

# Mise à jour sur l'Évaluation de la Stratégie de Gestion de la CTOI pour l'espadon

6<sup>th</sup> Session du CTPG de la CTOI – 5 et 6 mai 2023

Thomas Brunel<sup>1</sup> et Iago Mosqueira<sup>1</sup>

## Situation des travaux sur l'ESG

- Le modèle opérationnel de référence pour le stock d'espadon de l'océan Indien a été développé ces trois dernières années et a été approuvé par le Comité Scientifique de la CTOI. Le MO a été développé sur la base de l'évaluation SS3 du GTPP de 2020 et couvrait la dynamique du stock d'espadon jusqu'en 2018. Ce MO a été actualisé jusqu'à l'année en cours, 2023, en projetant le stock vers l'avant en se fondant sur les captures déclarées pour 2019, 2020 et 2021 et en partant du principe que les captures de 2022 se situent au niveau de 2021.
- Les choix faits en 2020 pour l'élaboration du MO par le chercheur précédent ont été revus. La grille d'incertitude structurelle (les différentes options pour les paramètres du modèle d'évaluation du stock) a été simplifiée en supprimant les paramètres qui se sont avérés n'avoir que peu d'impact sur l'évaluation (par ex. choix de la méthode de mise à l'échelle pour les indices de PUE). Cette modification de la grille a donné lieu à un nombre restreint de combinaisons à étudier mais, en fin de compte, à un plus grand nombre de modèles d'évaluation du stock valides qui peuvent servir de base au MO.
- Les autres développements de l'ESG de l'espadon incluaient le développement et l'application de deux types de PG candidates, une basée sur un modèle et l'autre basée sur les données, ainsi que le calibrage de ces PG (c.-à-d. la définition des paramètres des PG qui atteignent un certain but de gestion) pour un ensemble d'objectifs de gestion au cours des 11 à 15 prochaines années.
- Une analyse approfondie de l'impact des choix des paramètres pour la PG basée sur la PUE a été réalisée afin de prendre une décision éclairée sur la valeur des paramètres qui ne sont pas obtenus par calibrage. Cette analyse incluait également un test de robustesse des différentes configurations de cette PG dans le cas d'un échec du recrutement. Sur la base de ces recherches, une configuration de la PG-PUE avec une faible réactivité face aux changements et aux valeurs de l'indice de PUE utilisé à des fins de gestion a été proposée.

---

<sup>1</sup> Wageningen Marine Research, Haringkade 1, Postbus 68, 1976CP, IJmuiden, The Netherlands. [thomas.brunel@wur.nl](mailto:thomas.brunel@wur.nl) ; [iago.mosqueira@wur.nl](mailto:iago.mosqueira@wur.nl)

- La principale priorité en matière de retour d'information pour le CTPG06 est d'obtenir un accord sur l'ensemble des PG proposées qui seront entièrement testées, ainsi que sur les objectifs de gestion actuels à atteindre pour la procédure de calibrage.

## Développement du modèle opérationnel

La situation du MO actuel pour l'espadon a été présentée au GTPP de 2022. Un document a présenté une révision de la grille du MO qui réduisait le nombre de facteurs pris en compte, en identifiant ceux n'ayant que peu d'impact sur l'état du stock initial et la productivité dans le MO. Deux facteurs de la grille ont été éliminés : le choix de la forme de la fonction de sélectivité pour les flottilles de la PUE (précédemment établie comme normale double ou logistique) et le facteur de mise à l'échelle appliqué aux estimations de la biomasse par zone (précédemment basées sur la surface, la biomasse ou les captures). Il a également été suggéré de modifier la fourchette des valeurs de pente, de 0,6-0,8 par rapport aux valeurs précédentes de 0,6-0,9, ce qui n'a pas été approuvé par le GTPP, notant que des valeurs entre 0,6 et 0,9 étaient utilisées pour l'espadon dans d'autres océans (par ex. au sein de l'ICCAT). Les Tableaux 1a et 1b de l'Annexe 1 présentent, respectivement, la grille d'incertitude structurelle originale et la grille mise à jour à l'issue du GTPP de 2022.

Les décisions prises au GTPP ont été appliquées, donnant lieu à une nouvelle grille contenant 648 combinaisons, dont 175 ont été sélectionnées par l'optimisation du plan factoriel (par rapport à 2 592 et 108, respectivement, pour le MO original). L'évaluation du stock SS3 a été exécutée pour ces 175 combinaisons de paramètres et 130 scénarios ont finalement été considérés acceptables (sur la base de la convergence du modèle, de la capacité de prédiction de l'indice de biomasse, de la crédibilité des estimations de  $B_0$ ) et utilisés comme base pour le MO (par rapport à 67 pour le MO original).

Les scénarios de SS3 basés sur les dernières données disponibles de l'évaluation du stock pour l'espadon de l'océan Indien couvrent le développement du stock jusqu'en 2018. Afin de réaliser les simulations commençant par un état du stock aussi proche que possible de l'état actuel, le MO a été projeté vers l'avant sur les années 2019-2022 en utilisant les estimations de captures de la CTOI pour les années 2019 à 2021, et en supposant une mortalité par pêche de la situation actuelle pour 2022 ( $F_{2022}=F_{2021}$ ).

Le MO actualisé présente une distribution de l'état du stock légèrement différente à la fin de la période d'évaluation par rapport au MO précédent (Figure 1), avec une distribution des valeurs plus large et, dans l'ensemble, des valeurs légèrement plus élevées. Le MO actualisé donne l'impression d'un stock qui n'était pas exploité au début de la période d'évaluation, dont l'exploitation a débuté dans les années 1990 entraînant une réduction de la taille du stock jusqu'au milieu des années 2000, suivie d'une stabilisation (Figure 2). Cela est similaire au MO précédent.

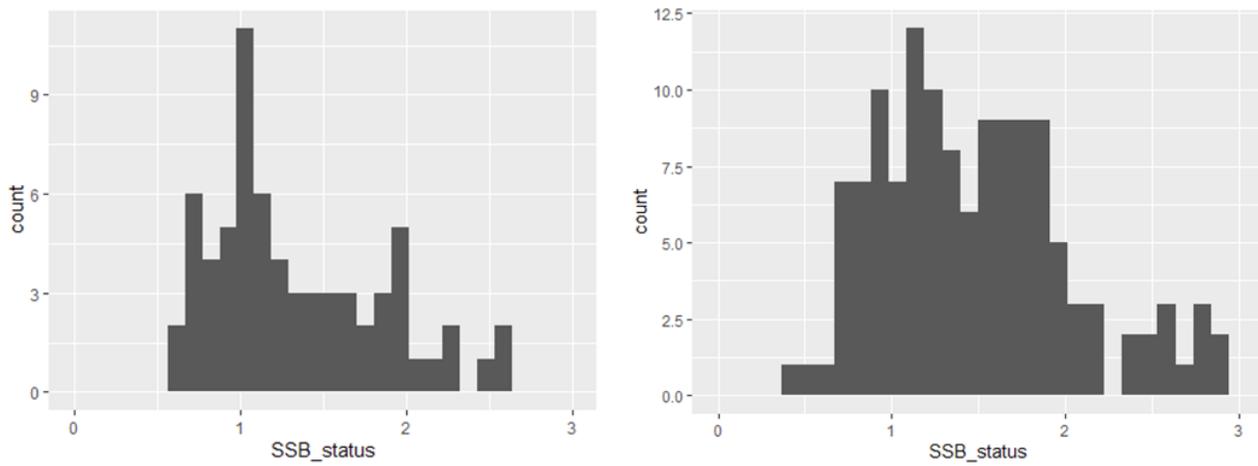


Figure 1 : Distribution de l'état du stock estimé en 2018 ( $SB/SB_{PME}$ ) dans la grille précédente du MO (à gauche) et dans la nouvelle (à droite).

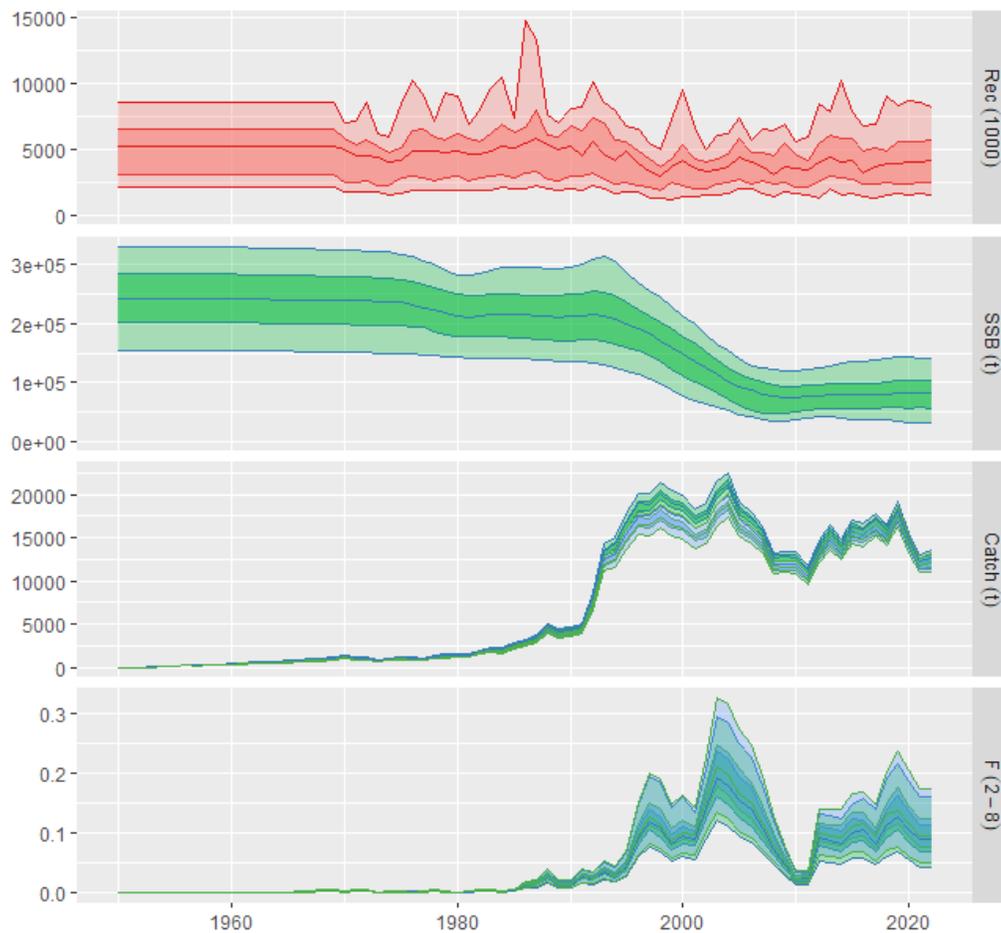


Figure 2: Développement historique du stock dans le MO actualisé de l'espadon.

## Procédures de Gestion candidates

Les analyses de l'ESG de l'espadon présentées ici ont évalué deux types de PG :

- Une PG basée sur un modèle, dans laquelle un modèle d'évaluation du stock de production excédentaire fournit une estimation de l'état du stock actuel, en termes d'épuisement de la biomasse actuel, qui est ensuite utilisée dans une règle de contrôle de l'exploitation pour déterminer l'avis sur les captures.
- Une PG basée sur les données dans laquelle l'avis sur les captures se base sur la valeur et la tendance récente d'un indice de PUE.

Les deux types de PG sont présentés ci-dessous et ont, en outre, été appliqués :

- avec un cycle d'avis sur 3 ans (TAC fixé pour une période de 3 ans)
- avec une limite de variation interannuelle du TAC de 15 % (ou stabilisateur du TAC), de sorte que lorsque la mise en œuvre de la PG entraîne une variation du TAC supérieure (en valeur absolue) à 15 %, le TAC appliqué est celui correspondant à la variation maximale de 15 % (augmentation ou diminution).
- en supposant qu'au cours d'une année donnée,  $y$ , lorsque l'avis doit être donné pour les 3 années suivantes,  $y+1$  à  $y+3$ , les données sont disponibles jusqu'à l'année précédente,  $y-1$  (soit un décalage de données d'un an).

## PG basée sur un modèle

### Définition

Les PG basées sur un modèle (Figure 3) comportent deux étapes :

- 1) l'ajustement d'un modèle de production excédentaire pour estimer le taux d'épuisement actuel et
- 2) l'application d'une règle de contrôle de l'exploitation (HCR) aux estimations par le modèle de l'épuisement actuel. La forme de la HCR (en crose de hockey) est définie par trois paramètres de contrôle :
  - CP1: niveau de stock minimum en dessous duquel aucune pêche (ou le moins possible) ne doit avoir lieu,
  - CP2 : niveau de stock de déclenchement en dessous duquel l'avis sur les captures doit être diminué proportionnellement à l'épuisement actuel
  - CP3: prise maximale qui peut être effectuée lorsque le stock est estimé être au-dessus du seuil de déclenchement.

### Mise en œuvre dans le cas de l'espadon

Le modèle de production excédentaire JABBA a été ajusté à la série temporelle des captures totales et à l'indice de PUE de la palangre japonaise et a fourni les estimations du taux d'épuisement, en tant que  $SB/SB_0$  ( $SB_0$  = biomasse vierge), la dernière année de la période d'évaluation. Les taux d'épuisement limite et de déclenchement ont été fixés à  $CP1 = 0,1$  (une mesure de substitution pour  $SB=SB_{lim}$ ) et  $CP2 = 0,4$  (une mesure de substitution pour  $SB=SB_{PME}$ ). La prise maximale, CP3, a été obtenue en calibrant la PG pour atteindre les objectifs de gestion particuliers. Conformément à la décision prise par le CTPG03 (2018), la PG a été calibrée pour trois objectifs de calibrage correspondant à la probabilité de se situer dans le

quadrant vert du diagramme de Kobe (p(Kobe vert) au cours de la période 2034-2038 respectivement d'exactly 50%, 60% et 70% (moyenne sur toutes les répliques du stock) .

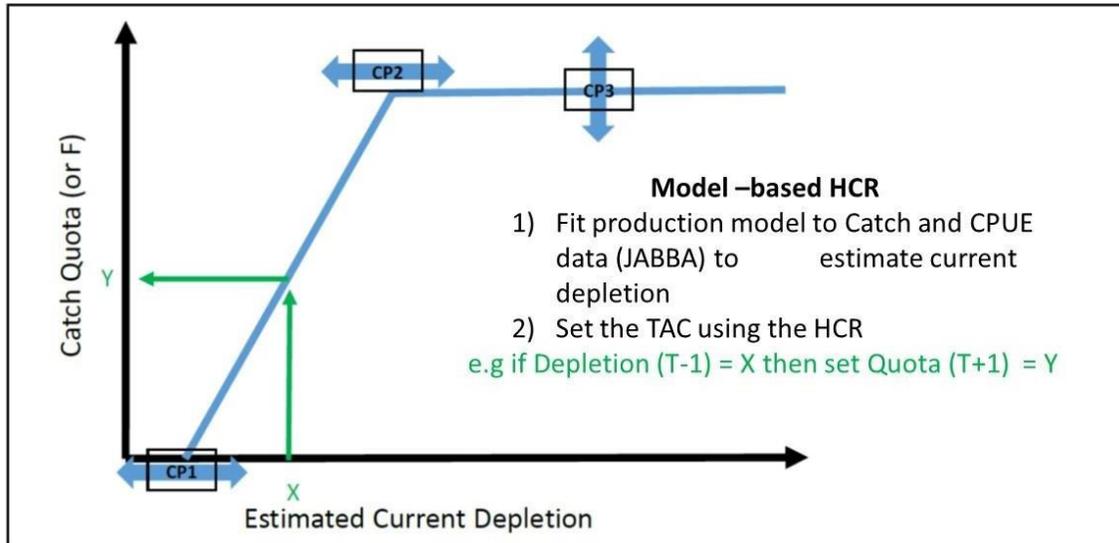


Figure 3. Règles de contrôle de l'exploitation utilisées dans la PG basée sur un modèle.

## PG basée sur les données

### Définition

Les PG basées sur les données tentent de gérer la pêcherie pour atteindre une valeur cible des taux de capture sur une série de PUE choisie. Le TAC suivant est accru par rapport au TAC actuel si la PUE actuelle se situe au-dessus de la PUE cible et si la tendance de la PUE est à la hausse. À l'inverse, le TAC suivant est réduit par rapport au TAC actuel si la PUE actuelle se situe en-deçà de la PUE cible et si la tendance de la PUE est à la baisse. Si la position de la PUE par rapport à la cible et la pente de la PUE sont dans des directions opposées, le changement de TAC pourrait être dans l'une ou l'autre direction, selon l'ampleur de ces indicateurs et les paramètres de contrôle associés. Officiellement, le futur TAC est calculé comme une proportion,  $TAC_{mult}$ , du TAC actuel, qui est défini comme suit :

$$TAC_{mult} = 1 + k_a Sl + k_b D$$

avec

$$k_a = k_1 \text{ if } Sl > 0 \text{ or } k_a = k_2 \text{ if } Sl \leq 0$$

et

$$k_b = k_3 \text{ if } D > 0 \text{ or } k_b = k_4 \text{ if } D \leq 0$$

où  $Sl$  est la pente de la PUE logarithmique sur les 5 dernières années,  $D$  est la différence entre la valeur de la PUE récente (moyenne sur les 3 dernières années) et la valeur de la PUE cible, et  $k_a$  et  $k_b$  sont les paramètres de la pondération relative attribuée aux deux quantités précédentes (Figure 4), contrôlant la

réactivité de la PG. Les paramètres de contrôle comprennent : CP1) la réactivité à la pente de la PUE ( $k_1$  et  $k_2$ ), CP3) la réactivité à déviation par rapport à la PUE cible ( $k_3$  et  $k_4$ ) et CP4) la valeur de la PUE cible.

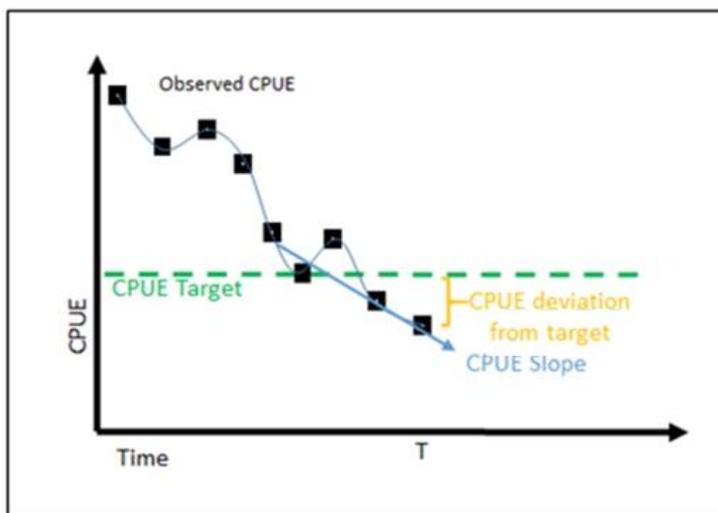


Figure 4 : La règle de la PUE se base sur la pente récente de l'indice de PUE et la distance jusqu'à la valeur de l'indice cible.

### Mise en œuvre dans le cas de l'espadon

L'indice de PUE utilisé pour cette règle était l'indice de PUE de la palangre japonaise. Les paramètres de contrôle définissant la réactivité de la PG à la distance actuelle par rapport à la PUE cible ainsi qu'à la pente de la PUE sur les dernières années ont tous été calibrés (voir la section ci-dessous pour la justification du choix des valeurs de  $k$ ). La PG a été calibrée pour estimer la valeur de la PUE cible pour les trois mêmes objectifs de gestion que pour les PG basées sur un modèle.

### Résumé de la performance des PG candidates pour l'espadon

Les classements des PG par rapport aux principaux indicateurs de performance sont présentés au Tableau 1 et les Figs. 5-11 illustrent leurs caractéristiques de performance. L'Appendice 2 inclut des tableaux de performance plus détaillés (résumés sur différentes fenêtres temporelles). Nous soulignons les points clés suivants :

- Les deux types de PG ont conduit à des niveaux de biomasse reproductrice similaires (pour un objectif de calibrage donné), à l'exception de P(Kobe = vert) = 50% pour laquelle la biomasse reproductrice était nettement inférieure avec la PG basée sur un modèle. La PG basée sur un modèle a également conduit à une distribution plus large des valeurs dans les itérations de la simulation.
- Pour toutes les PG calibrées, la probabilité que le stock demeure au-dessus de  $SB_{lim}$  pendant la période de calibrage était très élevée (valeurs moyennes supérieures à 99%).

- La PG basée sur les données (MP1-3) a conduit à de plus grandes captures moyennes que la PG basée sur un modèle, mais avec une distribution plus large des valeurs dans les itérations de la simulation. Pour la PG basée sur un modèle, la capture moyenne est uniforme dans les itérations, reflétant le fait qu'elle est la plupart du temps égale au plateau de la règle de contrôle de l'exploitation en crosse de hockey. Cela entraîne aussi un faible changement interannuel dans les captures mais dans une moindre mesure lorsque la PG est calibrée pour  $P(\text{Kobe} = \text{vert}) = 50\%$ , car le stock se situe plus souvent à  $SB/SB_0$  au-dessous de 40% où les captures sont réduites par rapport à  $C_{\text{max}}$ . Pour la PG basée sur les données, le changement interannuel dans les captures est plus important mais reste à de faibles valeurs (probablement dues à la mise en œuvre d'une limite de variation interannuelle maximale du TAC de 15%).
- Les objectifs de calibrage sont atteints ( $P(\text{Kobe}=\text{vert})$  moyenne à 0,5, 0,6 ou 0,7) mais il existe une grande variabilité de cette probabilité entre les itérations de la simulation (c'est à dire que l'intervalle des 25<sup>e</sup>-75<sup>e</sup> quantiles va de 0 à 1). Ce point spécifique a été analysé pour le GTPP de 2022. Il s'expliquait par le fait que la plupart des itérations de la simulation commençant dans un quadrant du diagramme de Kobe donné, restent dans ce même quadrant tout au long de la période de simulation, malgré la mise en œuvre d'une PG. Cela est dû à plusieurs facteurs. Tout d'abord, le MO a une vaste fourchette de conditions de départ initiales, avec de nombreuses itérations se situant bien au-delà ou bien en-deçà de  $SB_{\text{PME}}$ . Pour que ces itérations changent de quadrant au cours de la période de calibrage, une PG imposant un fort changement de la taille du stock serait nécessaire. Cela n'est probablement pas le cas dans la situation actuelle, dans laquelle l'état initial pour le stock se situe à  $p(\text{Kobe}=\text{vert})=73\%$ , à proximité des objectifs de calibrage. En outre, en raison de la grande longévité du stock (31 classes d'âge), la SB est très stable, ce qui réduit les possibilités de changer de quadrant au cours de la période de calibrage, notamment car la période de calibrage est relativement courte (5 ans).

Le principal compromis (Figure 6) entre les PG testées semble être entre le type de PG, avec des captures plus élevées mais une variation interannuelle (et une incertitude globale) plus importante pour la PG basée sur les données, et des captures plus faibles mais très stables pour la PG basée sur un modèle.

*Tableau 1: Performance des PG candidates par rapport aux principales mesures de performance (mise à la moyenne sur la période 2034-2038).*

PG	$\text{prob}(SB > SB_{\text{limite}})$	Variabilité des captures	$\text{prob}(\text{vert})$	Capture moyenne	$SB/SB_{\text{PME}}$
MP1	>0,99	6,2	0,5	37 149,6 (26 571,2-46 601)	1,6
MP2	>0,99	5,7	0,62	34421,4 (24348,0-44429)	1,7
MP3	>0,99	5,2	0,7	32498,0 (22853,7-43024)	1,7
MP4	>0,99	5,3	0,49	35031,2 (24245,3-35031)	1,4
MP5	>0,99	3,4	0,6	30652,3 (25633,8-30652)	1,6
MP6	>0,99	2,3	0,71	26820,8 (26249,4-26821)	1,8

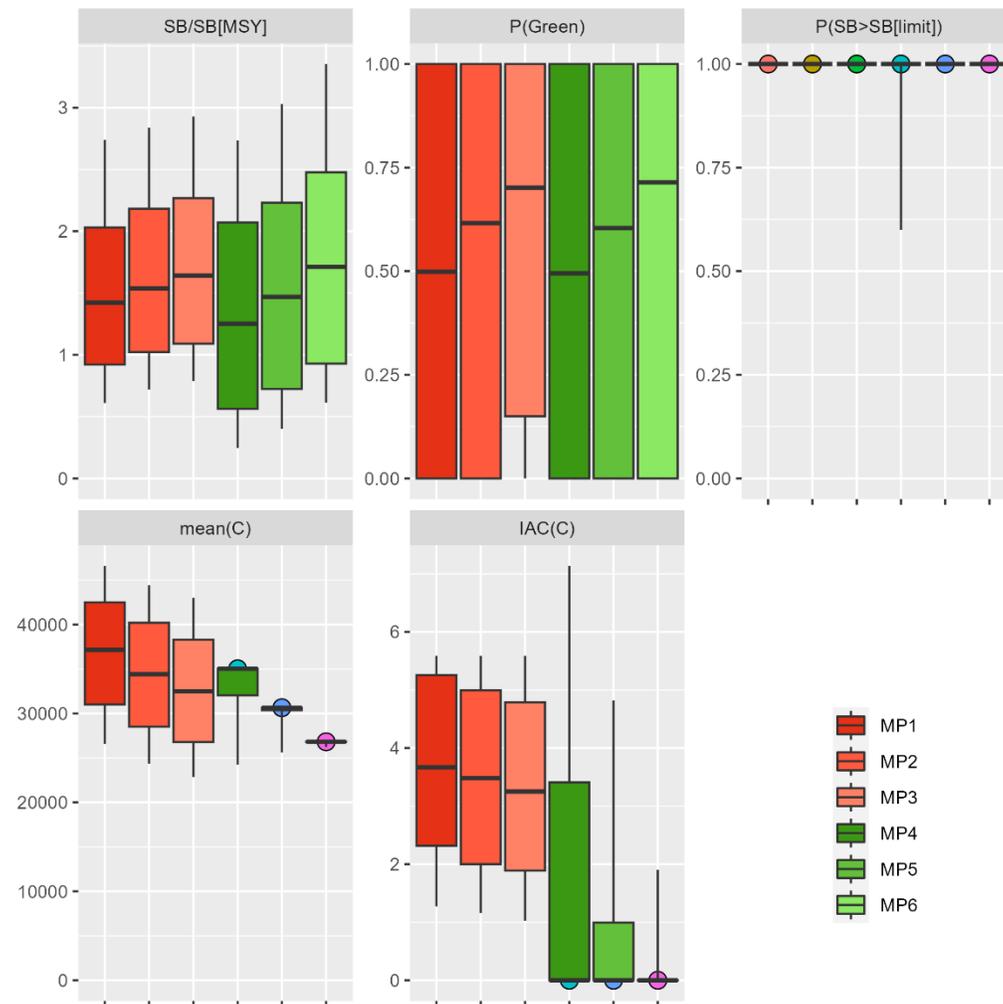


Figure 5. Diagrammes en boîte à moustaches comparant les PG candidates par rapport aux principales mesures de performance (mis à la moyenne sur la période 2034-2038). La ligne horizontale est la médiane (moyenne pour  $P(\text{vert})$ ), les cases représentent les 25<sup>e</sup> - 75<sup>e</sup> percentiles, les lignes fines représentent les 10<sup>e</sup> - 90<sup>e</sup> percentiles. Les PG basées sur les données sont représentées en rouge et les PG basées sur un modèle sont représentées en vert.

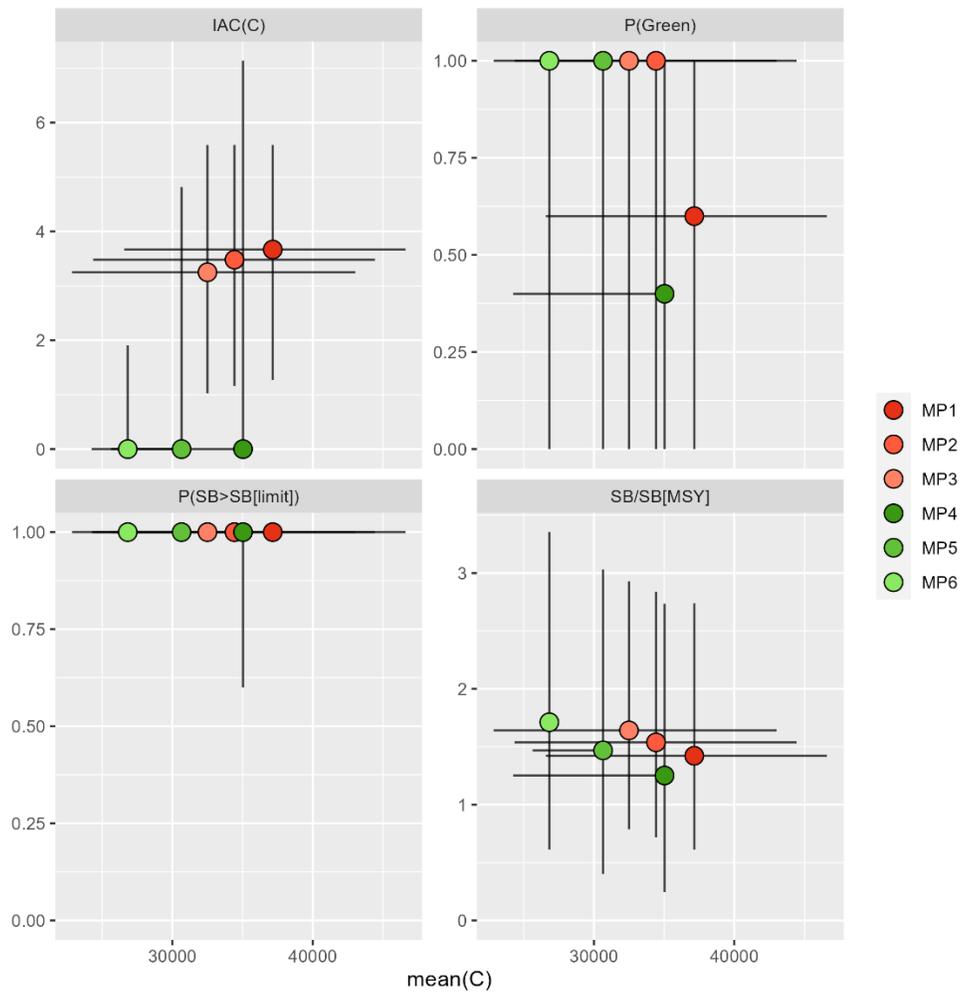


Figure 6. Diagrammes de compromis comparant les PG candidates par rapport aux captures de l'axe des X et à 4 autres principales mesures de performance sur l'axe des Y, chacune d'entre elles mise à la moyenne sur la période 2034-38. Le cercle est la médiane, les lignes représentent les 10<sup>e</sup> - 90<sup>e</sup> percentiles.

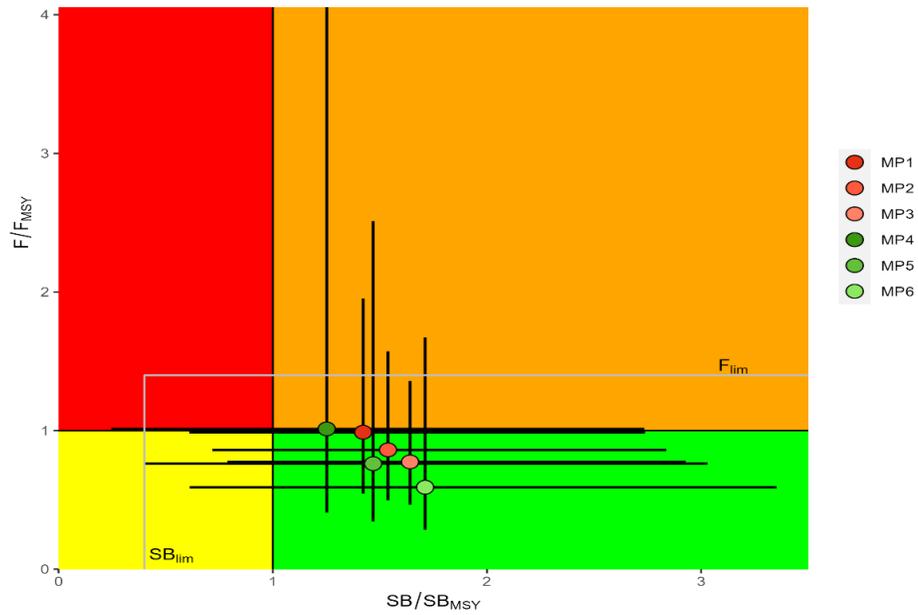


Figure 7. Diagramme de Kobe comparant les PG candidates sur la base de la performance moyenne escomptée en 2034-2038. Le cercle est la médiane, les lignes représentent les 10<sup>e</sup> - 90<sup>e</sup> percentiles.

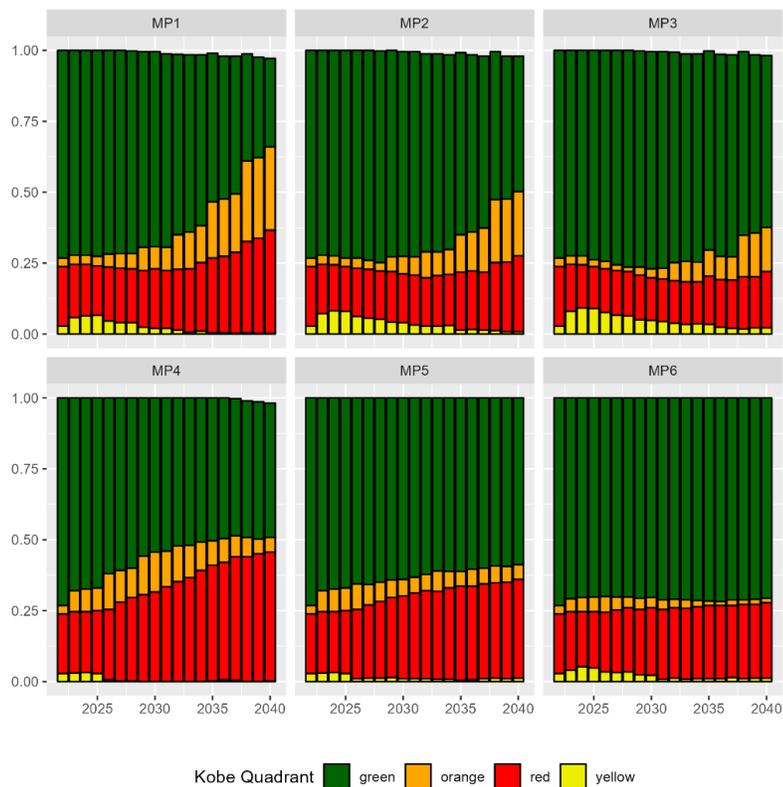


Figure 8. Proportion de simulations dans chacun des quadrants de Kobe au fil du temps, pour chacune des PG candidates.

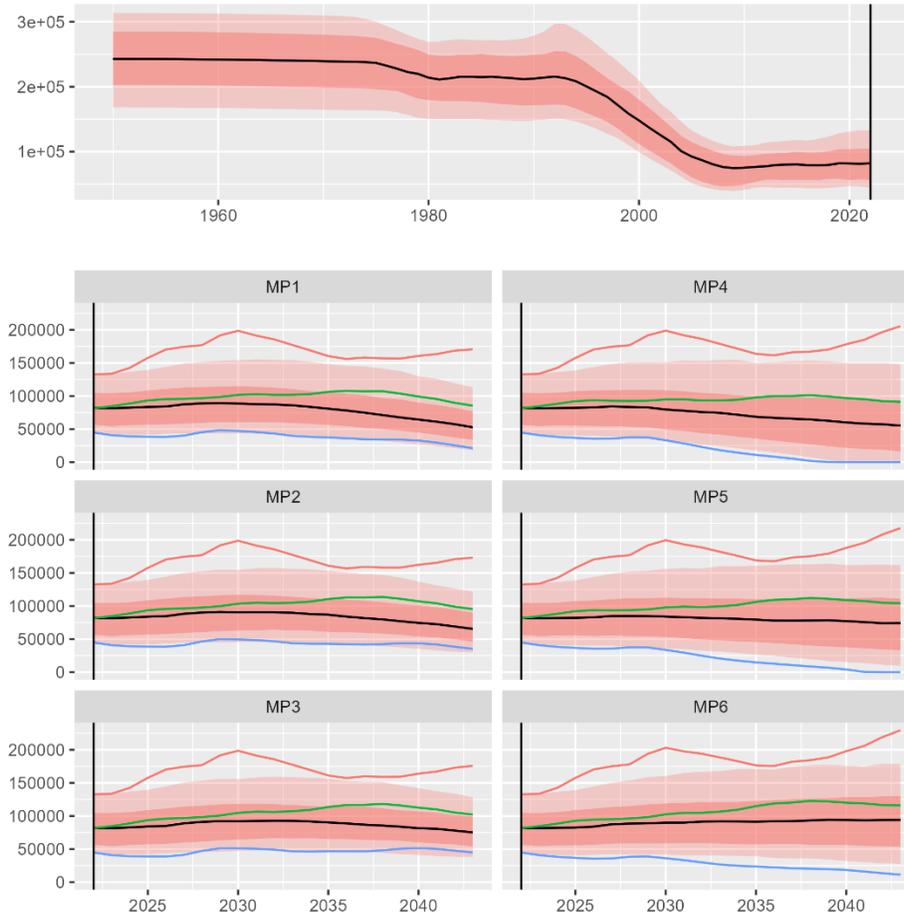


Figure 9. Série temporelle de la taille du stock reproducteur pour les PG candidates. Le panneau supérieur représente les estimations historiques du modèle opérationnel de référence et les tracés inférieurs représentent la période de projection. La ligne pleine verticale représente la dernière année utilisée dans le conditionnement historique. La médiane est représentée par la ligne noire épaisse, la bande ombrée rouge plus foncée représente les 25<sup>e</sup> - 75<sup>e</sup> percentiles, la bande ombrée rouge plus claire représente les 10<sup>e</sup> - 90<sup>e</sup> percentiles. Les 3 fines lignes en couleur représentent des exemples de réalisations individuelles (les mêmes scénarios de MO pour toutes les PG et toutes les mesures de performance) afin d'illustrer la gamme des réalisations attendues dans la trajectoire du stock.

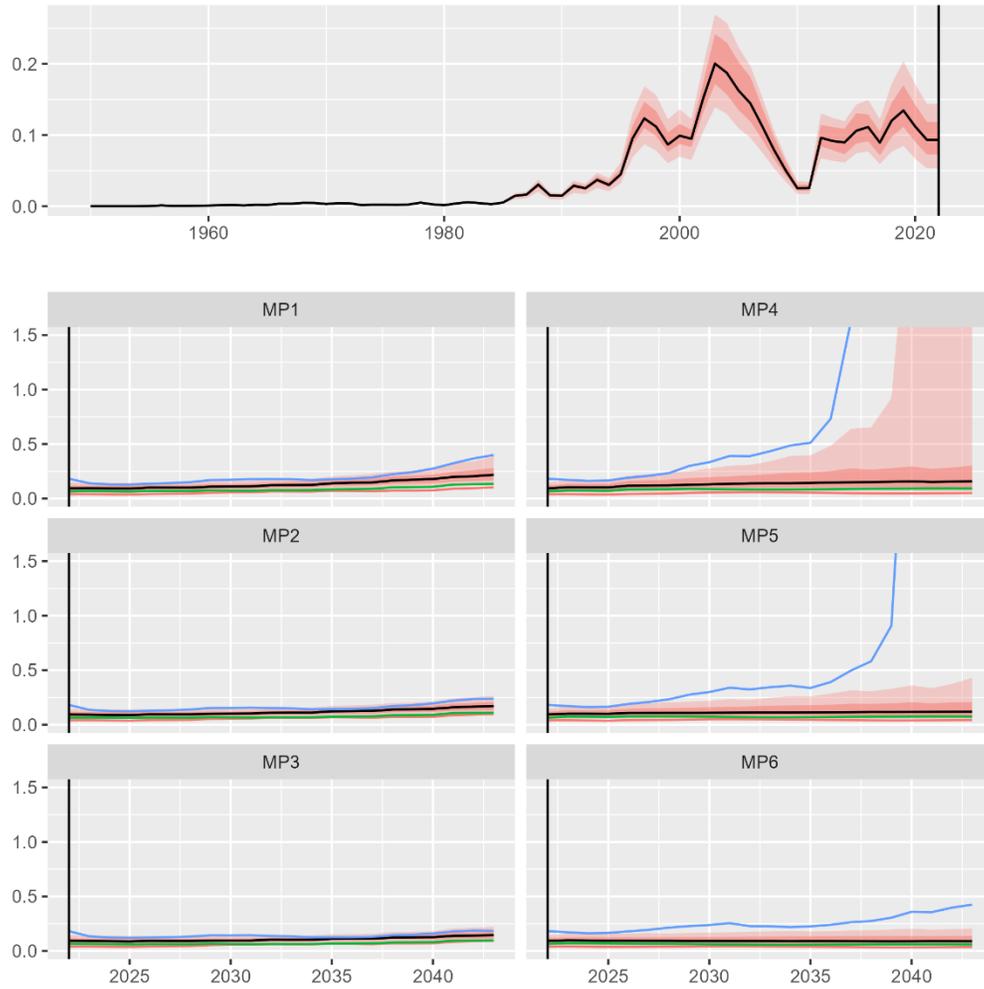


Figure 10. Série temporelle de l'intensité de la pêche pour les PG candidates.

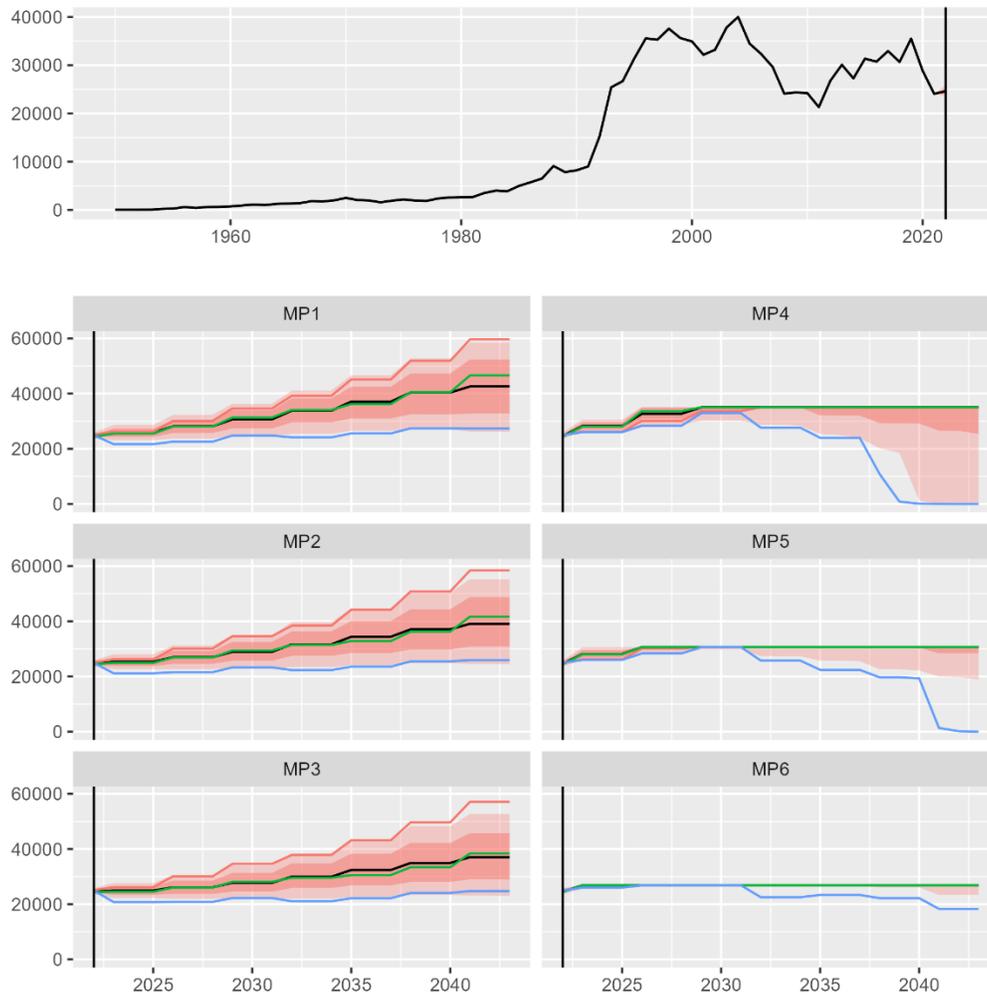


Figure 11. Série temporelle des captures pour les PG candidates.

## Analyse de différentes options de paramétrage pour la PG basée sur la PUE

### Réactivité de la PG aux changements de l'indice de PUE et à la distance jusqu'à la valeur cible

La PG-PUE comporte de nombreux paramètres de contrôle et il n'est pas simple de décider quels paramètres devraient avoir des valeurs choisies a priori et quels paramètres devraient avoir des valeurs

obtenues par calibrage. Afin d'étudier l'impact des différents paramètres sur la performance de la PG, des simulations ont été réalisées pour une grille de valeurs des paramètres, et les principaux indicateurs de performance ont été calculés sur la période pour laquelle le calibrage doit être effectué (2034-2038). Les grilles utilisées étaient les suivantes :

- Grille 1 (réactivité symétrique) :
  - o  $k_1=k_2$  variant entre 0,1 et 3 et
  - o  $k_3=k_4$  variant entre 0,1 et 1,2
  - o cible = moyenne des valeurs de l'indice de PUE historique (1,00)
- Grille 2 (réactivité asymétrique) :
  - o  $k_1$  variant entre 0,1 et 3
  - o  $k_2 = 2 \times k_1$
  - o  $k_3$  variant entre 0,1 et 1,2
  - o  $k_4 = 2 \times k_3$
  - o cible = moyenne des valeurs de l'indice de PUE historique (1,00)
- grille 3 (fourchette cible) :
  - o valeurs cibles entre 0,1 et 2
  - o paramètres  $k$  choisis sur la base des résultats de la grille 1 et 2 qui correspondent à une réactivité faible et forte de la PG à l'indice de PUE, et à une réactivité symétrique (grille1) et asymétrique (grille2).

Les simulations ont été réalisées sur un sous-ensemble du MO (100 itérations au lieu de 500) pour que le temps de calcul soit acceptable. Dans tous les cas, la limite de variation interannuelle du TAC de 15% a été appliquée.

Pour la grille 1, les indicateurs de performance de la PG étaient légèrement plus influencés par la réactivité à la distance jusqu'à la PUE cible ( $k_3$  et  $k_4$ , Figure 12) plutôt qu'à la pente ( $k_1$  et  $k_2$ ). La capture moyenne est relativement stable le long des isolignes pour  $p(\text{Kobe}=\text{vert})$ , indiquant que ces deux mesures de performance sont liées dans une grande mesure. Le long des isolignes de  $p(\text{Kobe}=\text{vert})$ , les stratégies de gestion qui sont plus réactives à l'indice de PUE (valeurs plus élevées des paramètres  $k$ ) entraînent une plus forte variabilité interannuelle des captures. Pour toutes les options de la grille, le risque de  $SB < SB_{\text{lim}}$  était nul.

Pour la grille 2, l'effet des paramètres liés à la pente de la PUE ( $k_1$  et  $k_2$ ) sur la performance de la PG est plus important (Figure 13) et similaire à l'effet des paramètres liés à la distance jusqu'à la PUE. En ce qui concerne la grille 1, les captures étaient stables le long des isolignes pour  $p(\text{Kobe}=\text{vert})$ , et une réactivité accrue conduisait à une plus grande variabilité des captures. Le risque de chuter en-deçà de  $SB_{\text{lim}}$  n'était plus nul mais restait très faible.

Pour la grille 3, les indicateurs de performance étaient très similaires pour l'application de la PG PUE à réactivité lente et rapide, sauf pour la variabilité des captures qui était généralement moindre avec la PG à réactivité lente. Une augmentation de la valeur de la PUE cible accroît logiquement la probabilité de se situer dans la zone verte du diagramme de Kobe et réduit le risque biologique ( $p(SB < SB_{\text{lim}})$ , Figure 14). Une relation en forme de dôme est observée entre la PUE cible et les captures en résultant, avec une PUE cible optimale autour de 0,45 (correspondant à un risque trop élevé de  $SB < SB_{\text{lim}}$ ). L'asymétrie dans la réaction

de la PG au signe de la pente et la différence avec la PUE cible entraînent des captures plus faibles mais également une variabilité des captures réduite.

Les options donnant une probabilité (des valeurs aussi proches que possible) de 50% et 60% de se situer dans la zone verte du diagramme de Kobe ont été identifiées (points et triangles respectivement à la Figure 14). Les scénarios avec la meilleure performance (pour  $p(\text{Kobe vert})$ ) à la fois de 50% et 60% correspondaient à l'option de réactivité lente et à la réaction symétrique, donnant les captures les plus élevées et la plus faible variabilité. Les valeurs correspondantes des paramètres  $k$  ont été utilisées pour les PG qui ont été calibrées et présentées dans la section ci-dessus. Tous les scénarios atteignant ces niveaux de  $p(\text{Kobe vert})$  avaient un faible risque biologique associé (inférieur à 5% la plupart du temps).

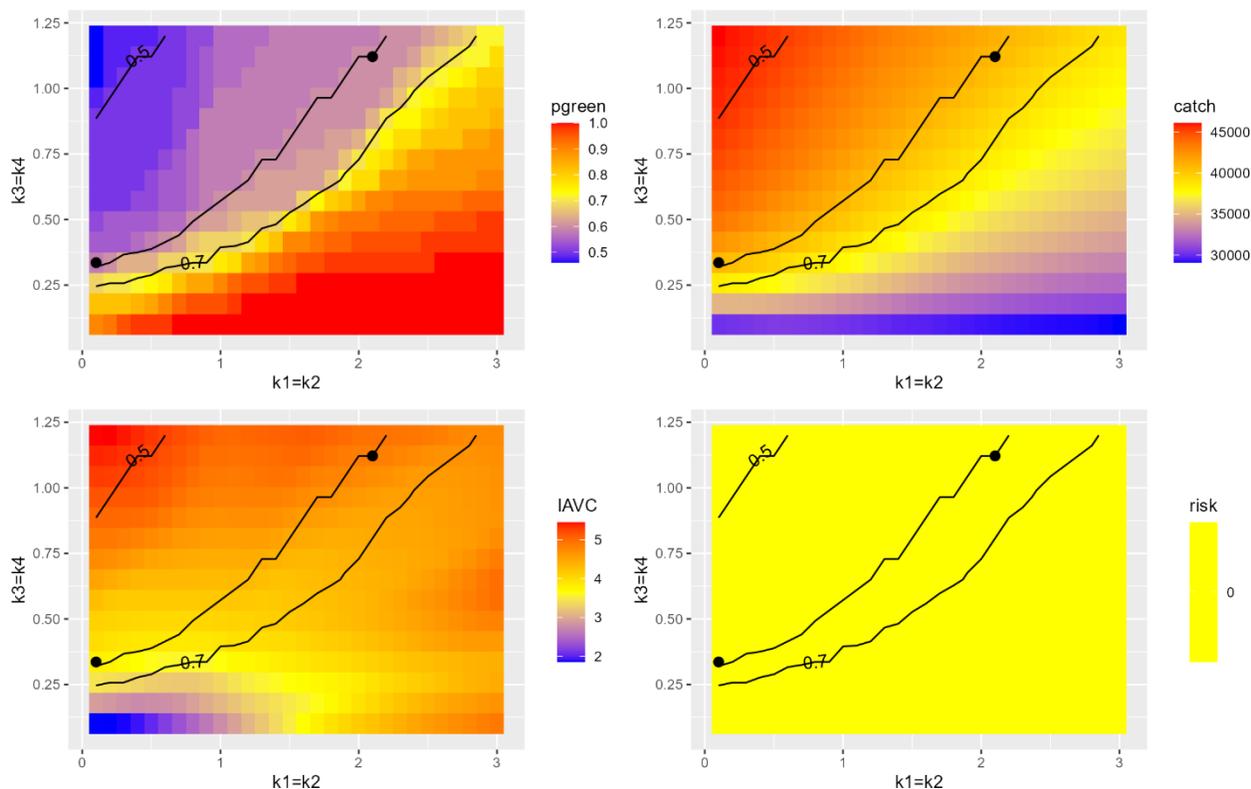


Figure 12 : Valeurs des 4 indicateurs de performance des PG (pgreen :  $P(\text{Kobe vert})$ , capture : captures moyennes, IAVC: variabilité interannuelle des captures et risk3 :  $p(SB < SB_{lim})$ ) calculées sur la période 2034-2038 pour une grille de paramètres de réactivité de  $k$  avec une réponse symétrique pour la pente positive et négative de la PUE et la distance jusqu'à la cible (les isolignes indiquent la probabilité de 50, 60 et 70% de se situer dans la zone verte du diagramme de Kobe).

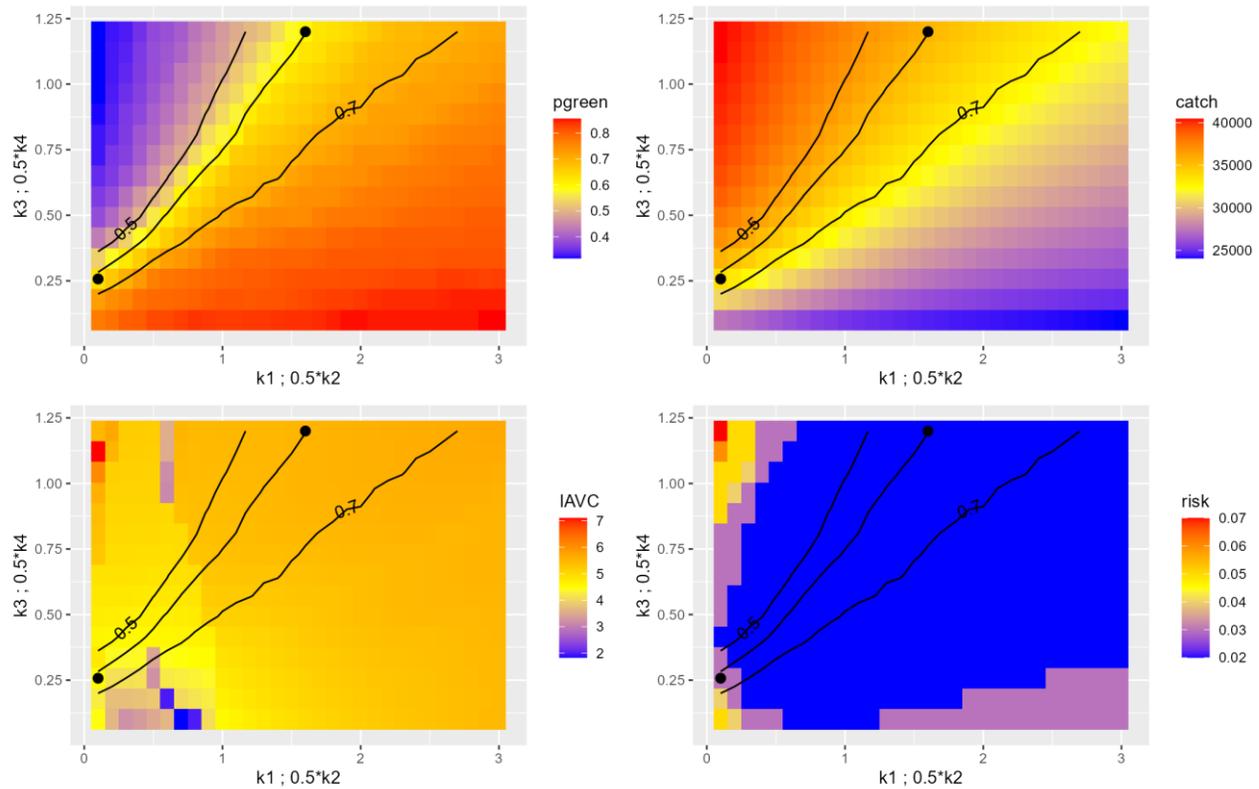


Figure 13 : Valeurs des 4 indicateurs de performance des PG ( $p_{green}$  :  $P(\text{Kobe vert})$ , capture : captures moyennes, IAVC: variabilité interannuelle des captures et  $risk_3$  :  $p(SB < SB_{lim})$  calculées sur la période 2034-2038 pour une grille de paramètres de réactivité de  $k$  avec une réactivité deux fois supérieure pour la pente négative de la PUE par rapport à la pente positive et la distance jusqu'à la cible (les isolignes indiquent la probabilité de 50, 60 et 70% de se situer dans la zone verte du diagramme de Kobe).

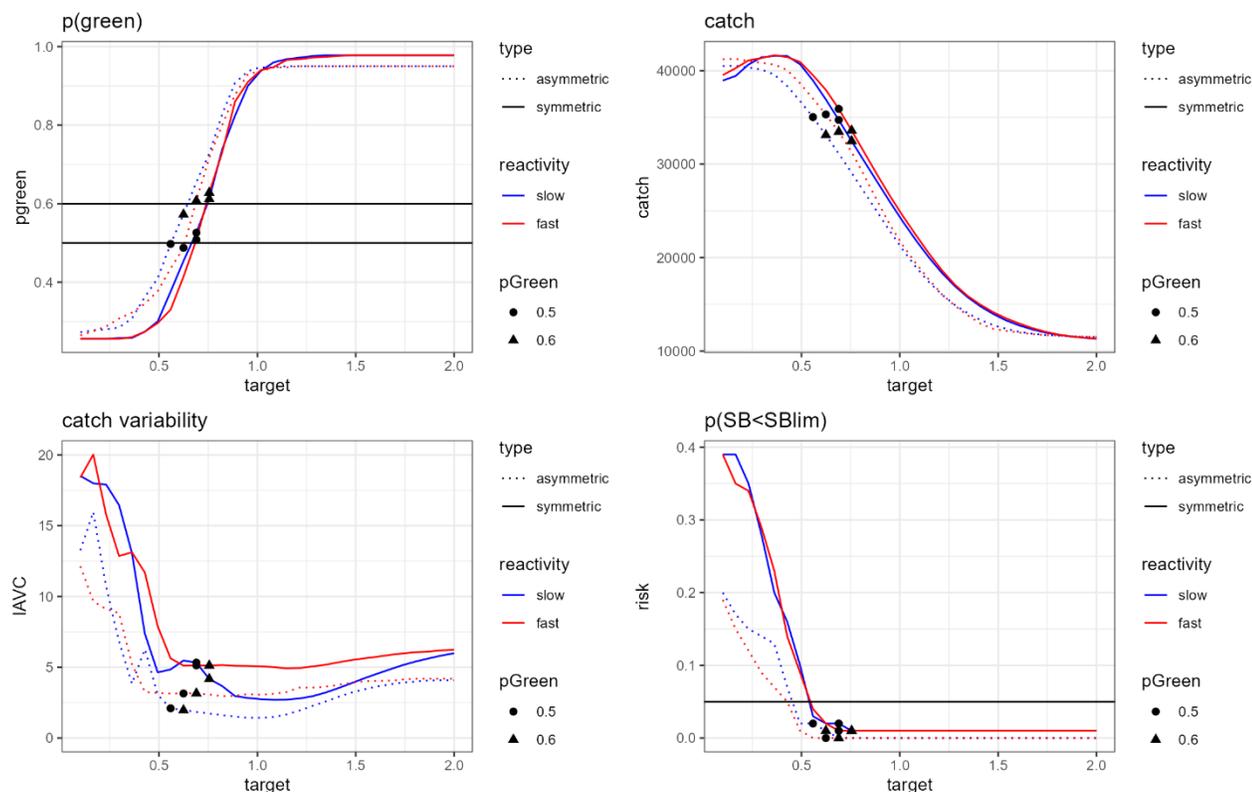


Figure 14 : Distribution des valeurs des 4 indicateurs de performance des PG ( $p_{green}$  :  $P(\text{Kobe vert})$ , capture : captures moyennes, IAVC: variabilité interannuelle des captures et risk3 :  $p(SB < SB_{lim})$ ) calculées sur la période 2034-2038 pour un ensemble de valeurs de la PUE cible pour une sélection de 4 des combinaisons des valeurs des paramètres  $k$  (identifiées par des points à la Figure 12 et 13, avec une réactivité faible et forte, une réactivité symétrique ou asymétrique selon le signe de la pente et la différence jusqu'à la cible). Pour chaque combinaison, les valeurs de la PUE cible les plus proches de celles donnant une probabilité de 50 et 60% de se situer dans la zone verte de Kobe sont identifiées par des points et des triangles respectivement.

## Impact de la mise en œuvre de la limite de variation du TAC

Afin d'étudier l'impact de la mise en œuvre d'une limite de variation interannuelle du TAC de 15 % sur la performance de la PG, la PG-PUE a été recalibrée avec les mêmes valeurs des paramètres  $k$  que ci-dessus mais sans la limite de variation du TAC.

Pour chaque objectif de calibrage, la PG-PUE calibrée sans la limite de variation du TAC avait constamment une valeur légèrement plus élevée de la valeur cible de l'indice de PUE, impliquant que la PG devait être un peu plus préventive pour atteindre l'objectif de calibrage que les PG avec la limite de variation du TAC. La comparaison de la performance de la PG avec et sans la limite de variation du TAC (Figure 15) indique que, globalement, il y a peu de différence, l'effet des critères de calibrage étant en général plus important que l'effet de la mise en œuvre de la limite de variation du TAC.

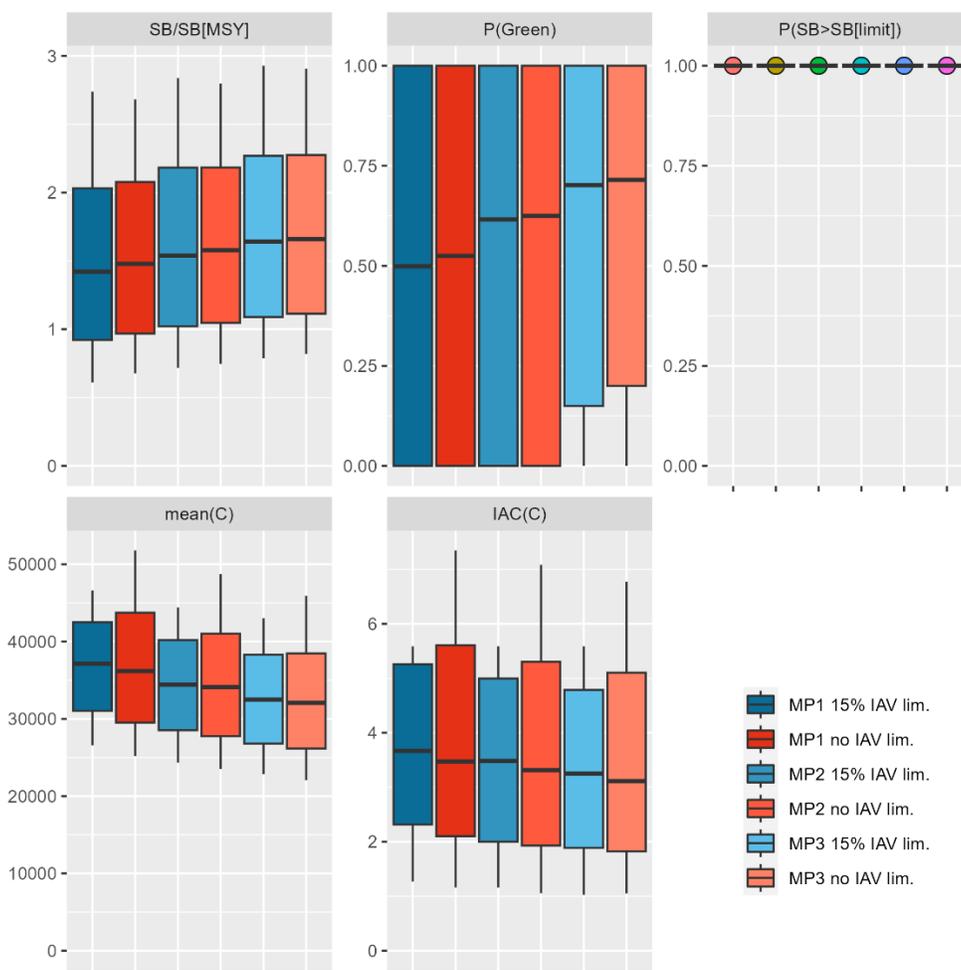


Figure 15. Diagrammes en boîte à moustaches comparant l'application de la PG-PUE avec et sans le stabilisateur du TAC par rapport aux principales mesures de performance mises à la moyenne sur la période 2034-2038. La ligne horizontale est la médiane (moyenne pour  $P(\text{vert})$ ), les cases représentent les 25<sup>e</sup> - 75<sup>e</sup> percentiles, les lignes fines représentent les 10<sup>e</sup> - 90<sup>e</sup> percentiles.

## Robustesse des différentes configurations de la PG-PUE face à un échec du recrutement

L'étude de la performance de la PG-PUE pour les différents types de configurations présentés ci-dessus suggère que la configuration avec une réactivité lente, associée à une limite de variation du TAC, conduisait, pour le stock d'espadon, à une performance légèrement meilleure que les configurations alternatives. Toutefois, cette PG, avec une réactivité lente face aux changements de la taille du stock et à des possibilités limitées de changement du TAC, pourrait ne pas être capable de protéger le stock en cas d'événements défavorables.

Afin d'étudier comment les différentes configurations de la PG-PUE réagissent en termes de protection du stock en cas d'événement défavorable, un test de robustesse a été réalisé dans le cadre duquel un échec du recrutement a été simulé au début de la période de projection. Une série de faibles recrutements a été imposée en fixant toutes les déviations par rapport au modèle stock-recrutement à 0,1 pour la période 2022-2025. Ce scénario purement fictif a été choisi en vue de produire une importante réduction de la taille du stock et ne vise pas à reproduire tout événement observé dans l'historique du stock.

Les simulations ont été réalisées pour la PG-PUE à réactivité lente et rapide (chacune d'entre elles ayant été préalablement calibrée), avec et sans le stabilisateur du TAC. La Figure 16 indique les valeurs annuelles de  $p(\text{Kobe vert})$  et de la probabilité de chuter en-deçà de  $SB_{lim}$  (risk3) pour les deux PG exécutées à la fois avec le MO de référence et avec le MO avec l'échec du recrutement.

Sans la limite de variation du TAC et pour le MO de référence (panneaux de gauche, courbes rouges), les valeurs de  $p(\text{Kobe vert})$  et de risk3 pour la PG à réactivité lente et rapide sont similaires, avec  $p(\text{Kobe vert})$  diminuant par rapport aux niveaux actuels à environ 0,5 en 2045 (calibré pour 60% sur la période 2034-2039). Dans les deux cas, le risque augmente au cours de la période mais reste très faible. Lorsqu'un échec du recrutement est introduit (panneaux de gauche, courbes bleues), le risque augmente plus rapidement, notamment pour la PG à réactivité lente qui semble être moins en mesure de protéger le stock contre un déclin. Cependant, même dans ce cas, le risque reste faible, inférieur à 5%.

Avec la limite de variation du TAC, les trajectoires de  $p(\text{Kobe vert})$  et risk3 pour le MO de référence (panneaux de droite, courbes rouges) sont similaires à celles sans limite de variation du TAC. Toutefois, lorsqu'un échec du recrutement est simulé (panneaux de droite, courbes bleues),  $p(\text{Kobe vert})$  chute rapidement à près de 40%, pour la PG à réactivité lente et celle à réactivité rapide, et risk3 passe de 7% à 10% pour la PG à réactivité lente et celle à réactivité rapide, respectivement.

Ce test, fondé sur un scénario de recrutement purement fictif, illustre l'inconvénient potentiel d'appliquer une limite de variation du TAC : dans les cas où des mesures de gestion draconiennes doivent être prises pour protéger le stock, le stabilisateur du TAC pourrait poser un risque accru pour le stock, en empêchant la PG d'être réactive. Lors de la décision d'une PG pour l'espadon, il est donc important de tenir compte tant des avantages (avoir un TAC plus stable qui ne réagit pas étroitement aux erreurs de mesure dans l'indice de PUE) que des risques (avoir une PG qui ne peut pas réagir assez vite) que comporte l'utilisation d'une limite de variation du TAC. Des moyens qui permettraient d'améliorer cette situation pourraient être étudiés, comme par exemple, définir les circonstances dans lesquelles la limite de variation du TAC devrait être levée (par ex. si la pente de la PUE ou la différence jusqu'à la cible sont plus importantes que certaines limites).

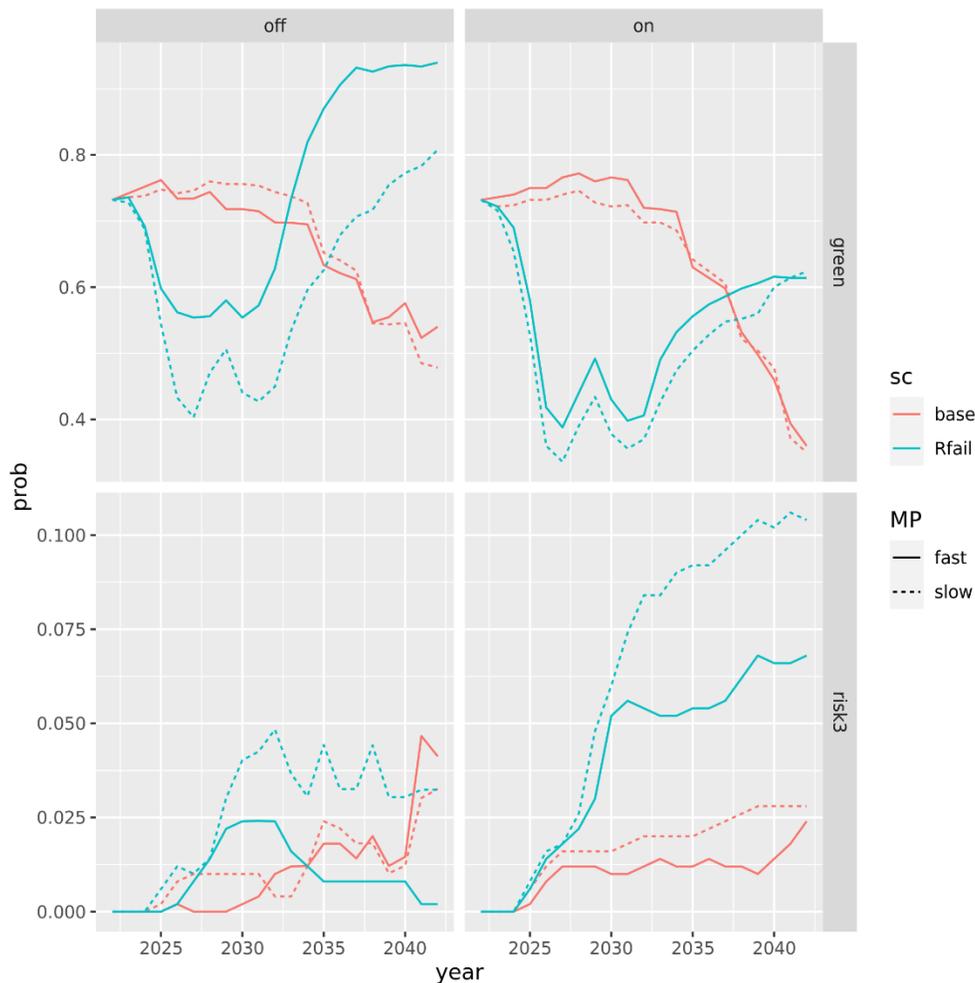


Figure 16. Probabilité de se situer dans la zone verte du diagramme de Kobe (panneaux supérieurs « vert ») et probabilité de  $SB < SB_{lim}$  (panneaux inférieurs « risk3 ») au fil du temps pour une PG-PUE à réactivité lente et rapide appliquée avec un stabilisateur du TAC (panneaux de droite « on ») et sans stabilisateur du TAC (panneaux de gauche « off »), pour le MO de référence et pour un MO avec 5 années d'échec du recrutement au début des simulations.

## Demands de commentaires de la part du CTPG

Les points suivants sont fournis pour suggérer le type de feedback qui serait le plus utile aux scientifiques pour la prochaine itération :

- 1) Les développeurs accueilleraient volontiers tout commentaire sur les préférences entre les 2 types de PG proposées, et souhaiteraient savoir si la Commission leur demande de tester d'autres PG.

- 2) Les objectifs de calibrage convenus lors des CTPG précédents sont-ils toujours considérés comme pertinents ?
- 3) Dans le cadre de la HCR en « crosse de hockey », une prise minimale autorisée lorsque le taux d'épuisement est inférieur à CT1, pour tenir compte des pêches de subsistance par exemple, n'a pas encore été mise en œuvre, étant donné qu'aucune valeur justifiée pour cette prise minimale n'a pu être obtenue auprès des consultations d'experts.
- 4) La simulation pourrait-elle être effectuée en supposant que le décalage total de 3 ans mentionné lors du CTPG04 (2021) pourrait se transformer en un décalage de deux ans, si une PG adoptée doit avoir une application directe, comme c'est le cas pour la HCR actuelle du listao ?
- 5) Les développeurs devraient-ils tester l'effet des règles de la levée des limites de variation du TAC lorsqu'il y a un besoin particulier de protéger le stock ? Dans l'affirmative, la limite de TAC de 15% ne s'appliquerait que lorsque les niveaux d'épuisement sont proches ou dépassent le point d'inflexion et non lorsque le besoin de rétablissement est le plus pressant.

## Appendice 1. Modifications de la grille d'incertitude structurelle utilisée pour générer le MO de l'espadon

**Tableau 1a. Grille d'incertitude structurelle du MO de référence**

Variable	Valeurs		
Sélectivité	Normale double	Logistique	
Pente	0,6	0,75	0,9
Croissance + Maturité	Croissance lente, maturité tardive (Wang et al.,2010)	Croissance rapide, maturité précoce (Farley et al., 2016, otolithes)	
M	Faible = 0,2	Haute = 0,3	Spécifique au sexe Lorenzen M (Farley et al. (2016), otolithes)
Sigma R	0,2	0,6	
ESS	2	20	
Schémas de mise à l'échelle de la PUE	Effet zone x Surface	Capture	Biomasse
PUE	JPN fin + UE.PRT	JPN fin	TWN + UE.PRT
Augmentation de la capturabilité	0%	1% / an	

**Tableau 1b. Proposition de nouvelle grille d'incertitude structurelle pour le MO (ajouts et suppressions mis en évidence respectivement en gras et avec une croix)**

Variable	Valeurs		
Sélectivité	Normale double	<del>Logistique</del>	
Pente	0,6	<del>0,75</del>	<del>0,90</del>
Croissance + Maturité	Croissance lente, maturité tardive (Wang et al.,2010)	Croissance rapide, maturité précoce (Farley et al., 2016, otolithes)	
M	Faible = 0,2	Haute = 0,3	Spécifique au sexe Lorenzen M (Farley et al. (2016), otolithes)
Sigma R	0,2	<b>0,4</b>	0,6
ESS	2	20	
Schémas de mise à l'échelle de la PUE	<del>Effet zone x Surface</del>	<del>Capture</del>	<del>Biomasse</del>
PUE	JPN fin + UE.PRT	JPN fin	TWN + UE.PRT
Augmentation de la capturabilité	0%	1% / an	





**Tableau 2c.** Performance des PG candidates pour les mesures de performance standards de la CTOI pour 2023-2042

Mesures de performance	nom	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6
Captures moyennes au fil des ans	moyenne (C)	31860	30325	29168	31029	28821	26147
Mortalité par pêche moyenne par rapport à $F_{PME}$	$F/F_{PME}$	1,08	0,96	0,88	2,32	1,72	1,24
Mortalité par pêche moyenne par rapport à la cible	$F/F_{cible}$	1,08	0,96	0,88	2,32	1,72	1,24
Proportion moyenne de la PME	$C/PME$	0,99	0,94	0,91	0,98	0,92	0,84
Biomasse reproductrice moyenne par rapport à la biomasse vierge	$SB/SB_0$	0,35	0,36	0,37	0,32	0,34	0,37
Biomasse reproductrice moyenne par rapport à $SB_{PME}$	$SB/SB_{PME}$	1,59	1,65	1,69	1,48	1,59	1,72
Biomasse reproductrice minimale par rapport à la biomasse vierge	$\min(SB/SB_0)$	0,27	0,29	0,3	0,24	0,27	0,3
Pourcentage de changement interannuel dans les captures	$IAC(C)$	3,1	2,88	2,67	3,13	1,93	0,95
Probabilité de se situer dans le quadrant vert de Kobe	$P(\text{vert})$	0,61	0,67	0,72	0,56	0,64	0,71
Probabilité de se situer dans le quadrant rouge de Kobe	$P(\text{rouge})$	0,23	0,19	0,16	0,33	0,29	0,24
Probabilité de fermeture de la pêcherie	$P(\text{effondrement})$	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01
Probabilité que la biomasse reproductrice soit supérieure à 20% de $SB_0$	$P(SB > 0,20 \times SB_0)$	0,88	0,91	0,92	0,77	0,82	0,88
Probabilité que la biomasse reproductrice soit supérieure à $SB_{lim}$	$P(SB > SB_{limite})$	0,98	0,98	0,99	0,95	0,97	0,98