2	848,6	448,7	9,5	0	5 016,9
1993	29	4 142,4	424,2	543,1	8,2	0	5 117,9
1994	30	4 050,7	467,7	483,1	7	0	5 008,5
1995	31	3 282,2	474,3	427,4	4,8	0	4 188,7
1996	32	2 984,3	280,4	190,9	4,9	0	3 460,6
1997	33	3 553,6	431,1	156,3	4,1	0	4 145,1
1998	34	3 772	443,6	376,1	5,6	0	4 597,3
1999	35	3 677,3	627,9	403	4,7	0	4 713
2000	36	2 745,3	752,4	326,1	7,3	0	3 831,1
2001	37	2 742,8	564,5	299,6	3,4	0	3 610,4
2002	38	2 161,9	564,4	267,1	16,2	0	3 009,5

Année	Intervalle de temps	Casier	Palangre	Chalut	Relevé normalisé au casier	Relevé aléatoire stratifié au casier	Total
2003	39	1 419,2	640,5	227,6	19,9	22,4	2 329,5
2004	40	2 128,5	467,4	344,7	16,2	8,6	2 965,4
2005	41	3 196,5	1 146,7	277,1	13,6	8,3	4 642,3
2006	42	2 773,5	1 306,3	441,8	12	10,7	4 544,2
2007	43	2 140	971,5	288,9	9,1	10,5	3 419,9
2008	44	1 487	1246,5	352,9	9,6	12,4	3 108,5
2009	45	1 174,4	1 107,7	223,2	6,4	12	2 523,6
2010	46	975,7	1 095,3	208,7	7,3	11,4	2 298,4
2011	47	803,9	1 082,4	175,7	0	11,1	2 073
2012	48	891,6	1 150,4	154,7	0	11,3	2 207,9
2013	49	841,4	877,3	184	0	32,1	1 934,8
2014	50	570,6	984,9	132,4	0	22,9	1 710,8
2015	51	1 110,9	1 328,6	132,8	0	40,7	2 613,0
2016	52	556,2	888,1	82,2	0	0	1 526,5
2016*	52	747,5	1 134,5	118,0	0	40,7	2 040,7

Tableau B - 2. Prises remises à l'eau annuelles de morues charbonnières (tonnes) regroupées par engin comme données d'entrée pour les analyses de simulation. Des valeurs concernant la remise à l'eau sont disponibles depuis 1974 pour tous les engins. Cependant, seules les valeurs obtenues grâce au programme des observateurs en mer des pêches au chalut (1996-2016 pour les pêches au chalut) et au programme de surveillance électronique en mer (2006-2016 pour les pêches au casier et à la palangre) ont été utilisées pour ajuster les modèles opérationnels (voir le texte pour davantage d'explications). Les données présentées en italique pour 2016 sont complètes au 6 octobre 2015. La désignation de l'année 2016\* indique les prises remises à l'eau estimées en 2016 dans les simulations (voir le texte ci-après pour de l'information sur la méthode d'estimation).

Année	Intervalle de temps	Casier	Palangre	Chalut	Total
1996	32	--	--	353,4	353,4
1997	33	--	--	452,9	452,9
1998	34	--	--	387,5	387,5
1999	35	--	--	422,7	422,7
2000	36	--	--	468,1	468,1
2001	37	--	--	341,8	341,8
2002	38	--	--	531,5	531,5
2003	39	--	--	362,2	362,2
2004	40	--	--	278,2	278,2
2005	41	--	--	189,2	189,2
2006	42	148,2	365,9	132,0	646,1
2007	43	173,7	164,6	126,8	465,1
2008	44	152,7	145,0	71,8	369,5
2009	45	87,2	136,2	83,7	307,1
2010	46	125,4	154,7	174,7	454,8
2011	47	130,7	176,4	133,7	440,8
2012	48	161,3	195,2	133,5	490,0
2013	49	186,4	147,4	126,4	460,2
2014	50	108,0	91,8	128,9	328,7
2015	51	148,1	147,0	218,4	513,5
2016	52	<i>104,0</i>	<i>88,1</i>	<i>170,3</i>	<i>362,4</i>
2016*	52	139,8	112,5	244,5	496,8

Tableau B - 3. Indices relatifs du stock de morues charbonnières : CPUE dans la pêche nominale au casier, CPUE durant le relevé normalisé et CPUE durant le relevé aléatoire stratifié.

Année	CPUE dans la pêche nominale au casier (kg/casier)	CPUE durant le relevé normalisé au casier (kg/casier)	CPUE durant le relevé aléatoire stratifié (kg/casier)
1979	17,661	-	-
1980	15,312	-	-
1981	15,056	-	-
1982	16,973	-	-
1983	16,819	-	-
1984	13,059	-	-
1985	17,687	-	-
1986	15,602	-	-
1987	16,160	-	-
1988	24,736	-	-
1989	25,695	-	-
1990	19,222	20,017	-

---

<b>Année</b>	<b>CPUE dans la pêche nominale au casier (kg/casier)</b>	<b>CPUE durant le relevé normalisé au casier (kg/casier)</b>	<b>CPUE durant le relevé aléatoire stratifié (kg/casier)</b>
1991	24,600	19,594	-
1992	24,363	25,603	-
1993	20,380	37,020	-
1994	18,397	15,565	-
1995	15,020	13,882	-
1996	14,087	11,413	-
1997	12,956	7,879	-
1998	13,020	12,176	-
1999	13,426	7,768	-
2000	12,667	9,394	-
2001	10,082	3,141	-
2002	9,899	8,487	-
2003	19,222	29,228	28,363
2004	14,009	26,811	24,941
2005	11,615	19,799	23,789
2006	10,034	17,702	28,889
2007	9,705	10,270	20,476
2008	10,042	10,889	26,243
2009	10,090	7,229	18,299
2010	-	8,322	21,402
2011	-	-	19,851
2012	-	-	15,210
2013	-	-	19,729
2014	-	-	13,443
2015	-	-	22,638
2016	-	-	-

---

## ANNEXE C : DIAGNOSTICS DE L'AJUSTEMENT DU MODÈLE OPÉRATIONNEL

Les figures C-1 à C-12 présentées dans cette annexe montrent l'ajustement du modèle opérationnel aux données.

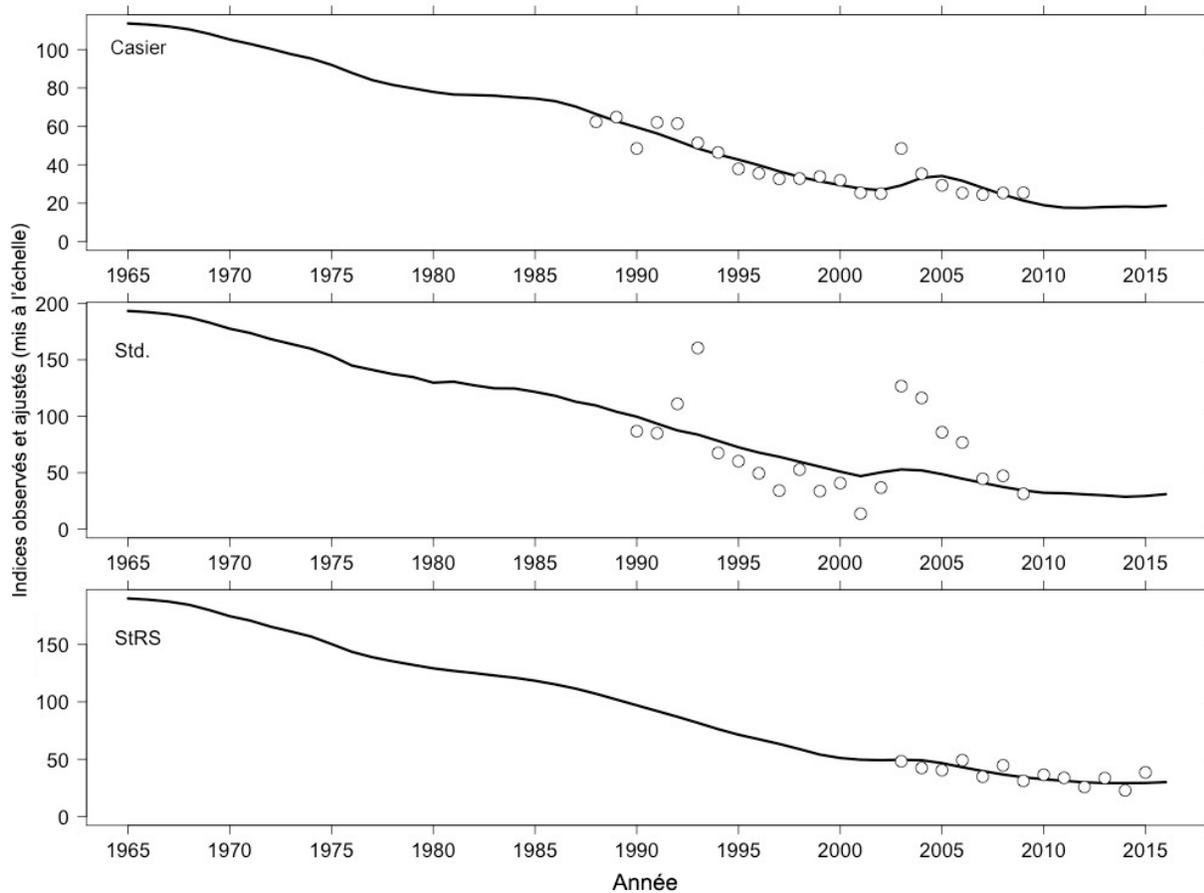


Figure C-1. Ajustement aux indices annuels du stock de morues charbonnières mis à l'échelle des unités de biomasse par estimation de capturabilité pour l'indice concernant la pêche commerciale au casier (panneau du haut), pour l'indice dérivé du relevé normalisé (panneau du centre) et pour l'indice dérivé du relevé aléatoire stratifié (panneau du bas). Les observations mises à l'échelle sont indiquées par des cercles ouverts, tandis que la ligne pleine dans chaque panneau de la figure montre les estimations du modèle. Le résultat concerne le scénario de référence du modèle opérationnel.

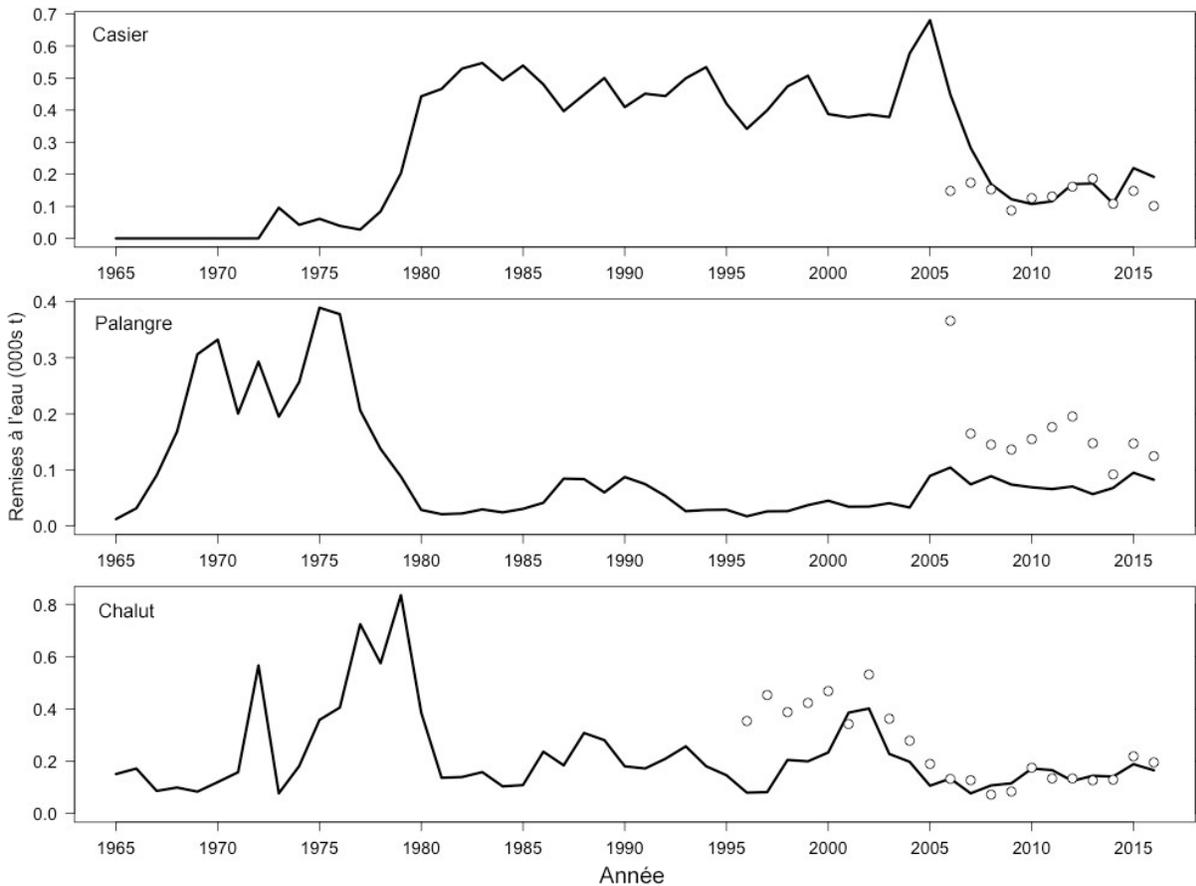


Figure C-2. Ajustement aux données annuelles sur les remises à l'eau de morues charbonnières pour les indices de la pêche commerciale au casier (panneau du haut), à la palangre (panneau du centre) et au chalut (panneau du bas) pour le scénario de référence du modèle opérationnel. Les remises à l'eau observées sont montrées par des cercles ouverts, tandis que la ligne pleine dans chaque panneau de la figure montre les estimations du modèle.

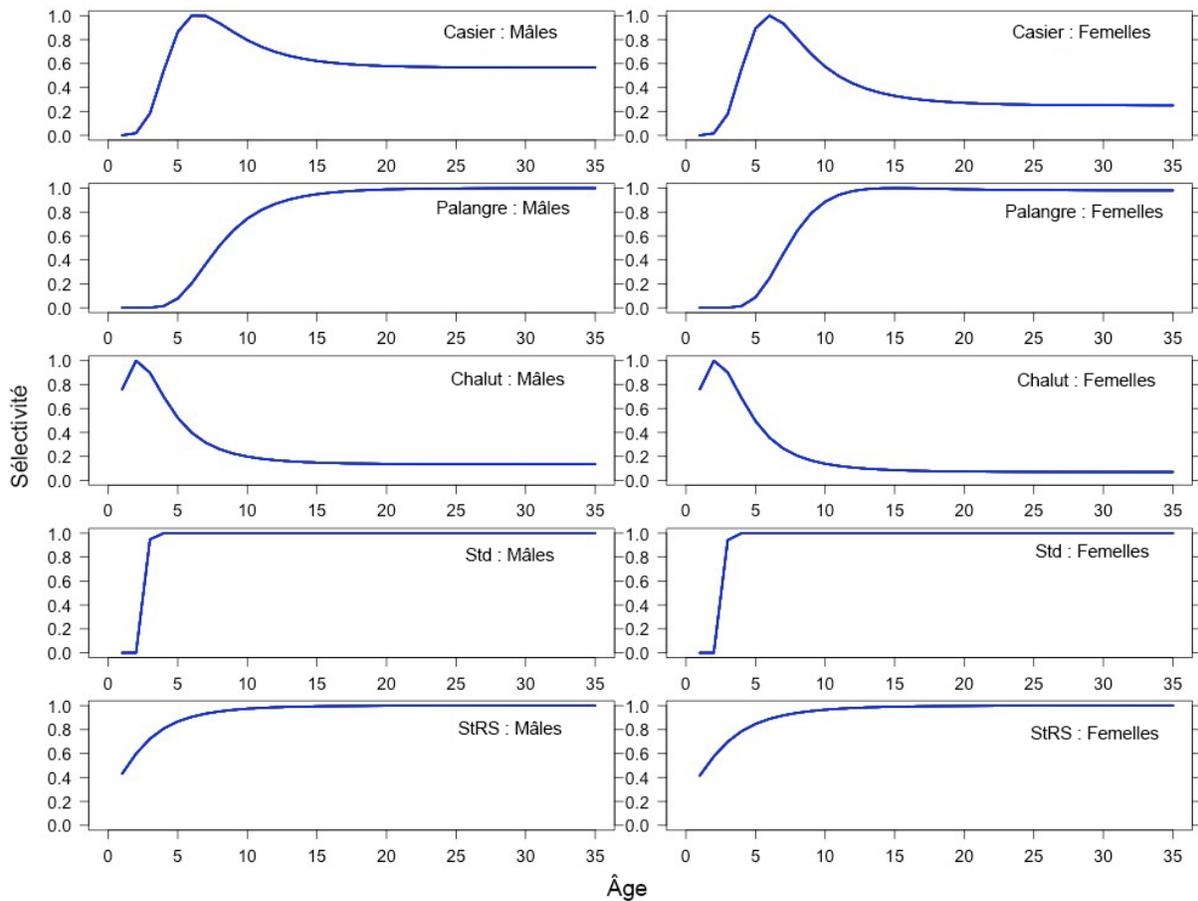


Figure C-3. Estimations de la densité de probabilité maximale de la sélectivité selon l'âge par type d'engin pour les morues charbonnières mâles et femelles selon le scénario de référence du modèle opérationnel. Les trois lignes du haut montrent la sélectivité pour les trois différentes pêches commerciales : au casier, à la palangre (hameçons) et au chalut. Les deux lignes du bas montrent la sélectivité pour le relevé normalisé au casier (Std) et pour le relevé aléatoire stratifié au casier (StRS).

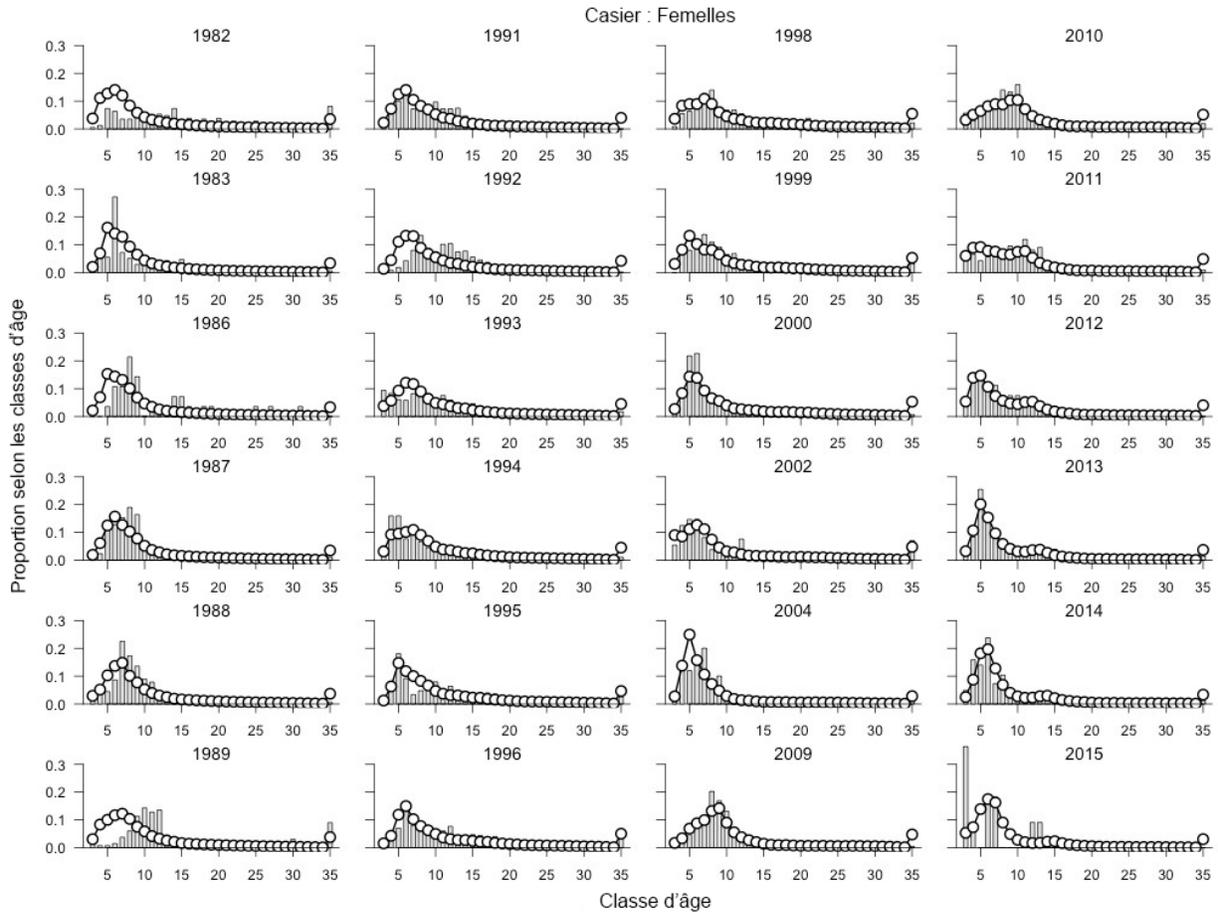


Figure C-4. Proportions annuelles de morues charbonnières femelles selon l'âge observées (barres) et prévues (lignes et cercles) pour la pêche commerciale au casier et selon le scénario de référence du modèle opérationnel. Les proportions pour les âges 3 à 25 ont été ajustées; les proportions de poissons d'âge 26 et plus observées ne sont pas entrées dans le calcul de la probabilité ou n'ont pas figuré dans les échantillons prélevés pour évaluer la composition selon l'âge avant 1990.

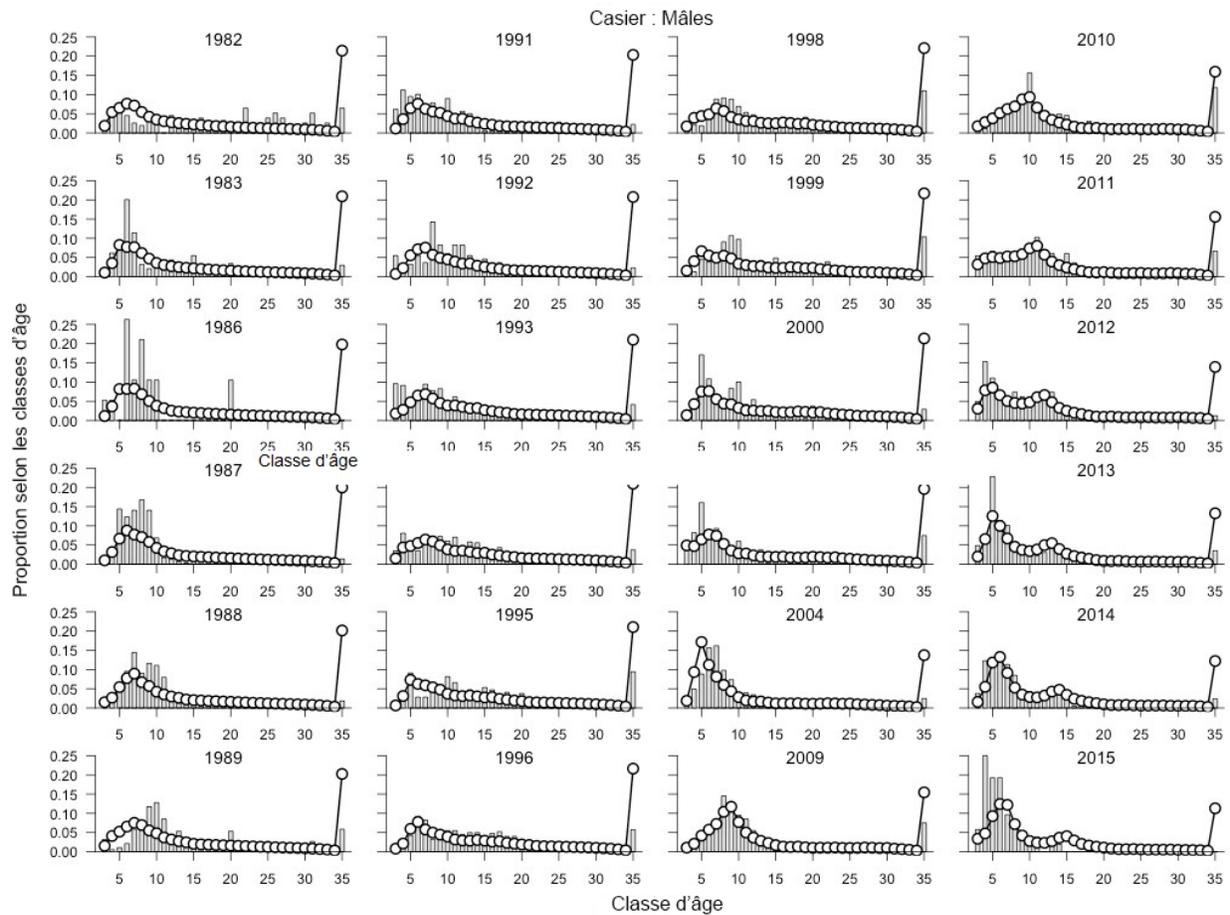


Figure C - 5. Proportions annuelles de morues charbonnières mâles selon l'âge observées (barres) et prévues (lignes et cercles) pour la pêche commerciale au casier et selon le scénario de référence du modèle opérationnel. Les proportions pour les âges 3 à 25 ont été ajustées; les proportions de poissons d'âge 26 et plus observées ne sont pas entrées dans le calcul de la probabilité ou n'ont pas figuré dans les échantillons prélevés pour évaluer la composition selon l'âge avant 1990.

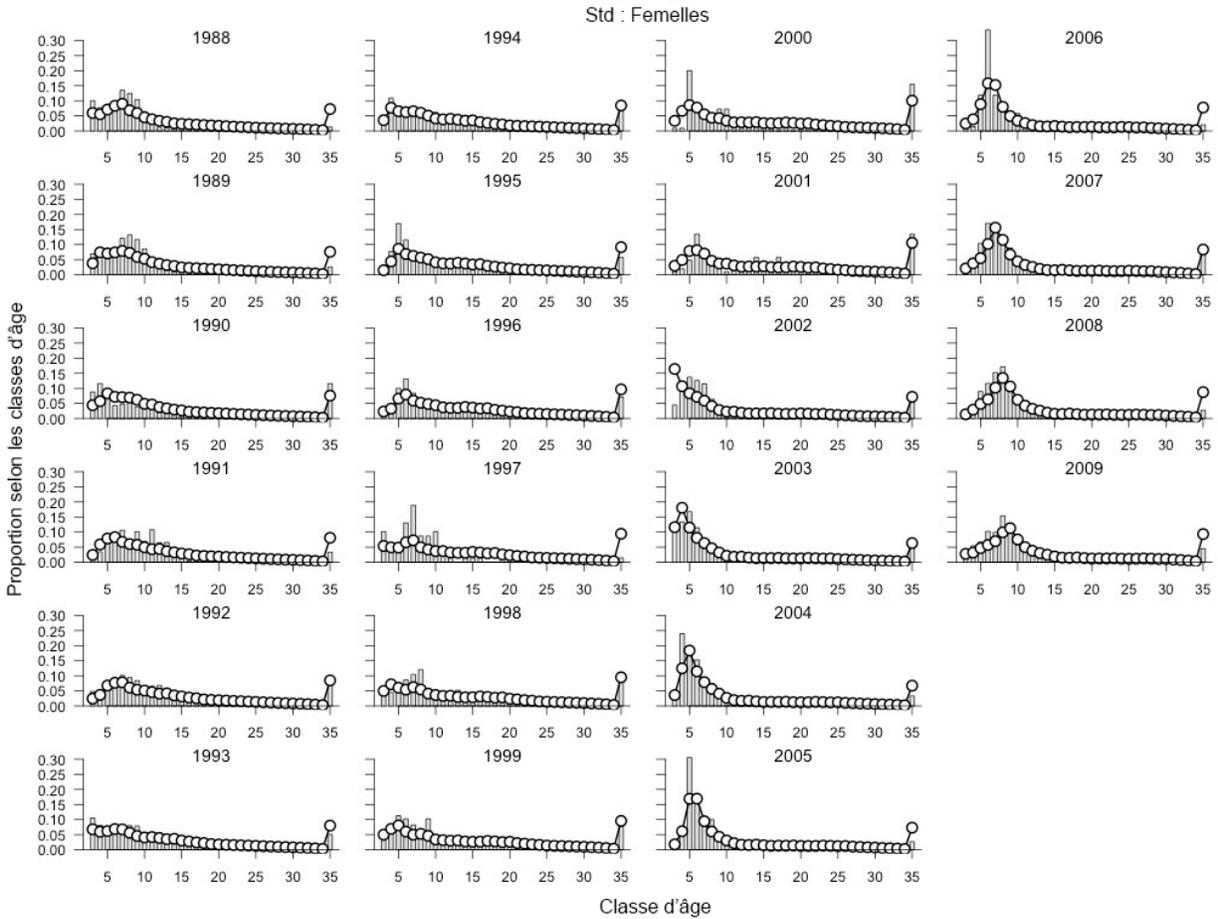


Figure C - 6. Proportions annuelles de morues charbonnières femelles selon l'âge observées (barres) et prévues (lignes et cercles) durant l'année du relevé normalisé au casier et selon le scénario de référence du modèle opérationnel. Les proportions des poissons d'âge 3 dans le groupe supplémentaire à l'âge 35 ont été ajustées.

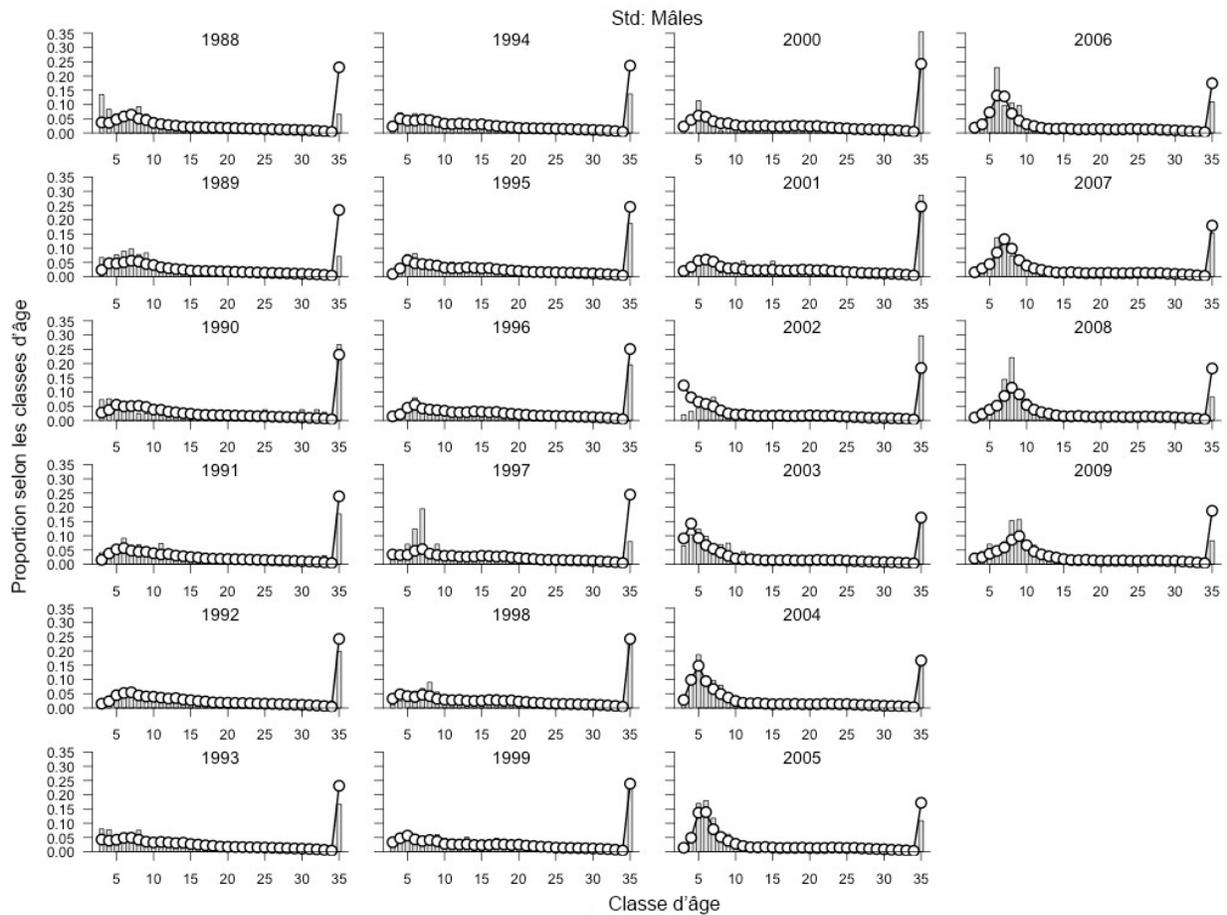


Figure C - 7. Proportions annuelles de morues charbonnières mâles selon l'âge observées (barres) et prévues (lignes et cercles) durant l'année du relevé normalisé au casier et selon le scénario de référence du modèle opérationnel. Les proportions des poissons d'âge 3 dans le groupe supplémentaire à l'âge 35 ont été ajustées.

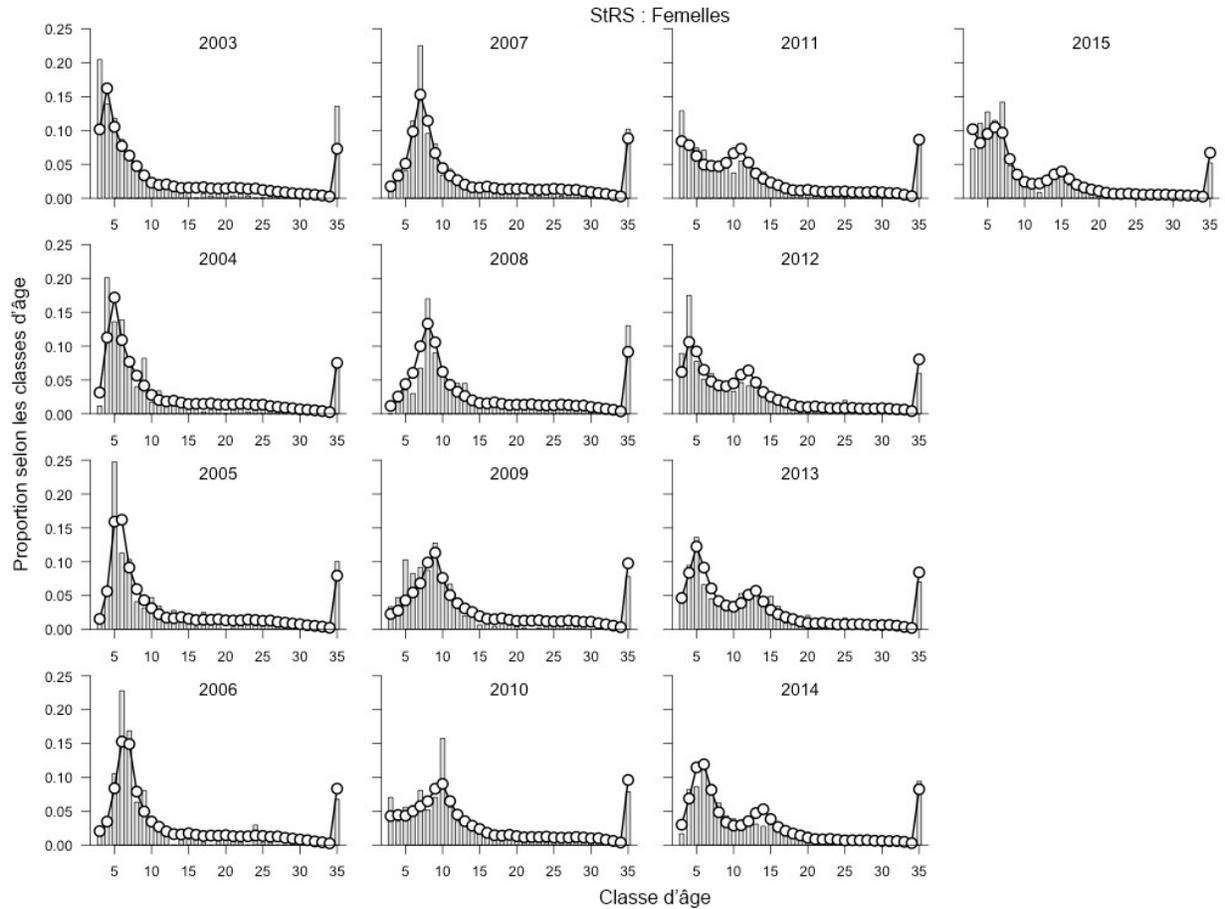


Figure C - 8. Proportions annuelles de morues charbonnières femelles selon l'âge observées (barres) et prévues (lignes et cercles) durant le relevé aléatoire stratifié au casier et selon le scénario de référence du modèle opérationnel. Les proportions des poissons d'âge 3 dans le groupe supplémentaire à l'âge 35 ont été ajustées.

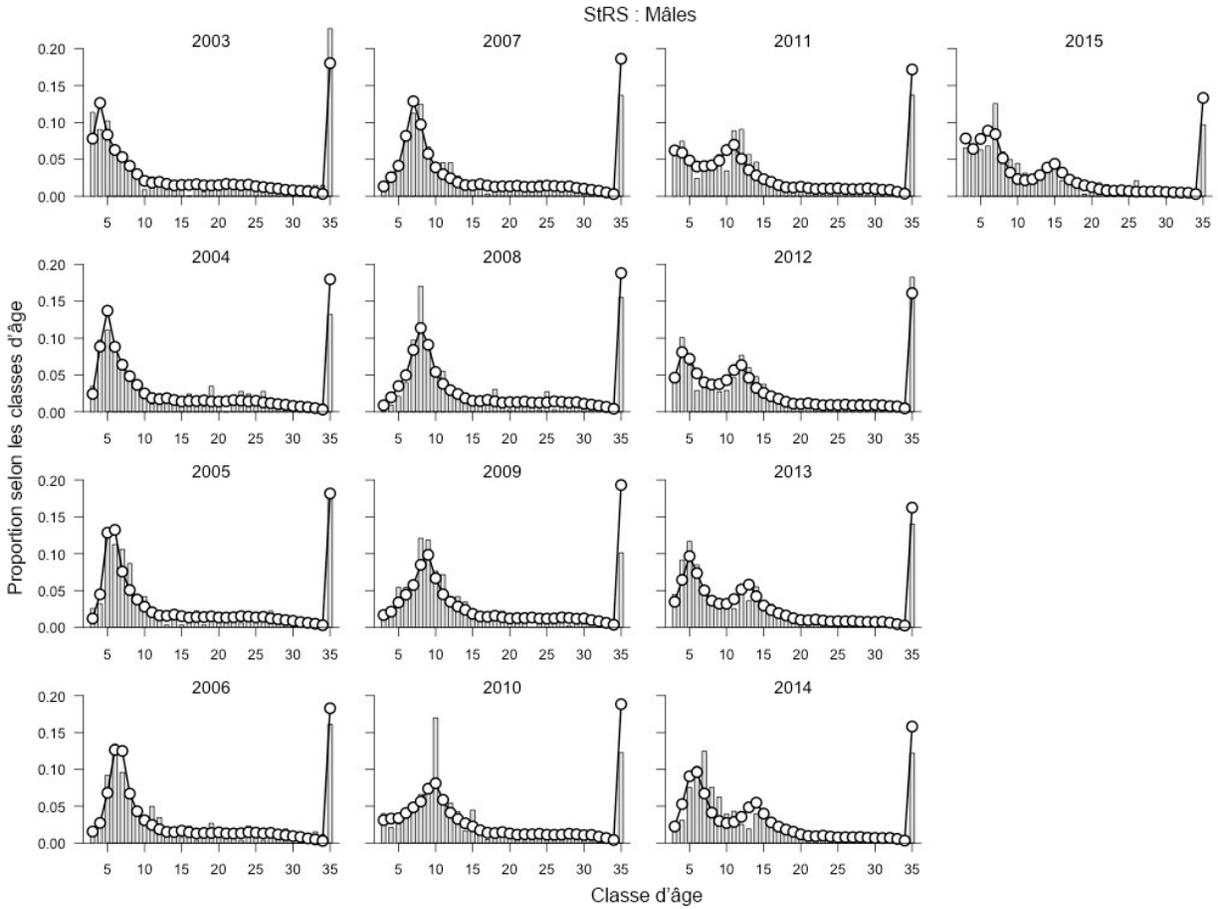


Figure C - 9. Proportions annuelles de morues charbonnières mâles selon l'âge observées (barres) et prévues (lignes et cercles) durant le relevé aléatoire stratifié au casier et selon le scénario de référence du modèle opérationnel. Les proportions des poissons d'âge 3 dans le groupe supplémentaire à l'âge 35 ont été ajustées.

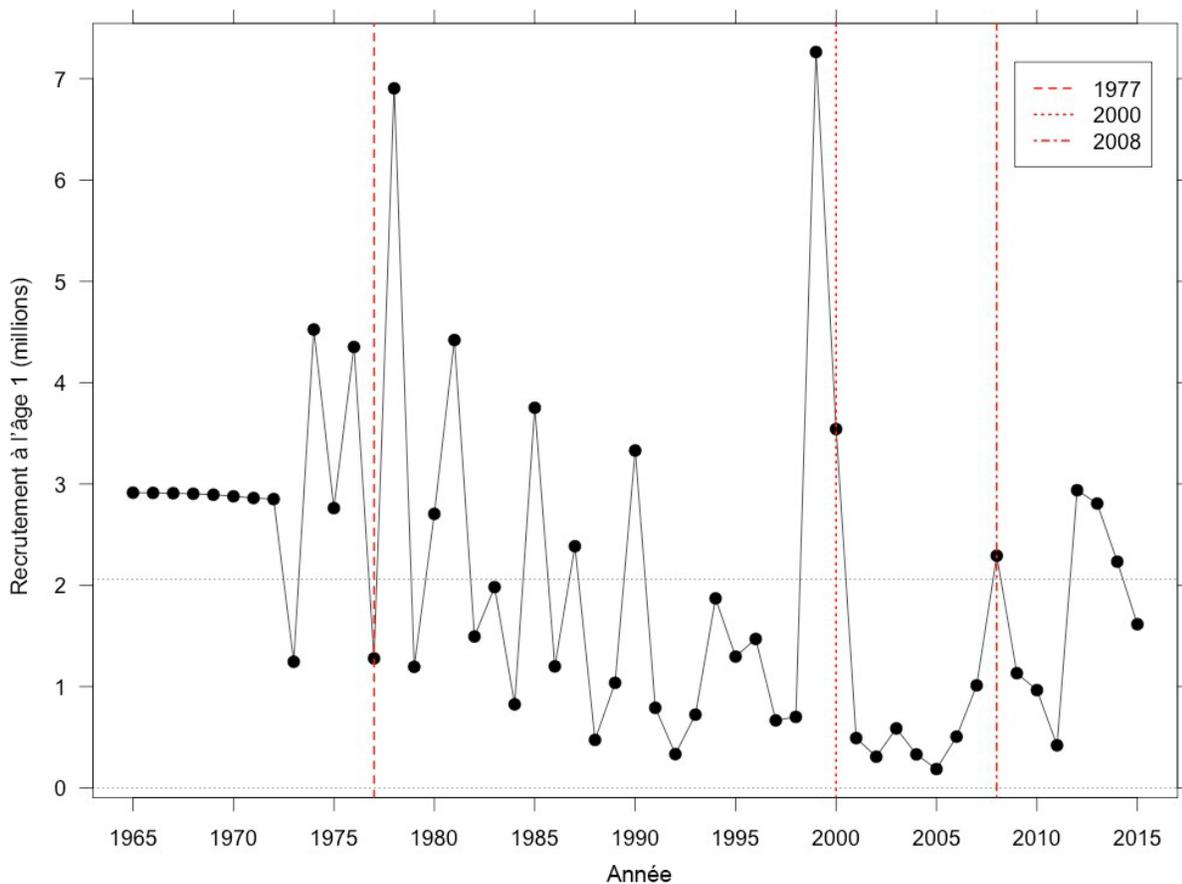


Figure C - 10. Estimations annuelles du recrutement des morues charbonnières d'âge 1 selon le scénario de référence du modèle opérationnel. Le recrutement moyen est indiqué par la ligne tiretée horizontale, sauf pour les années 2013 à 2015. Des lignes de référence sont fournies pour les années d'éclosion 1977, 2000 et 2008, au cours desquelles on présume qu'un recrutement influenceur a eu lieu dans le golfe d'Alaska, en Colombie-Britannique et sur la côte Ouest des États-Unis.

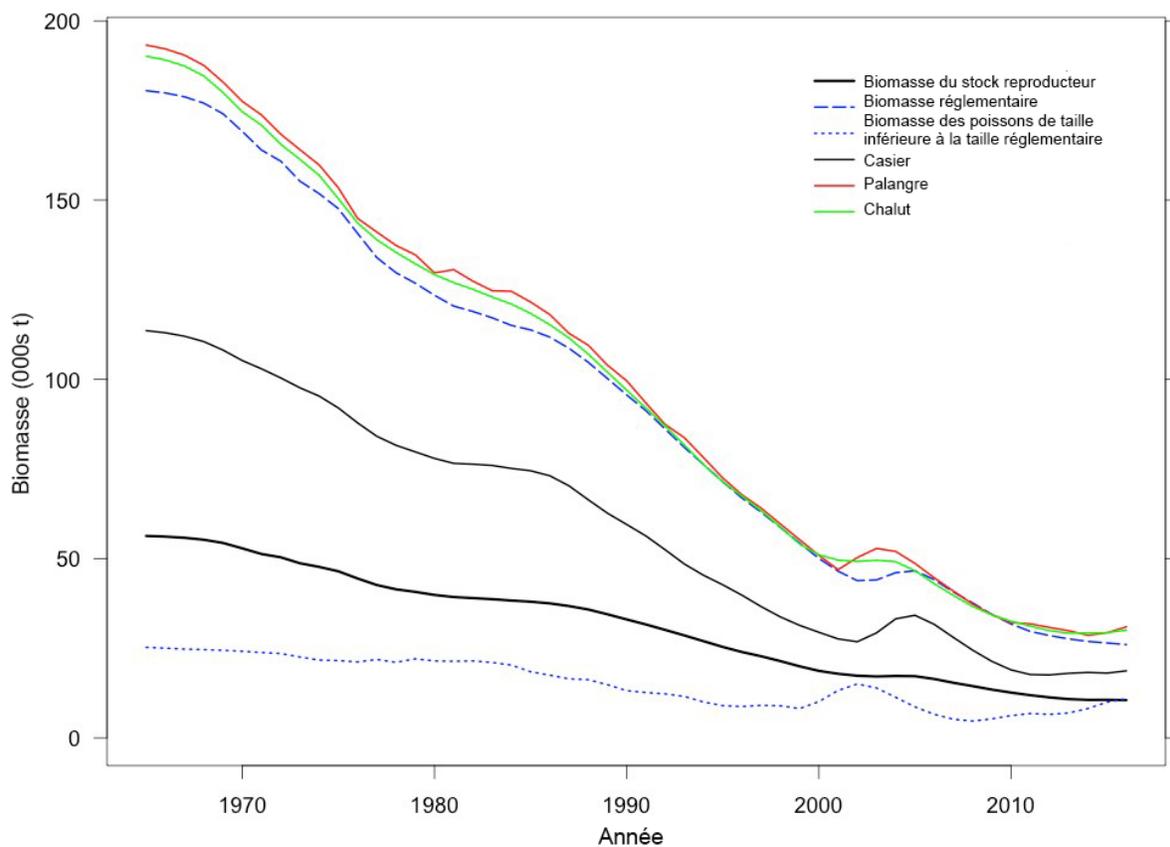


Figure C - 11. Trajectoires estimées annuelles de la biomasse des morues charbonnières (en milliers de tonnes) selon le scénario de référence du modèle opérationnel. La biomasse des génitrices est montrée par la ligne noire continue épaisse. La biomasse exploitable est montrée pour les différents engins, le casier, la palangre et le chalut. La biomasse des poissons de taille inférieure à la taille réglementaire renvoie à la biomasse des poissons dont la longueur à la fourche est inférieure à 55 cm.

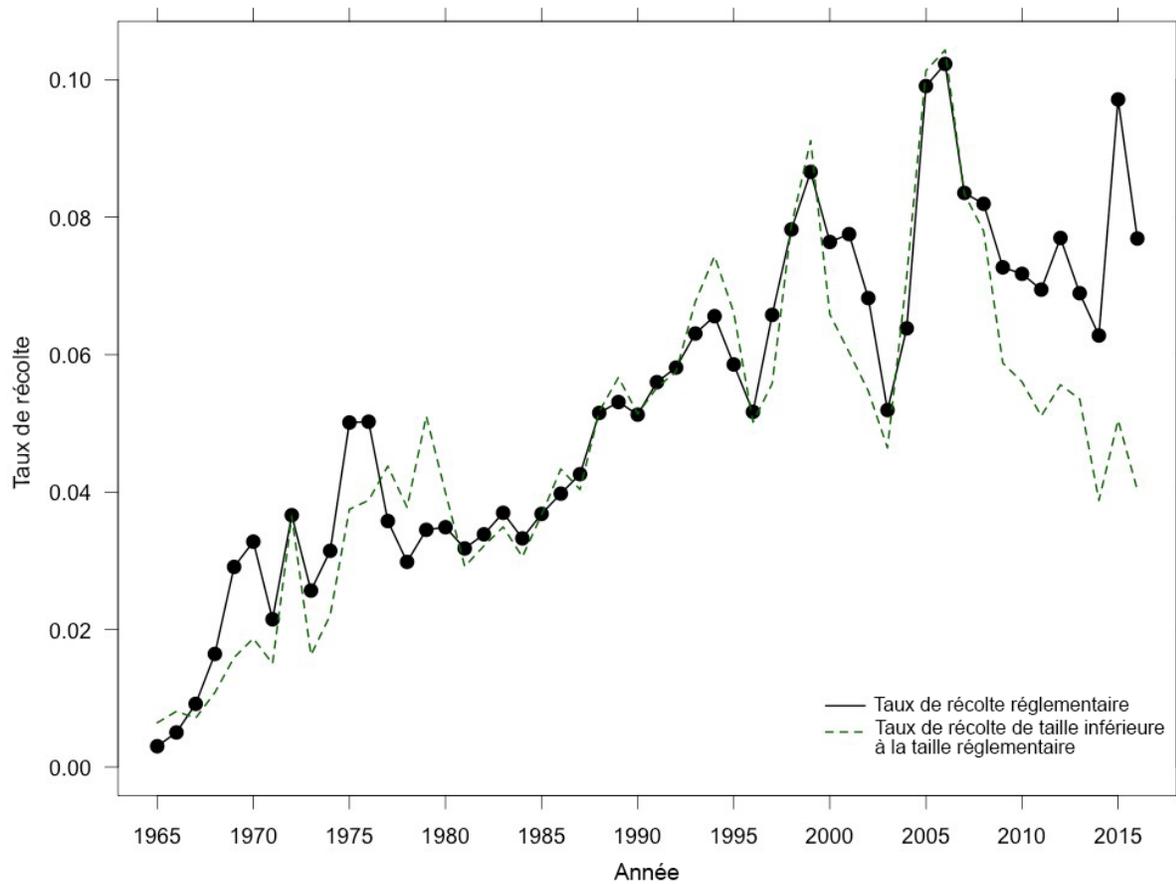


Figure C - 12. Taux de récolte annuels estimés pour les morues charbonnières de taille réglementaire et de taille inférieure à la taille réglementaire selon le scénario du modèle opérationnel.

## ANNEXE D : RÉSULTATS DE LA SIMULATION – SÉRIES SUR LES ÉPUISEMENTS ET SUR LES PRISES

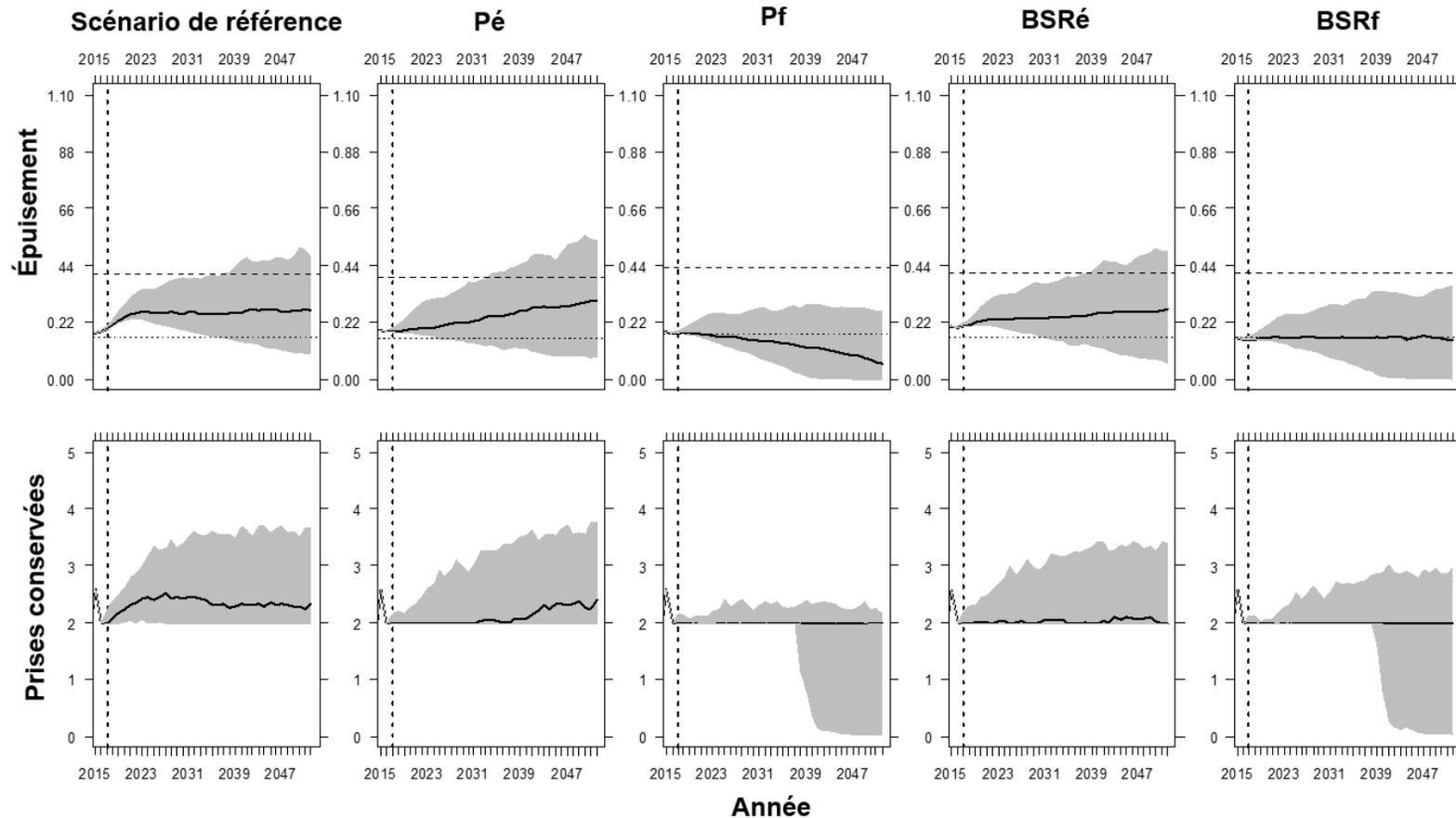


Figure D - 1. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices dans le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSRf_t / BSRf_0$ ) (en haut) et des prises conservées (TAC) en vertu de la procédure de gestion actuelle simulée selon cinq scénarios de productivité différents (colonnes de gauche à droite : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible). Les zones ombrées grises représentent les 80 % centraux des résultats des 100 répétitions de la simulation, et les lignes noires épaisses montrent la médiane pour toutes les répétitions. Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

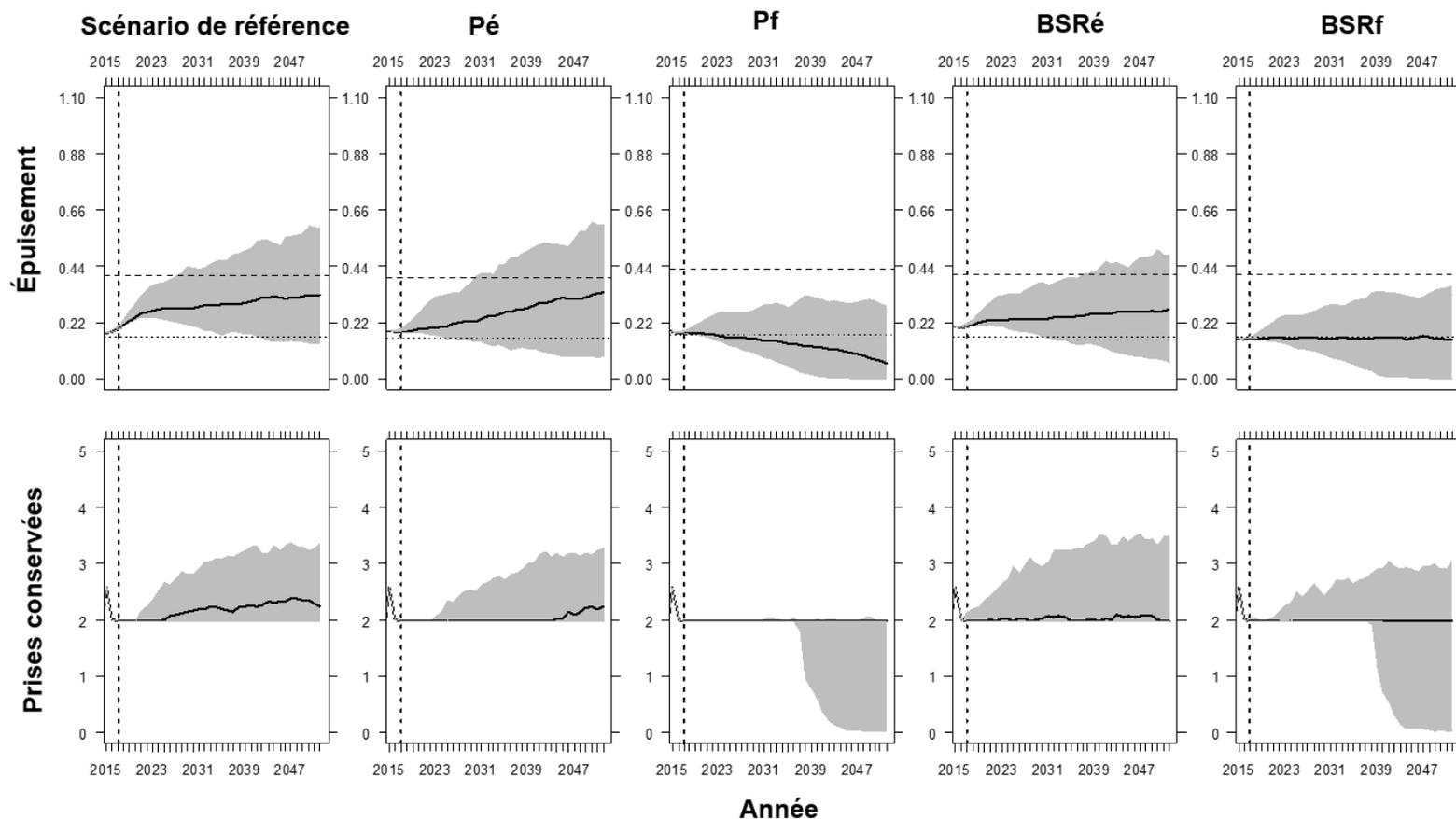


Figure D - 2. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices dans le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSRf_t / BSRf_0$ ) (en haut) et des prises conservées (TAC) en vertu de la procédure de gestion **F11.992\_TR5.5** simulée selon cinq scénarios de productivité différents (colonnes de gauche à droite : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible). Les zones ombrées grises représentent les 80 % centraux des résultats des 100 répétitions de la simulation, et les lignes noires épaisses montrent la médiane pour toutes les répétitions. Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

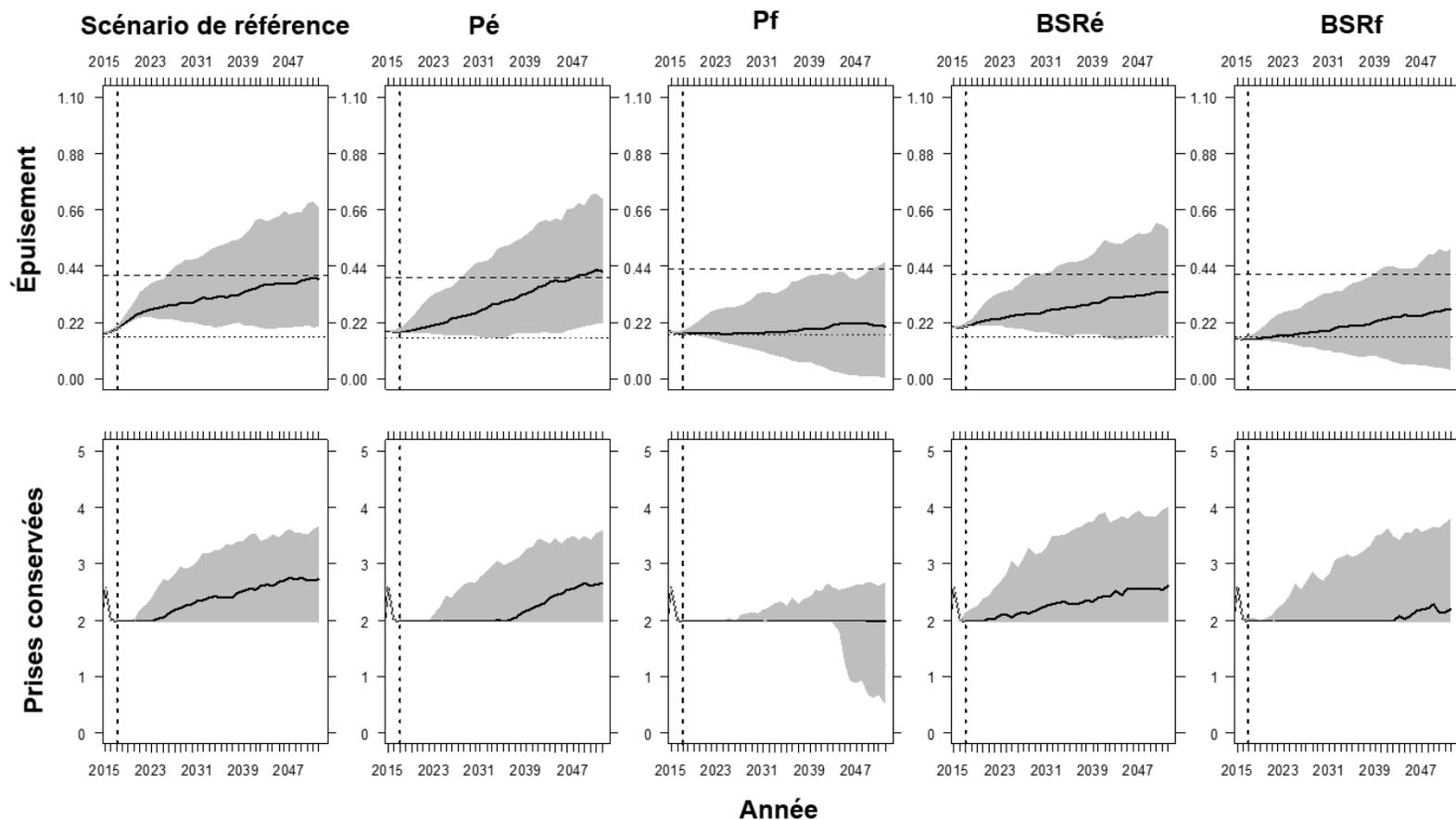


Figure D - 3. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices dans le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSRf_t / BSRf_0$ ) (en haut) et des prises conservées (TAC) en vertu de la procédure de gestion **FI1.992\_TR5.5\_frt** simulée selon cinq scénarios de productivité différents (colonnes de gauche à droite : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de  $BSRf$  initiale élevée et scénario de  $BSRf$  initiale faible). Les zones ombrées grises représentent les 80 % centraux des résultats des 100 répétitions de la simulation, et les lignes noires épaisses montrent la médiane pour toutes les répétitions. Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

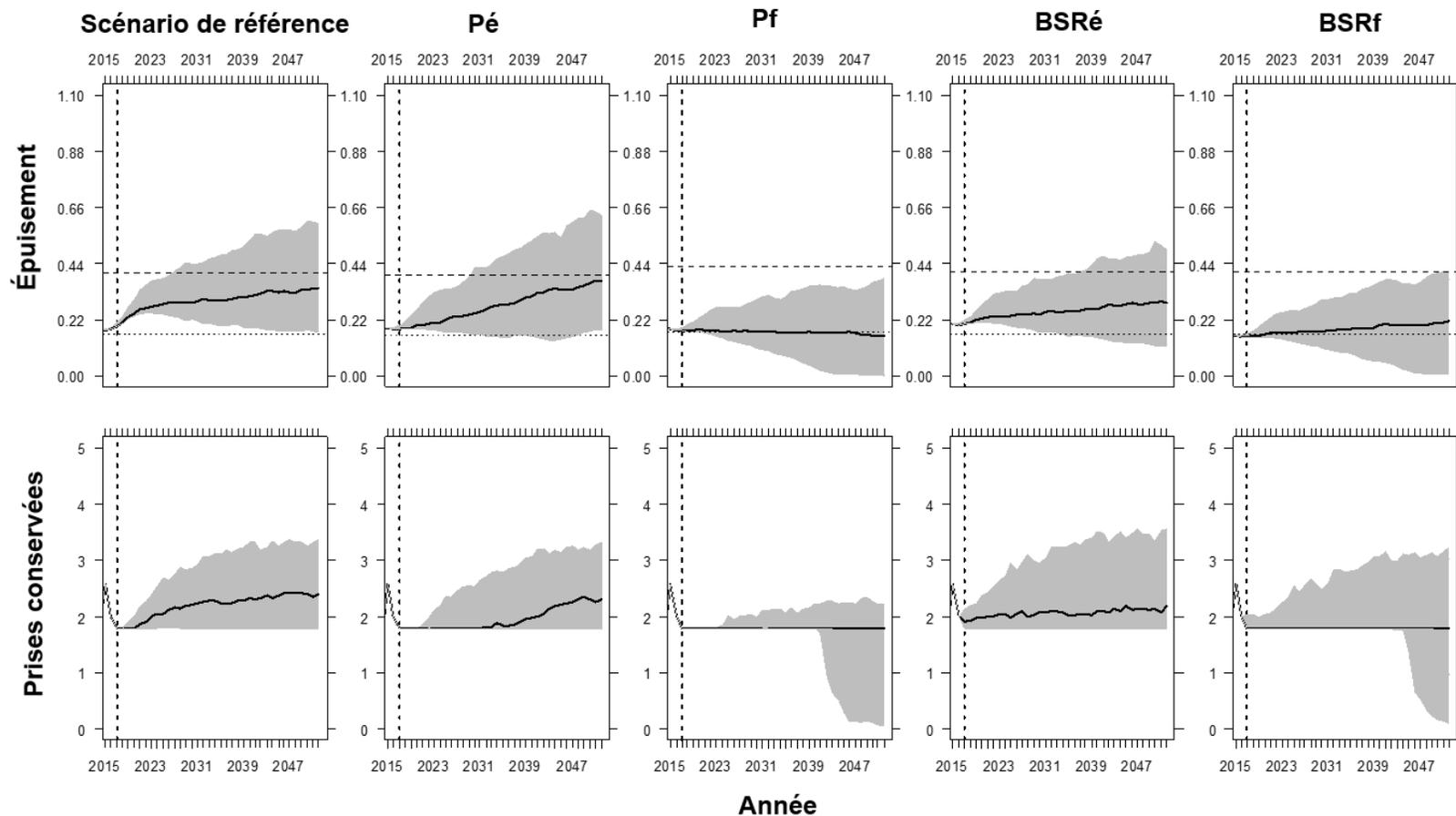


Figure D - 4. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices dans le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSRf_t / BSRf_0$ ) (en haut) et des prises conservées (TAC) en vertu de la procédure de gestion **F11.80\_TR5.5** simulée selon cinq scénarios de productivité différents (colonnes de gauche à droite : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de  $BSRf$  initiale élevée et scénario de  $BSRf$  initiale faible). Les zones ombrées grises représentent les 80 % centraux des résultats des 100 répétitions de la simulation, et les lignes noires épaisses montrent la médiane pour toutes les répétitions. Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

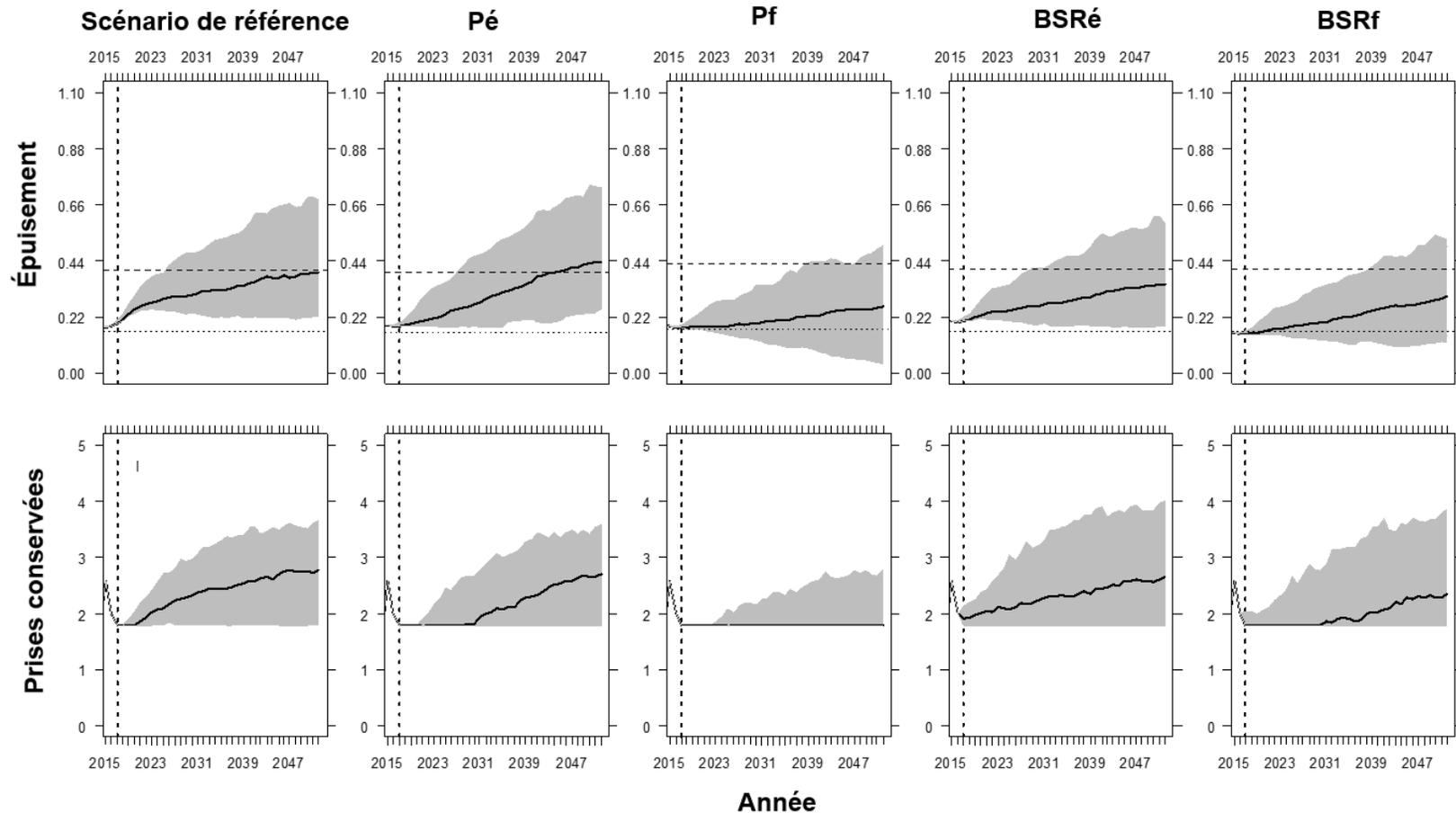


Figure D - 5. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices dans le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSRf_t / BSRf_0$ ) (en haut) et des prises conservées (TAC) en vertu de la procédure de gestion **F11.80\_TR5.5\_frt** simulée selon cinq scénarios de productivité différents (colonnes de gauche à droite : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible). Les zones ombrées grises représentent les 80 % centraux des résultats des 100 répétitions de la simulation, et les lignes noires épaisses montrent la médiane pour toutes les répétitions. Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

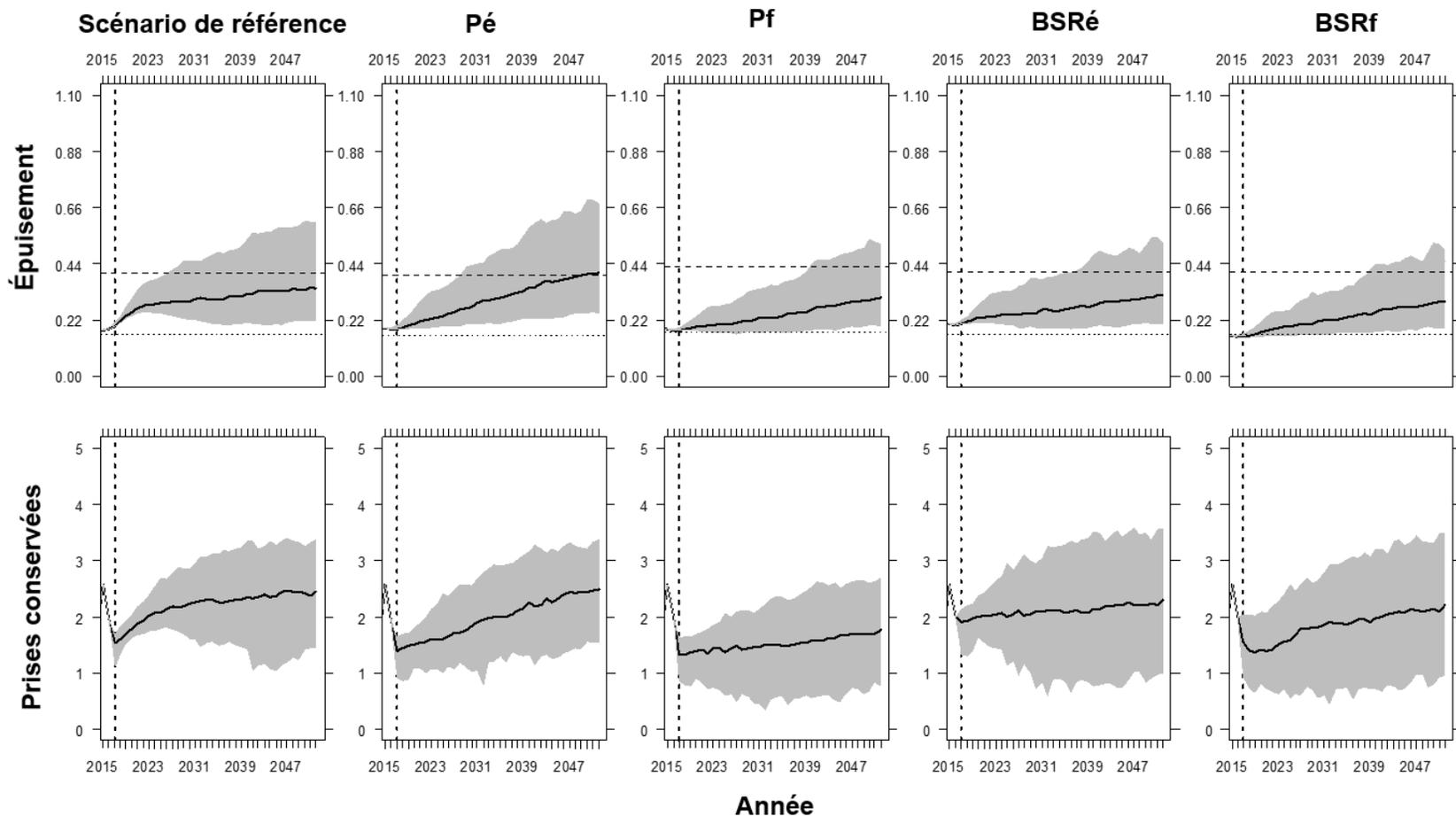


Figure D - 6. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices dans le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSRf_t / BSRf_0$ ) (en haut) et des prises conservées (TAC) en vertu de la procédure de gestion **FIO.0 0\_TR5.5** simulée selon cinq scénarios de productivité différents (colonnes de gauche à droite : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible). Les zones ombrées grises représentent les 80 % centraux des résultats des 100 répétitions de la simulation, et les lignes noires épaisses montrent la médiane pour toutes les répétitions. Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

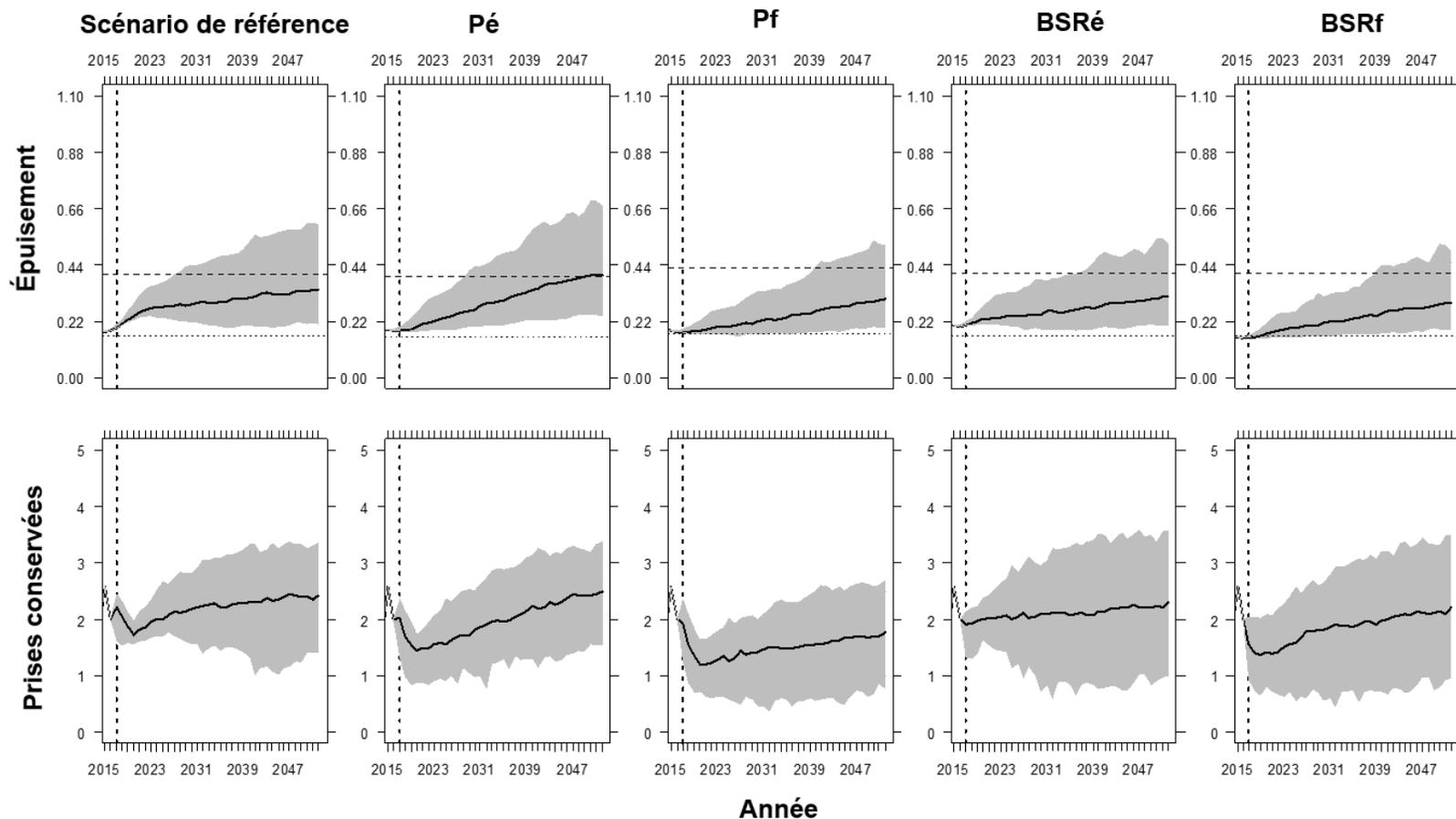


Figure D - 7. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices dans le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSRf_t / BSRf_0$ ) (en haut) et des prises conservées (TAC) en vertu de la procédure de gestion **F10.00\_TR5.5\_ph3** simulée selon cinq scénarios de productivité différents (colonnes de gauche à droite : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible). Les zones ombrées grises représentent les 80 % centraux des résultats des 100 répétitions de la simulation, et les lignes noires épaisses montrent la médiane pour toutes les répétitions. Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

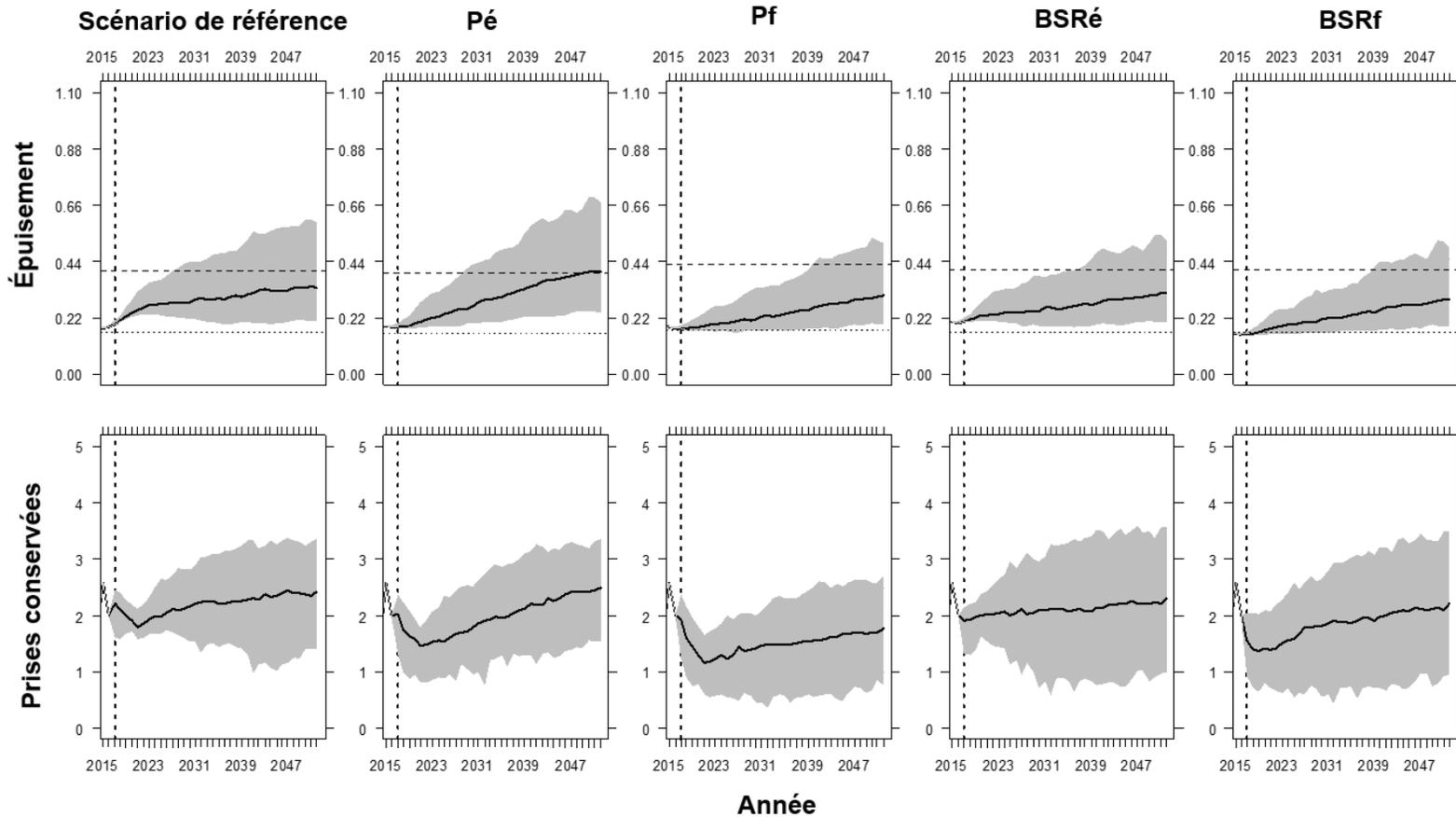


Figure D - 8. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices dans le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSRf_t / BSRf_0$ ) (en haut) et des prises conservées (TAC) en vertu de la procédure de gestion **F10.00\_TR5.5\_ph4** simulée selon cinq scénarios de productivité différents (colonnes de gauche à droite : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible). Les zones ombrées grises représentent les 80 % centraux des résultats des 100 répétitions de la simulation, et les lignes noires épaisses montrent la médiane pour toutes les répétitions. Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

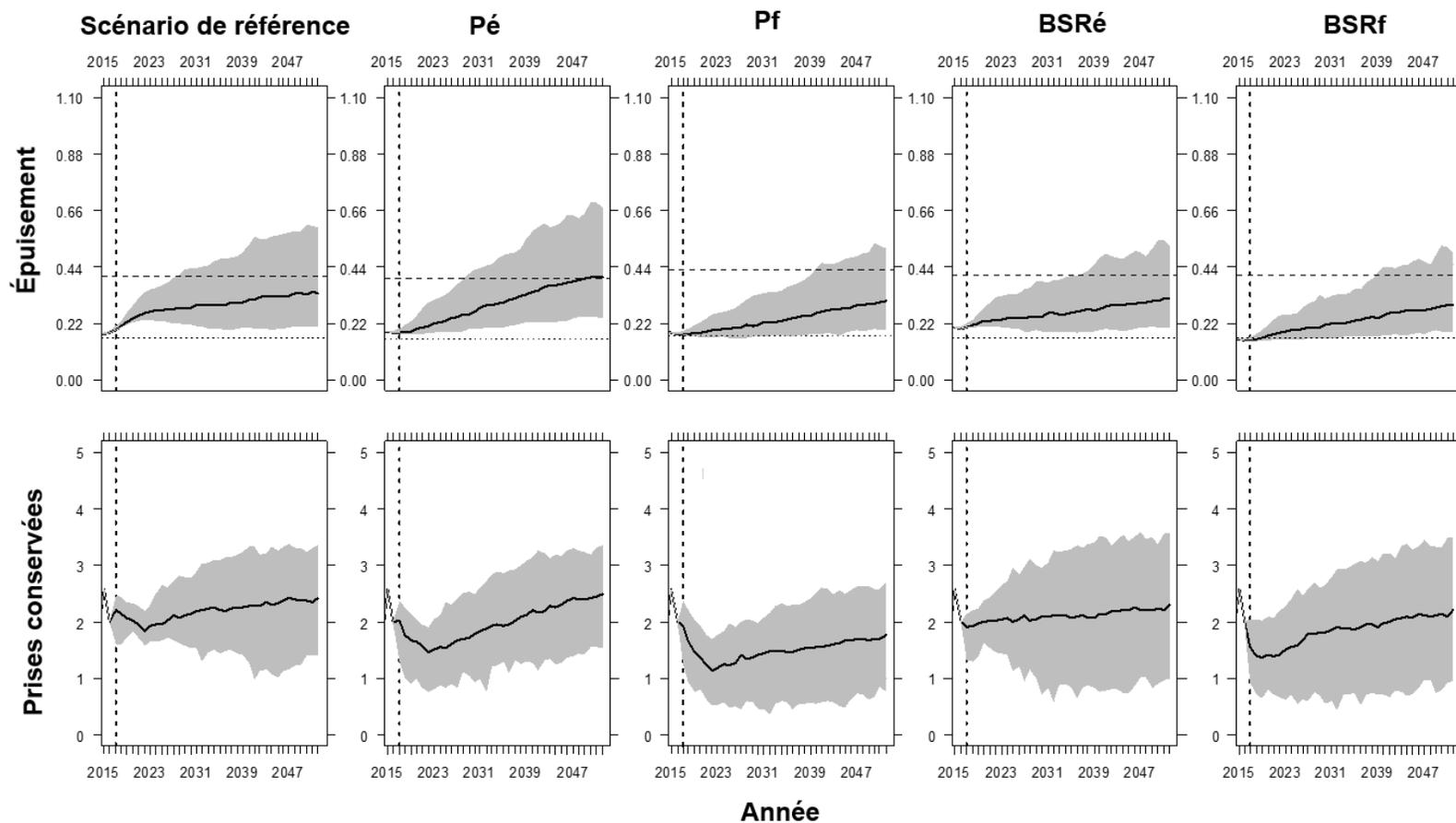


Figure D - 9. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices dans le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSRf_t / BSRf_0$ ) (en haut) et des prises conservées (TAC) en vertu de la procédure de gestion **F10.00\_TR5.5\_ph5** simulée selon cinq scénarios de productivité différents (colonnes de gauche à droite : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible). Les zones ombrées grises représentent les 80 % centraux des résultats des 100 répétitions de la simulation, et les lignes noires épaisses montrent la médiane pour toutes les répétitions. Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

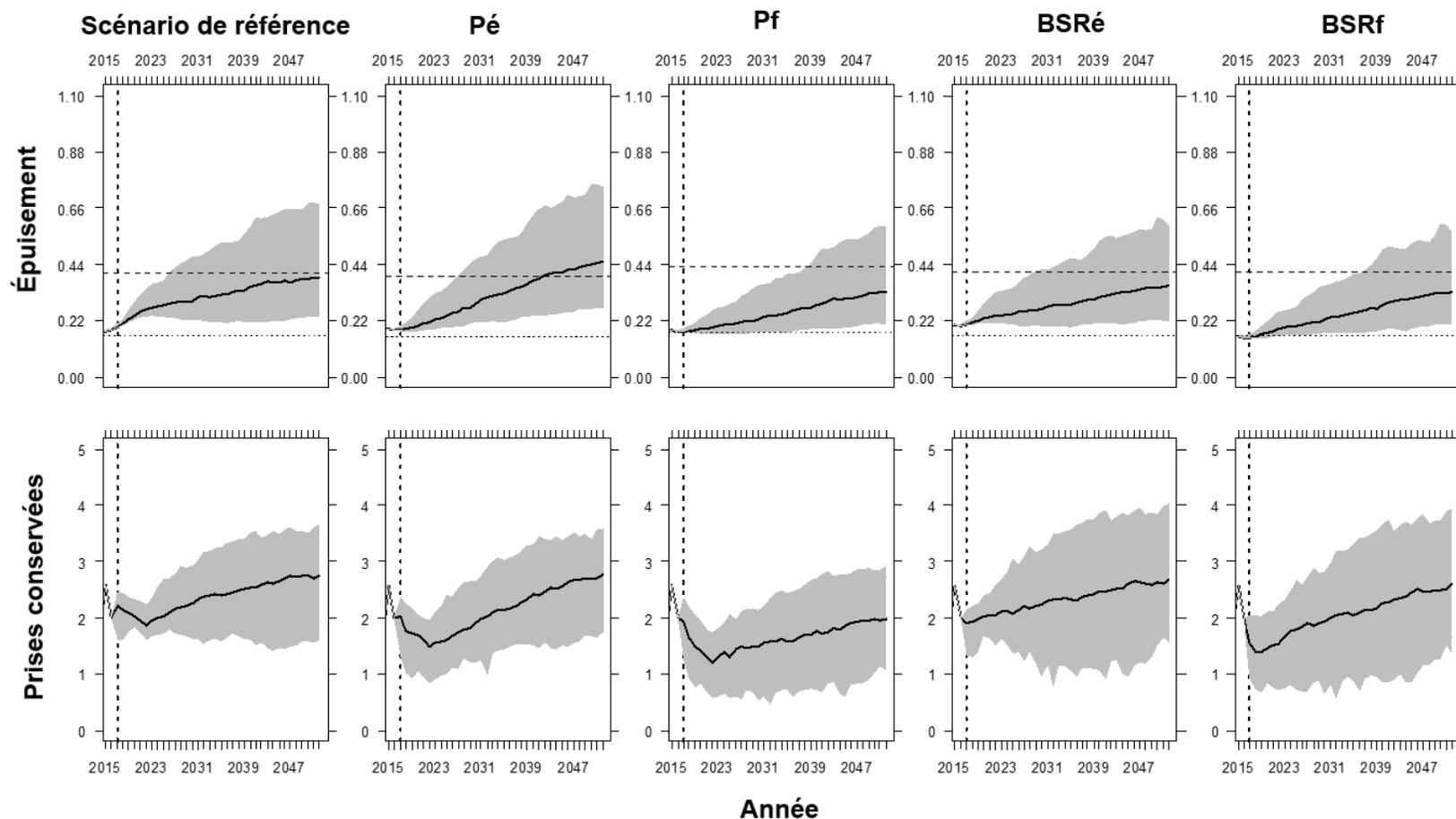


Figure D - 10. Distributions selon les projections de l'épuisement de la biomasse des génitrices dans le modèle opérationnel (c.-à-d.  $BSRf_t / BSRf_0$ ) (en haut) et des prises conservées (TAC) en vertu de la procédure de gestion **F10.00\_TR5.5\_ph5\_frt** simulée selon cinq scénarios de productivité différents (colonnes de gauche à droite : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible). Les zones ombrées grises représentent les 80 % centraux des résultats des 100 répétitions de la simulation, et les lignes noires épaisses montrent la médiane pour toutes les répétitions. Les lignes horizontales, dans les panneaux du haut, indiquent le point de référence limite de la biomasse (en bas, ligne pointillée) et de  $B_{RMS}$  (en haut, ligne tiretée).

## ANNEXE E : RÉSULTATS DE LA SIMULATION – TAUX DE RÉCOLTE

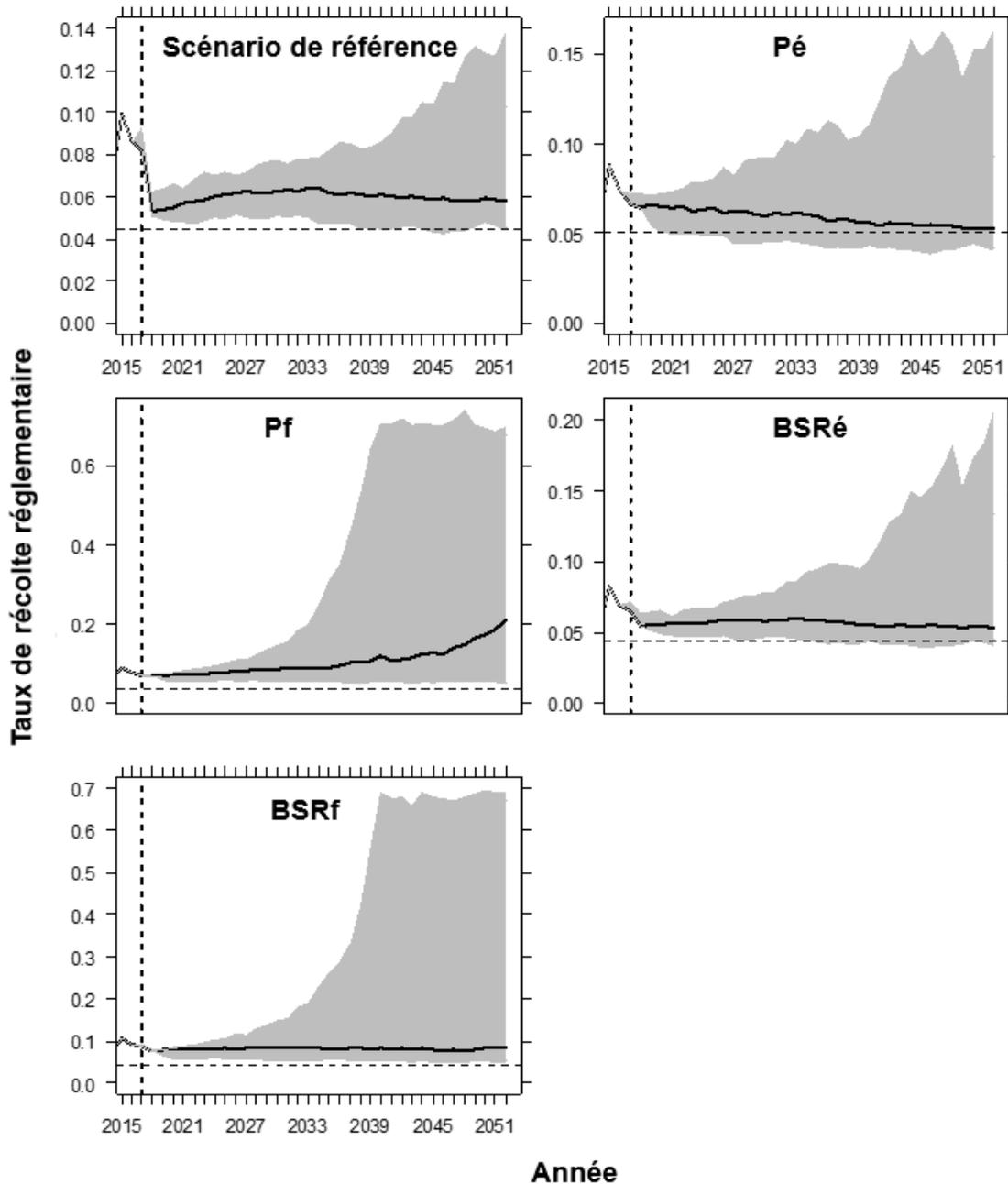


Figure E - 1. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel pour la **procédure de gestion actuelle** en vertu de cinq scénarios différents : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible. Remarquez que l'échelle sur l'axe du taux de récolte réglementaire est différente dans les cinq panneaux.

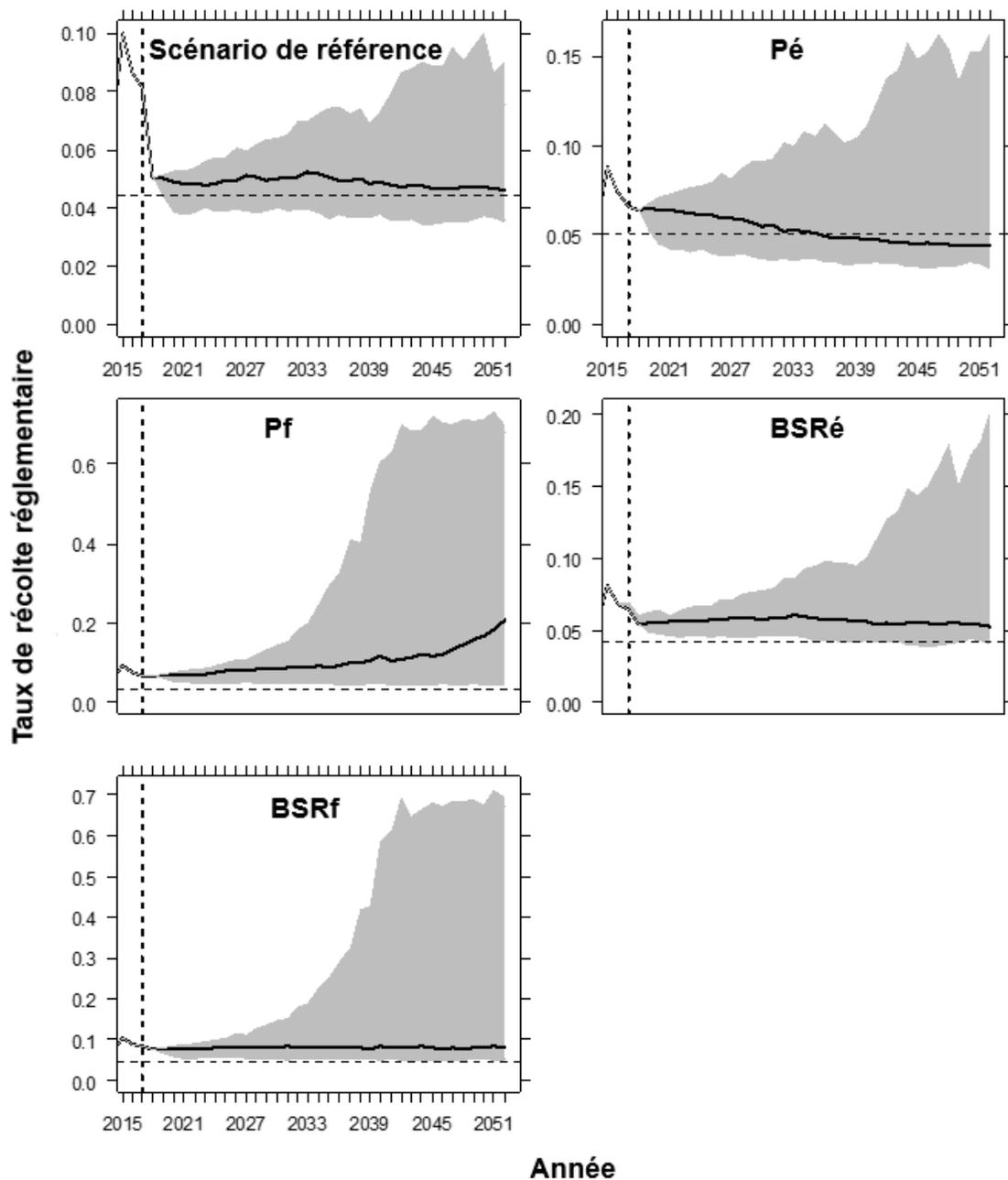


Figure E - 2. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel pour la procédure de gestion **FI1.992\_TR5.5** en vertu de cinq scénarios différents : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible. Remarquez que l'échelle sur l'axe du taux de récolte réglementaire est différente dans les cinq panneaux.

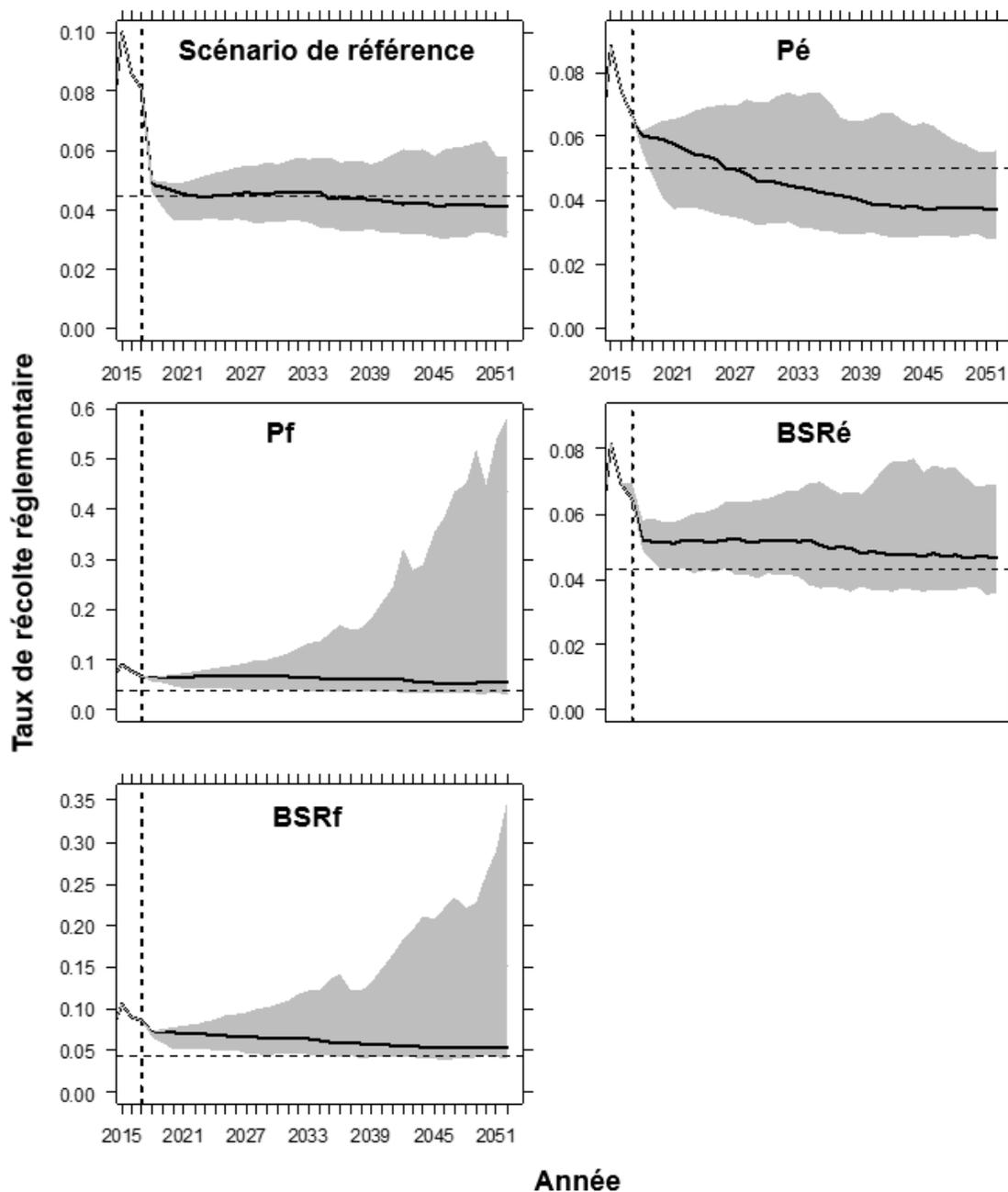


Figure E - 3. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel pour la procédure de gestion **F11.992\_TR5.5\_frt** en vertu de cinq scénarios différents : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible. Remarquez que l'échelle sur l'axe du taux de récolte réglementaire est différente dans les cinq panneaux.

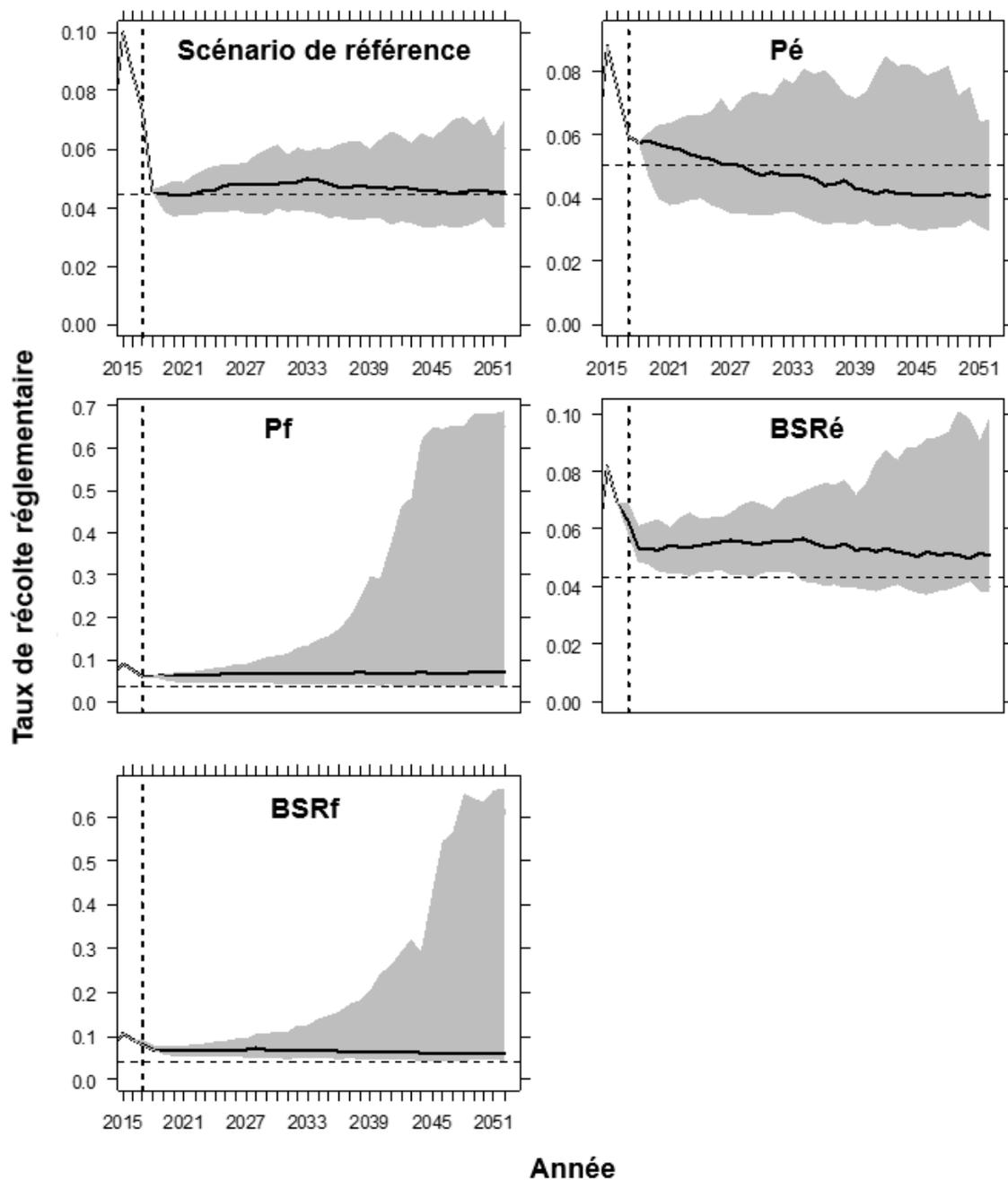


Figure E - 4. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel pour la procédure de gestion FI1.8\_TR5.5 en vertu de cinq scénarios différents : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible. Remarquez que l'échelle sur l'axe du taux de récolte réglementaire est différente dans les cinq panneaux.

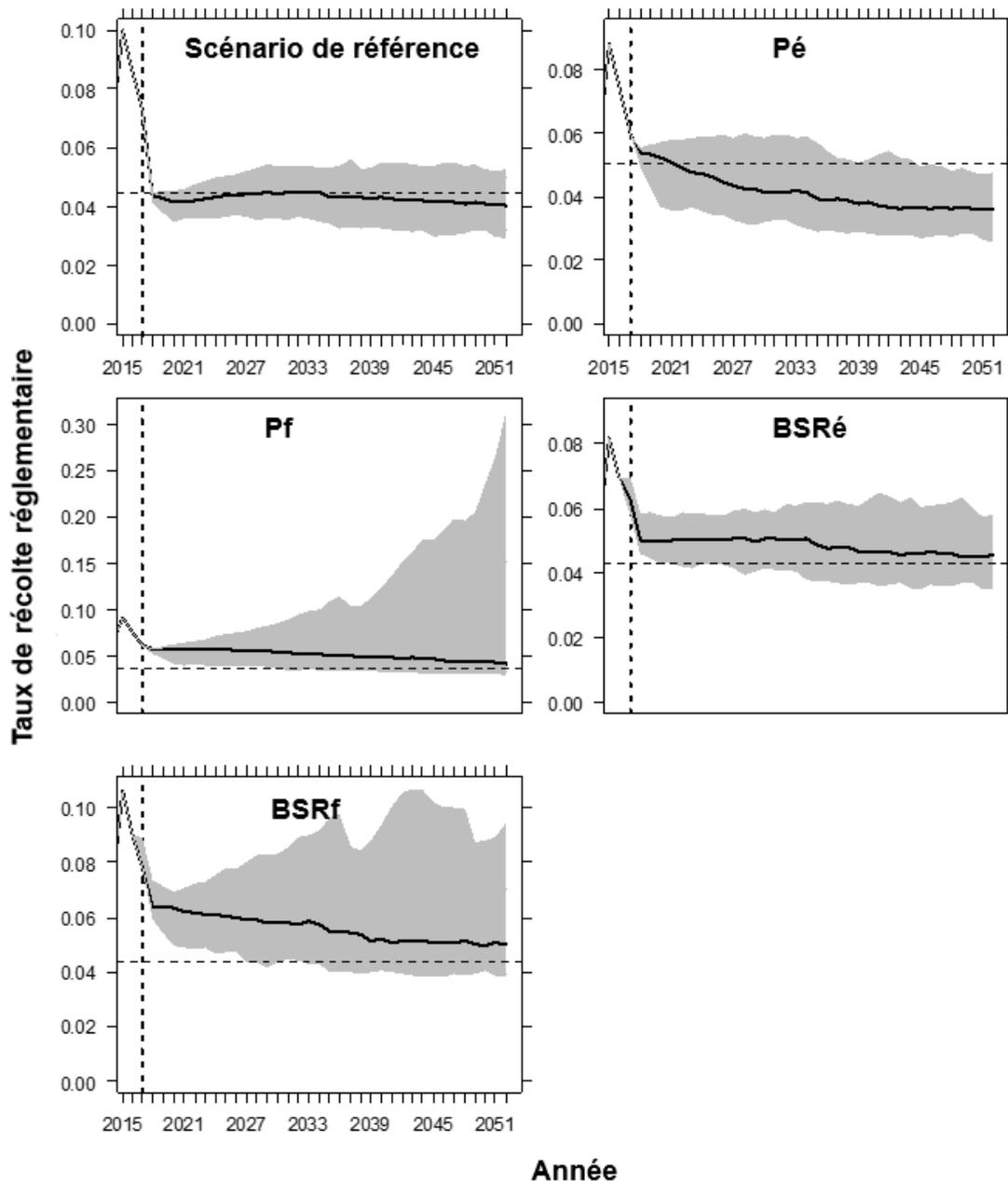


Figure E - 5. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel pour la procédure de gestion *FI1.8\_TR5.5\_frt* en vertu de cinq scénarios différents : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible. Remarquez que l'échelle sur l'axe du taux de récolte réglementaire est différente dans les cinq panneaux.

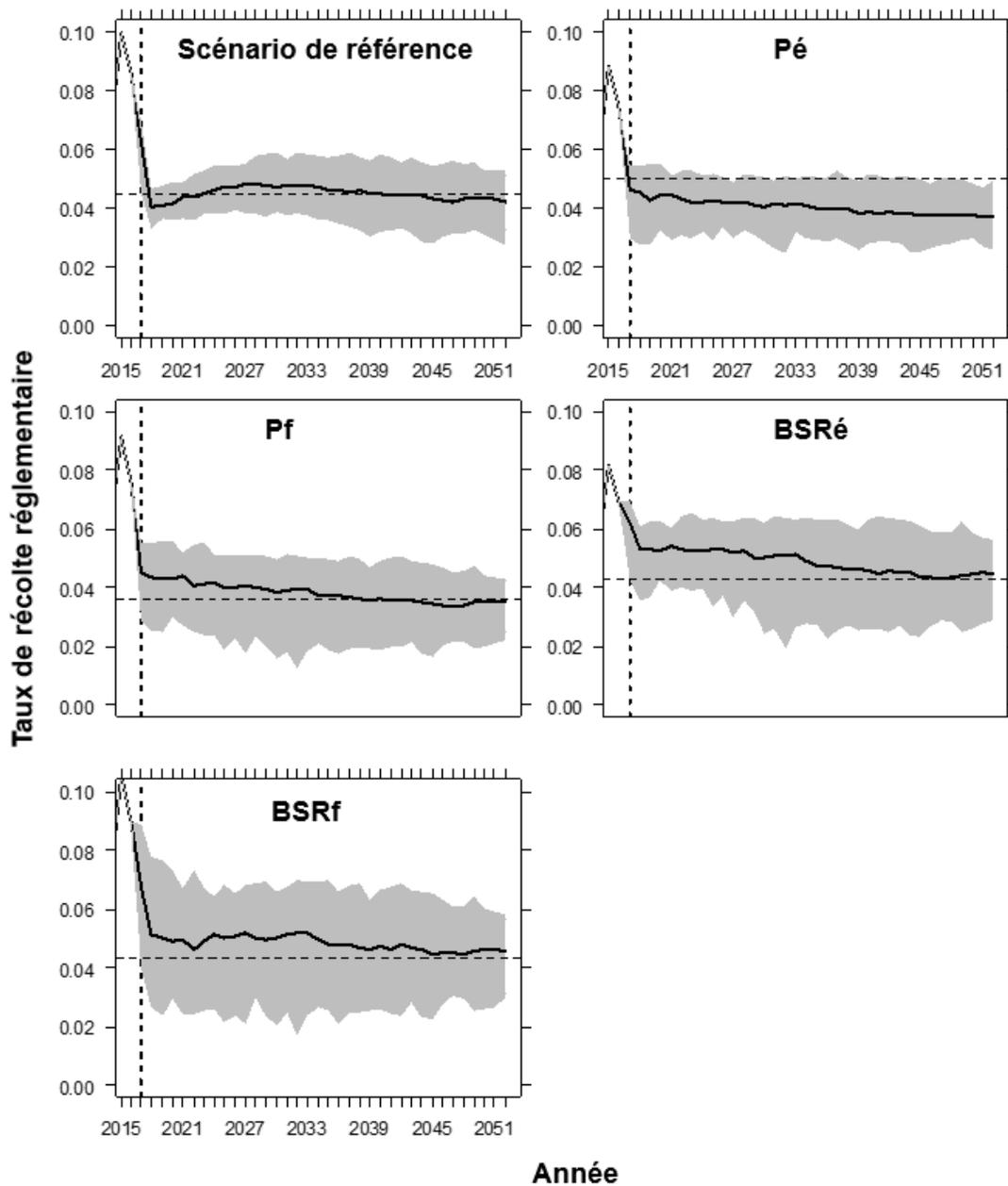


Figure E - 6. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel pour la procédure de gestion **F10.00\_TR5.5** en vertu de cinq scénarios différents : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible.

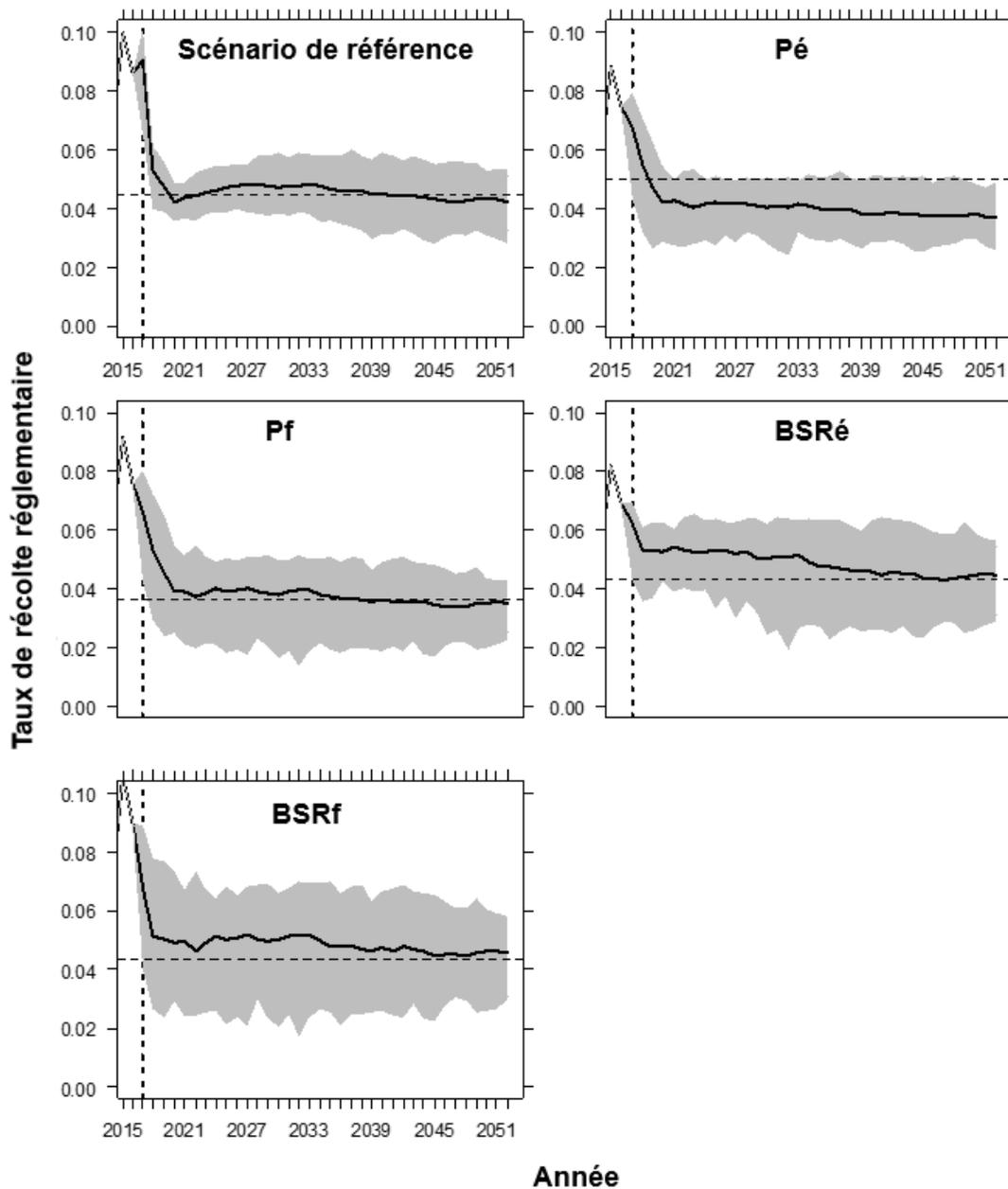


Figure E - 7. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel pour la procédure de gestion **F10.00\_TR5.5\_ph3** en vertu de cinq scénarios différents : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible.

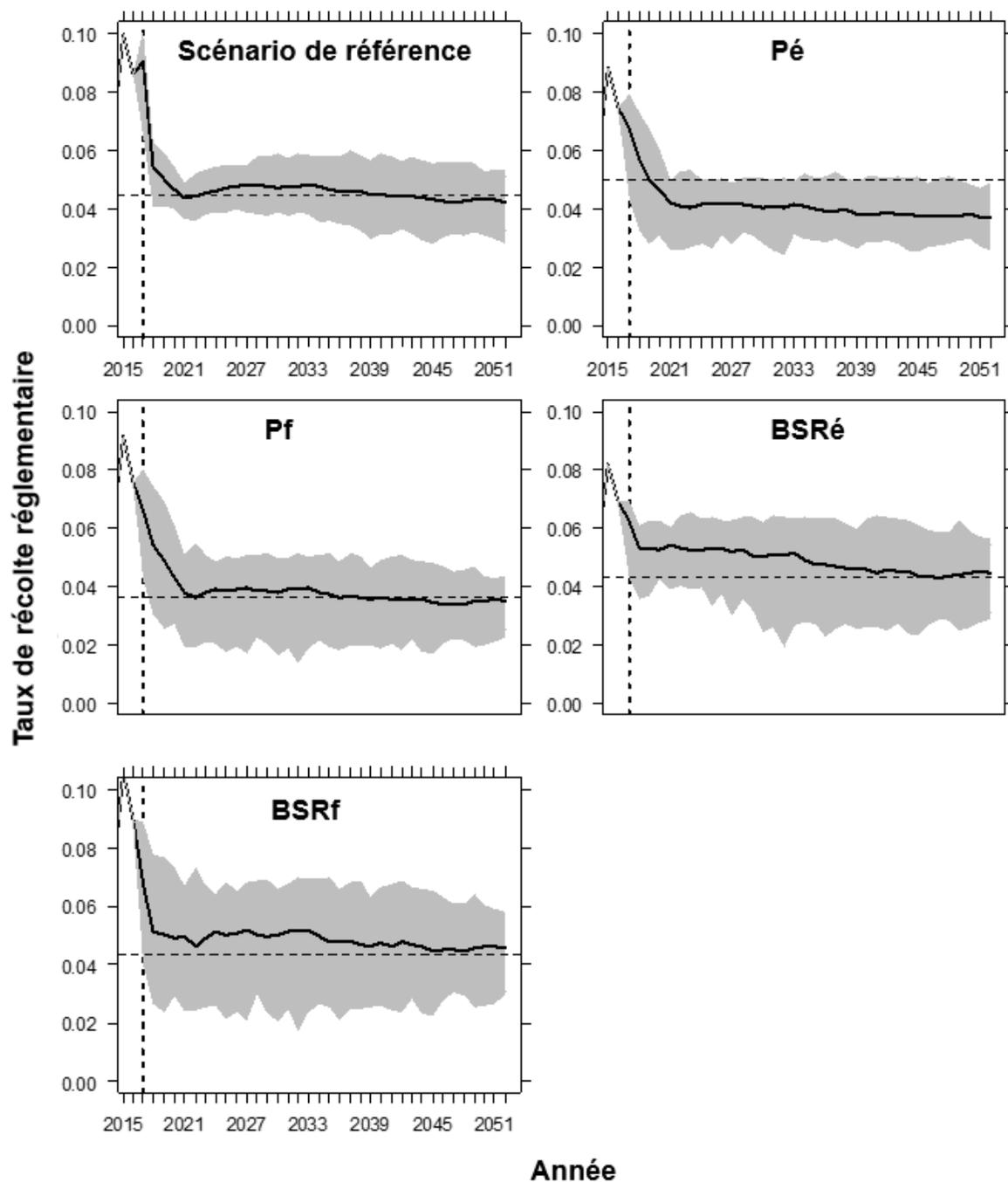


Figure E - 8. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel pour la procédure de gestion **FI0.00\_TR5.5\_ph4** en vertu de cinq scénarios différents : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible.

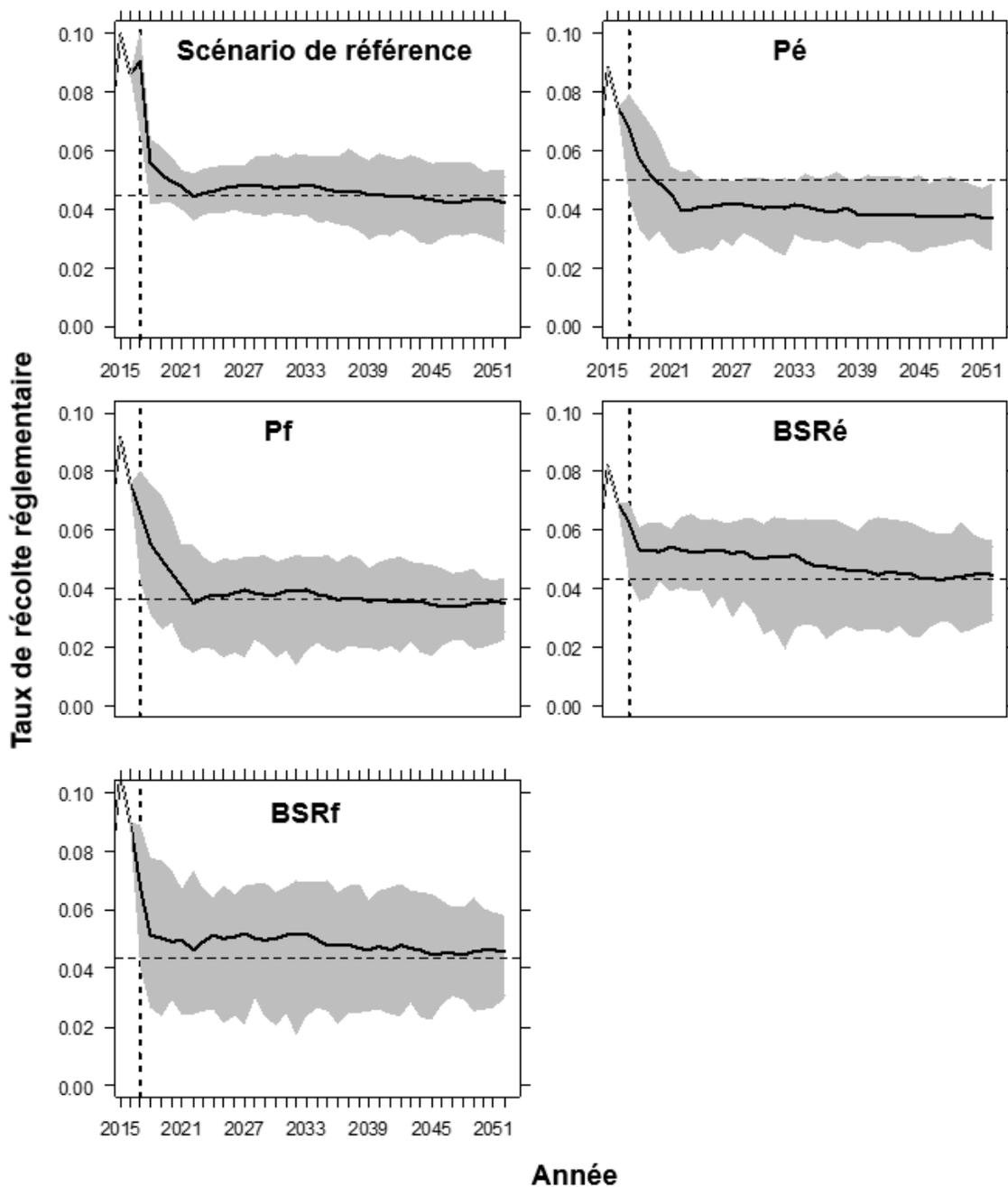


Figure E - 9. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel pour la procédure de gestion **F10.00\_TR5.5\_ph5** en vertu de cinq scénarios différents : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible.

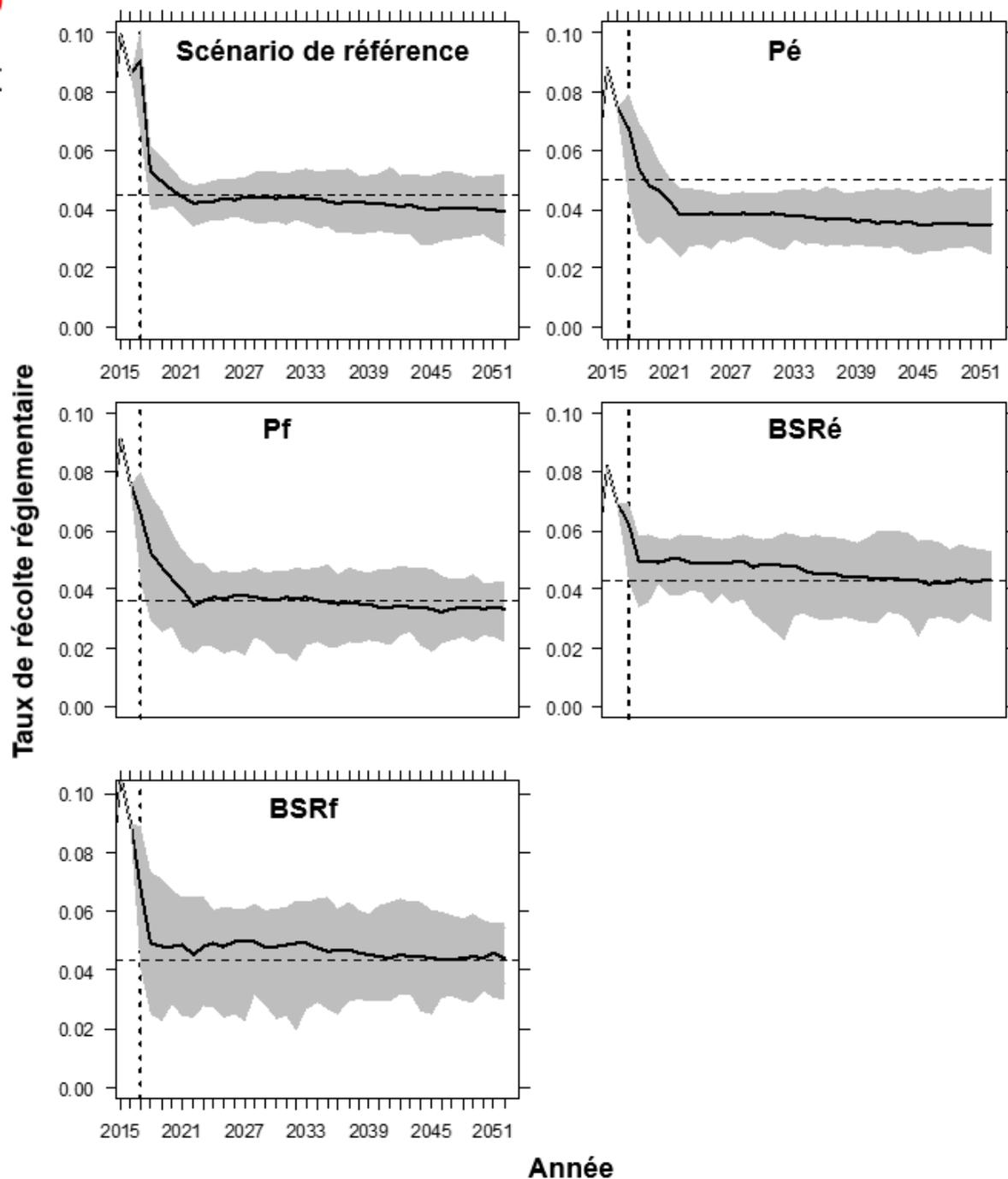


Figure E - 10. Distributions selon les projections des taux de récolte réglementaires concrétisés dans le modèle opérationnel pour la procédure de gestion **F10.00\_TR5.5\_ph5\_frt** en vertu de cinq scénarios différents : scénario de référence, scénario de productivité élevée, scénario de productivité faible, scénario de BSRf initiale élevée et scénario de BSRf initiale faible.