

PG candidates actualisées pour le listao de l'océan Indien

Préparé pour la Commission des Thons de l'Océan Indien

6 février 2024

Rapport préparé par:
Charles T T Edwards

Pour toute information concernant le présent rapport, veuillez contacter l'auteur à:

CESCAPE Consultancy
Services South Africa & New Zealand

Email: cescapecs@gmail.com
Téléphone: +64-21-575879

Rapport client CESCAPE

Code projet du client : MTF/INT/661/MUL (TFAA970097099)

Nom du projet : Évaluation de la Stratégie de Gestion des pêches

Date de fin du projet : 30 juin 2024

Date du rapport : 6 février 2024

Préparé pour : 7^{ème} Session du Comité Technique sur les Procédures de Gestion de la CTOI,
19-21 février 2024

Objectifs du projet

Les travaux sur l'actualisation de la Procédure de Gestion pour le listao de l'océan Indien durent depuis 2019. La phase actuelle des travaux couvre la période d'octobre 2023 à juin 2024.

L'objectif global est de :

- Développer une Procédure de Gestion pour le listao de l'océan Indien, y compris la spécification des valeurs d'entrée des données, qui a été intégralement testée à l'aide d'un cadre de simulation de la stratégie de gestion.

Les objectifs spécifiques définis à la 6^{ème} Session du CTPG incluent ce qui suit :

1. Réétudier la possibilité d'utiliser une Procédure de Gestion basée sur un modèle, fondée sur les indices de PUE actualisés à présenter au GTTT25 ;
2. Proposer un ensemble de Procédures de Gestion candidates au CTPG (2024) pour potentielle adoption par la Commission.

Le point (1) a été traité à la 25^{ème} Session du GTTT de la CTOI en octobre 2023, et les éléments de preuve présentés ont indiqué qu'une approche basée sur un modèle pour fixer les limites de captures de gestion n'était pas viable. À la 14^{ème} Session précédente du GTM de la CTOI, un autre ensemble d'objectifs a été proposé pour ces travaux :

3. Actualiser le modèle opérationnel avec l'évaluation du stock de listao la plus récente, présentée à la 25^{ème} Session du GTTT de la CTOI en octobre 2023 ;
4. Imposer une capture recommandée minimum de 66 mille tonnes environ ;
5. Inclure une corrélation temporelle dans la série temporelle du recrutement projeté ;
6. Évaluer l'effet de différentes limites de changement des captures.

Le présent rapport passe en revue les travaux menés à ce jour et les futures orientations proposées pour discussion du CTPG.

Introduction

En 2016, la CTOI a adopté la Résolution 16/02 (IOTC, 2016), qui décrivait une règle de contrôle de l'exploitation (HCR) à utiliser pour établir un taux d'exploitation recommandé pour le listao (SKJ), sur la base des résultats de l'évaluation du stock (Figure 1). Cette évaluation du stock est réalisée la même année où la HCR est mise en œuvre, en utilisant les données de capture jusqu'à et incluant l'année précédente. Chaque recommandation de capture associée est valide pour la période de trois ans suivante. En utilisant les résultats de l'évaluation de 2017 (Fu, 2017), la HCR a tout d'abord été mise en œuvre à la fin de cette année pour générer une limite de capture recommandée pour 2018–2020 de 470 mille tonnes (CS, 2017). La HCR a été mise en œuvre une deuxième fois en 2020 (CS, 2020), sur la base d'une évaluation du stock actualisée par Fu (2020). Les résultats ont été utilisés pour calculer une limite de capture recommandée pour 2021–2023 de 514 mille tonnes (IOTC, 2021a). L'évaluation du stock a été répétée en 2023 (Fu, 2023), produisant une limite de capture recommandée pour 2024–2026 de 629 mille tonnes (CS, 2023). Les captures réalisées par la pêcherie dépassent constamment la limite recommandée de 15% – 30% tous les ans (Tableau 1).

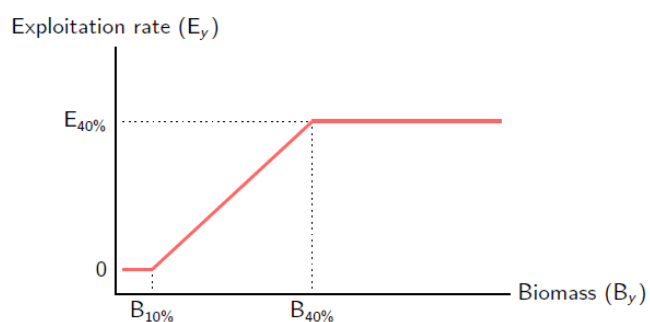


Figure 1 : Représentation schématique de la règle de contrôle de l'exploitation actuelle, qui relie la biomasse du stock reproducteur estimée (B_y) à un taux d'exploitation (E_y). La capture recommandée est obtenue en multipliant le taux d'exploitation par la biomasse du stock reproducteur estimée.

Tableau 1: Capture recommandée issue de la Résolution 16/02 et captures réalisées utilisées par Fu (2023) en tonnes. *Il est à noter que la capture de 2023 est prédite par l'évaluation du stock sur la base des taux d'exploitation actuels et n'est pas une valeur empirique.

Année	Capture recommandée	Capture réalisée	Excédent de captures
2018	470 029	606 134	29%
2019	470 029	590 388	26%
2020	470 029	547 258	16%
2021	513 572	655 115	28%
2022	513 572	648 697	26%
2023	513 572	*596 511	*16%
2024	628 606	–	–
2025	628 606	–	–
2026	628 606	–	–

Dans le cadre des MCG 16/02 et 21/03, la CTOI s'est engagée à lancer un programme de développement et de perfectionnement de la HCR et à la soumettre à une évaluation fondée sur des simulations. Une HCR dont les données d'entrée sont spécifiées et qui a été testée par simulation est désignée « Procédure de Gestion » (PG). Ces travaux durent depuis 2019 (cf. Edwards, 2023c pour

consulter les avancées). La PG envisagée est empirique, ou basée sur des données, ce qui signifie qu'elle utilise une représentation de l'épuisement du stock qui est descriptive plutôt que basée sur des processus afin d'établir les captures. Par exemple, l'estimation de la biomasse du stock reproducteur requiert une représentation de la dynamique basée sur des processus, alors que ce n'est pas le cas pour une pente dans l'indice du taux de capture dans le temps, qui serait considérée comme un indicateur de l'état du stock basé sur des données.

Faisant suite à la récente présentation des PG empiriques candidates au CTPG et au GTM en 2023 (Edwards, 2023b,a,c), les travaux suivants ont été proposés (IOTC, 2023d,a,b) :

1. Réétudier la possibilité d'utiliser une Procédure de Gestion basée sur un modèle, fondée sur les indices de PUE actualisés à présenter au GTTT25 ;
2. Proposer un ensemble de Procédures de Gestion candidates au CTPG (2024) pour potentielle adoption par la Commission ;
3. Actualiser le modèle opérationnel avec l'évaluation du stock de listao la plus récente, présentée au GTTT25 ;
4. Imposer une capture recommandée minimum de 67 mille tonnes environ ;
5. Inclure une corrélation temporelle dans la série temporelle du recrutement projeté ;
6. Évaluer l'effet de différentes limites de changement des captures.

Le point (1) a été traité au GTTT25 en 2023, et les éléments de preuve présentés ont indiqué qu'une approche basée sur un modèle pour fixer les limites de captures de gestion n'était pas viable (IOTC, 2023c). Le présent rapport traite des points (2), (3) et (4) pour discussion du CTPG.

Conception de la Procédure de Gestion

Valeurs d'entrées des données

Une PG empirique ou basée sur des données utilise un modèle descriptif plutôt qu'un modèle basé sur des processus. Les travaux initiaux en vue du développement de cette approche ont été présentés au CTPG par Edwards (2021b), avec une PG qui était basée sur les indices des PUE standardisées des flottilles de PL des Maldives (Medley et al., 2020b,a, 2023) et des flottilles de PSLs de l'Union européenne (Guery et al., 2020, Guery, 2020, Kaplan et al., 2023). Ces indices sont tous deux couramment utilisés dans les évaluations du listao de l'océan Indien (Fu, 2017, 2020, 2023). Compte tenu de l'apparente utilité de cette approche, les travaux ultérieurs ont poursuivi son développement.

Dans le paradigme traditionnel des évaluations des stocks, il est généralement supposé que le logarithme naturel de la biomasse exploitable suit une relation linéaire avec le logarithme naturel de l'indice de PUE (ou des prospections). En partant du principe que ce postulat est valide, nous pouvons donc considérer l'abondance logarithmique comme un indice de l'épuisement logarithmique et l'utiliser pour établir une limite de capture adaptée. Un avantage que présente l'utilisation du logarithme est qu'il introduit une forme convexe dans la relation entre la capture recommandée et l'épuisement réel, ce qui a pour effet de rendre la règle de contrôle de l'exploitation de plus en plus agressive en termes de réduction des captures lorsque l'épuisement se rapproche de zéro. Un deuxième avantage est que l'abondance logarithmique a une distribution

d'erreur plus symétrique autour de sa valeur réelle, la rendant moins sensible en tant qu'indice aux valeurs extrêmes qui peuvent survenir en raison de l'erreur d'observation.

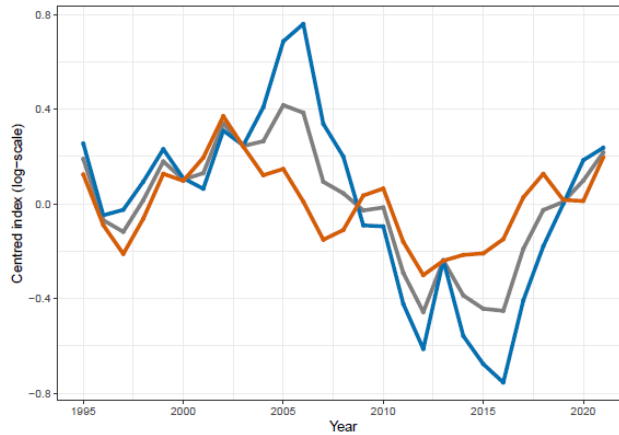


Figure 2 : Séries temporelles des indices de PL et PSLs log-transformés entre 1995 et 2021 (Fu, 2023), compensés par la valeur moyenne.

Les indices de PL et PSLs log-transformés, compensés par la moyenne et mis à la moyenne pour les quatre saisons de l'année, affichent des tendances similaires dans le temps lorsqu'ils sont tracés pour les années se chevauchant (1995 à 2021 inclus ; Figure 2). Sur cette base, l'indice de l'Équation 1, avec la mention a_y , a été proposé comme valeur d'entrée pour la PG (Edwards, 2021b), la valeur de référence (a^{REF}) étant calculée, dans le cas actuel, de la période de 1995 à 2021. Pour l'évaluation de 2023, 2021 est l'année la plus récente pour laquelle les PUE de PL et de PSLs sont disponibles, ce qui signifie qu'il y a un décalage de trois ans entre les données et l'année pour laquelle la capture est recommandée. La valeur de a_y est donc calculée en utilisant les données de l'année $y - 3$. Il serait possible de stabiliser l'indice a_y en prenant la moyenne sur un plus grand nombre d'années mais cela n'a pas été étudié plus avant ici. Il a plutôt été supposé que le processus de standardisation utilisé pour générer les indices de PUE a déjà fourni un lissage suffisant.

$$a^{\text{REF}} = \frac{1}{2 \cdot n_s \cdot n_y} \cdot \left\{ \sum_{y=1995}^{2021} \sum_s \log \left(\text{CPUE}_{y,s}^{\text{PSLS}} \right) + \sum_{y=1995}^{2021} \sum_s \log \left(\text{CPUE}_{y,s}^{\text{PL}} \right) \right\} \quad (1a)$$

$$a_y = \frac{1}{2 \cdot n_s} \cdot \left\{ \sum_s \log \left(\text{CPUE}_{y-3,s}^{\text{PSLS}} \right) + \sum_s \log \left(\text{CPUE}_{y-3,s}^{\text{PL}} \right) \right\} - a^{\text{REF}} \quad (1b)$$

À des fins d'illustration, les résultats de l'évaluation du stock de Fu (2023) peuvent être utilisés pour estimer la relation entre a_y et l'épuisement. Les résultats sont présentés à la Figure 3. Cela illustre comment l'indice devient de plus en plus sensible à des valeurs d'épuisement plus basses, ce qui est une propriété implicitement utilisée par la HCR pour recommander des réductions plus sévères de la capture recommandée à mesure que la biomasse du stock diminue.

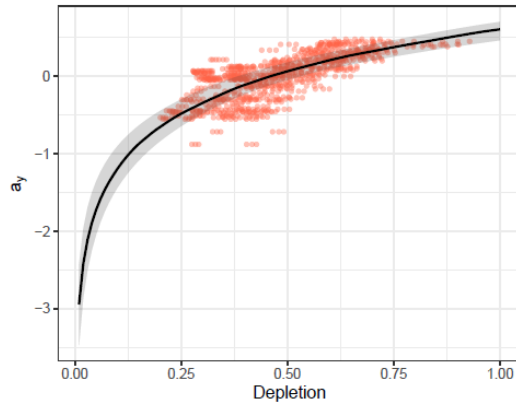


Figure 3 : Relation entre la moyenne des indices de PL et PSLS log-transformés (a_y) et l'épuisement de la biomasse estimé par les 36 scénarios des modèles d'évaluation du stock à une seule zone de Fu (2023). Chaque point de données (en rouge) représente une valeur pour a_y estimée d'après des données empiriques, et l'épuisement estimé par l'évaluation du stock. La ligne de la valeur ajustée est indiquée, qui est la médiane pour les relations obtenues des différents scénarios des modèles.

Règle d'exploitation

La PG proposée comporte une HCR qui a la forme suivante :

$$C^{INIT} = \begin{cases} C_{max} & \text{for } a_y \geq a_T \\ (C_{max} - C_{min}) \times \frac{a_y - a_X}{a_T - a_X} + C_{min} & \text{for } a_X < a_y < a_T \\ C_{min} & \text{for } a_y \leq a_X \end{cases} \quad (2)$$

Pour les valeurs $a_y \leq a_X$, la capture recommandée est égale à C_{min} . Au fur et à mesure que a_y augmente, la capture recommandée augmente également, jusqu'à ce que pour les valeurs de $a_y \geq a_T$ la capture recommandée soit égale à C_{max} (Figure 4). Il y a, en outre, les paramètres de calibrage ΔTAC_{min} et ΔTAC_{max} qui représentent les limites de changement en pourcentage supérieures et inférieures pour le TAC. Ces paramètres de calibrage (a_X , a_T , C_{min} , C_{max} , ΔTAC_{min} et ΔTAC_{max}) sont une partie fixe de la PG, permettant de tester sa performance par simulation avec différentes valeurs des paramètres de calibrage.

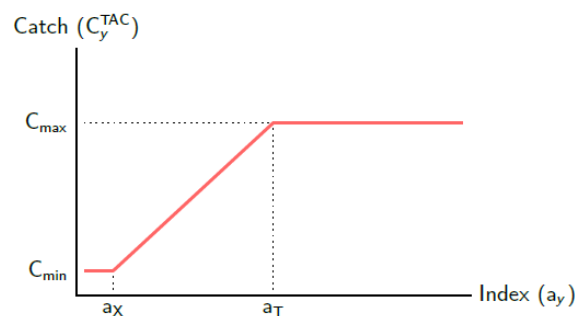


Figure 4 : Représentation schématique de la règle de contrôle de l'exploitation empirique (Équation 2) qui avait été proposée dans le cadre de la PG basée sur des données (Edwards, 2021b,a). Les paramètres de calibrage sont a_X , a_T , C_{min} , C_{max} , ΔTAC_{min} et ΔTAC_{max} , où ΔTAC_{min} et ΔTAC_{max} représentent les limites de changement en

pourcentage supérieures et inférieures pour le TAC.

Calibrage

Au sein de la CTOI, le « calibrage » est réalisé par rapport à des critères de performance prédéfinis, à savoir l'état de la biomasse et le taux d'exploitation, qui définissent les objectifs de gestion pour le stock (IOTC, 2015). Plus précisément, les PG sont sélectionnées en utilisant la probabilité simulée que le stock se situe dans le quadrant cible de gestion, en moyenne sur les années de projection 11 à 15 (2033 à 2037 inclus). Le quadrant cible est défini comme $B_y > B_{40\%} \cap E_y < E_{40\%}$ (Edwards, 2023b, IOTC, 2023a). Les critères de calibrage définis comme des probabilités de 50%, 60% et 70% de se situer dans ce quadrant cible ont été adoptés. Tout comme les autres stocks CTOI, si une PG remplissait l'un de ces critères elle était alors sélectionnée pour examen approfondi. Si plusieurs PG remplissaient les mêmes critères de calibrage, la PG avec un TAC moyen le plus proche de C_{max} était alors sélectionnée.

Tableau 2 : Estimations de la médiane et du point de référence IC 80% pour les 36 scénarios des modèles de Fu (2023), estimées à l'aide de SS3.30.22. Les valeurs de captures et de biomasse sont données en unités de 1 000 tonnes. L'évaluation utilise les données jusqu'en 2022 et les valeurs de 2023 sont obtenues à partir d'une projection sur un an à E_{2022} . Il est à noter que ces valeurs de sortie ont été réestimées d'après les fichiers d'entrée de l'évaluation utilisés par Fu (2023) et pourraient être légèrement différentes des résultats publiés.

Quantité	Médiane	(quantiles de 80%)
B_0	2169,945	(1912,66 - 2427,17)
$B_{40\%}$	867,979	(765,066 - 970,868)
B_{PME}	519,871	(382,606 - 676,942)
B_{2023}	1229,435	(883,647 - 1530,985)
$C_{40\%}$	528,133	(475,914 - 594,267)
C_{PME}	580,528	(519,6 - 671,156)
C_{2023}	596,511	(569,755 - 632,312)
$E_{40\%}$	0,55	(0,472 - 0,643)
E_{PME}	0,981	(0,7 - 1,432)
E_{2023}	0,453	(0,379 - 0,615)
B_{2023}/B_0	0,572	(0,404 - 0,7)
$B_{2023}/B_{40\%}$	1,43	(1,009 - 1,749)
B_{2023}/B_{PME}	2,383	(1,649 - 3,303)
$C_{2023}/C_{40\%}$	1,14	(0,972 - 1,289)
C_{2023}/C_{PME}	1,024	(0,862 - 1,19)
$E_{2023}/E_{40\%}$	0,828	(0,676 - 1,088)
E_{2023}/E_{PME}	0,484	(0,325 - 0,686)

Tests par simulation

Modèle opérationnel

Le cadre de simulation de la stratégie de gestion utilise l'évaluation du stock de listao actuelle, qui représente notre meilleure compréhension de la ressource (Fu, 2023). La grille des 36 modèles d'évaluation représente l'incertitude structurelle dans notre compréhension de la dynamique. Les scénarios des modèles qui supposent un changement de la capturabilité dans le temps ont été exclus de l'ensemble de référence (IOTC, 2023c), qui a donc été réduit à 18 modèles. Ils ont été utilisés comme modèles opérationnels pour tester par simulation la performance des PG candidates sur une période de projection de 18 ans (de 2023 à 2040 inclus). La capture recommandée de 2023 à 2026 a été fixée en se fondant sur les valeurs de sortie de la HCR actuelle (Tableau 1), les PG candidates

étant mises en œuvre afin de recommander la capture à partir de 2027, à des intervalles de trois ans. Les données des taux de captures ont été supposés être disponibles pour la PG avec un décalage de trois ans, conformément à la gestion actuelle. Par exemple, la PG candidate testée est tout d'abord mise en œuvre en 2026, en utilisant les données des taux de captures simulées jusqu'en et incluant 2024 en vue d'établir le TAC pour 2027.

La capture réalisée à partir de 2023 a été supposée être un écart symétrique autour du TAC recommandé, l'ampleur de cet écart concordant avec les écarts annuels connus de la capture totale. Malgré l'important excédent de captures observé dans la pêcherie (Tableau 1), l'erreur de mise en œuvre n'est pas incluse dans le processus de calibrage (IOTC, 2023a). Elle sera plutôt traitée comme test de robustesse dans les travaux ultérieurs.

Procédures de Gestion candidates

Faisant suite aux recommandations du CTPG, la valeur de C_{\min} a été fixée à 66 mille tonnes. La valeur de C_{\max} a été renseignée par les estimations de $C_{40\%}$ de 528 milles tonnes environ (Tableau 2). Les travaux précédents ont porté sur le calibrage de la PG par le biais d'ajustements de C_{\max} . Dans les travaux actuels, nous étudions également des ajustements de a_X et a_T .

Les valeurs des paramètres de calibrage suivantes ont été étudiées :

- $C_{\max} = \{505, 516, 526, 537, 547, 558, 568, 590\}$
- $C_{\min} = 66$
- $a_T = \{-0.5, -0.3, -0.1\}$
- $a_X = \{-1.2, -1.0, -0.8, -0.6\}$
- $\Delta_{\min}^{\text{TAC}} = 0$
- $\Delta_{\max}^{\text{TAC}} = \infty$

avec C_{\max} et C_{\min} en unités de 1 000 tonnes. Les paramètres $\Delta_{\min}^{\text{TAC}}$ et $\Delta_{\max}^{\text{TAC}}$ représentent les limites de changement en pourcentage supérieures et inférieures pour le TAC. Le GTM a défini des valeurs possibles (IOTC, 2023b), et leurs effets seront étudiés dans les futurs travaux.

Le calibrage de la PG se base sur la probabilité que le stock se situe dans le quadrant cible entre 2033 et 2037. La Figure 5 montre la relation entre C_{\max} et cette probabilité (panneau de gauche), et la probabilité marginale à différentes valeurs de $\{a_T, a_X\}$ (panneau de droite). Une valeur croissante pour C_{\max} réduit la probabilité de se situer dans le quadrant cible mais cette relation dépend de $\{a_T, a_X\}$. À de plus faibles valeurs de $\{a_T, a_X\}$, la probabilité est réduite étant donné que la PG est moins réactive à des fluctuations à la baisse de la biomasse du stock. Cela signifie que pour tout calibrage donné, de multiples valeurs de C_{\max} peuvent produire la même probabilité si des valeurs appropriées sont sélectionnées pour $\{a_T, a_X\}$. Il est probable que ces choix affecteront également d'autres diagnostics, notamment ceux concernant la stabilité des captures. En réponse à cette propriété, deux PG ont été sélectionnées pour chaque probabilité de calibrage, avec des valeurs élevées et basses pour $\{a_T, a_X\}$, donnant un total de six PG. Elles sont répertoriées au Tableau 3. Les probabilités cibles dans le temps, utilisées dans le processus de calibrage, sont indiquées à la Figure 6.

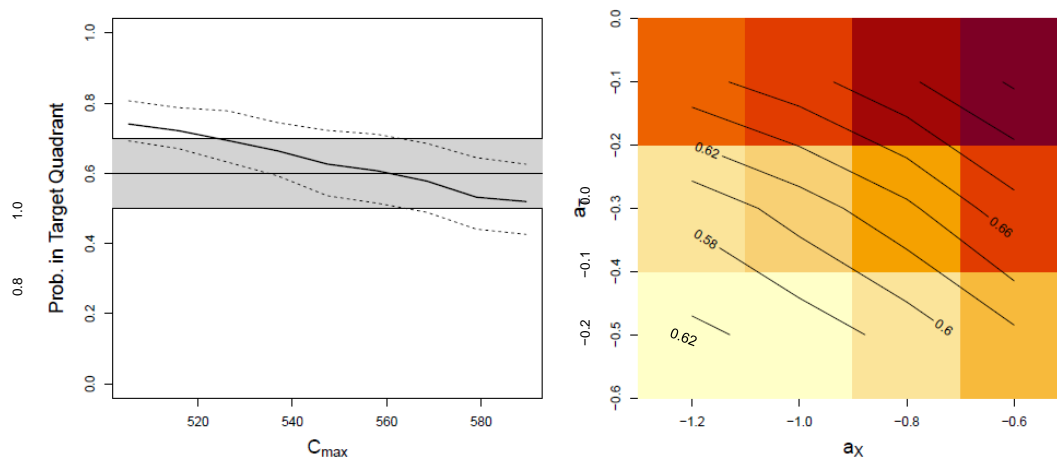


Figure 5 : Probabilités simulées de se situer dans le quadrant cible entre 2033 et 2037 pour différentes valeurs de C_{max} , a_T et a_X . Panneau de gauche : relation entre C_{max} et la probabilité cible. Pour toute C_{max} donnée, la probabilité cible dépend des valeurs de a_T et a_X , et les probabilités moyennes, supérieures et inférieures sont indiquées. Les parties grisées représentent les probabilités de calibrage de 50%, 60% et 70%. Panneau de droite : probabilité cible pour chaque combinaison de a_T et a_X , mise à la moyenne sur les valeurs de C_{max} .

Tableau 3 : Paramètres de calibrage des PG (Équation 2 et Figure 4). L'intitulé de la PG indique la probabilité de calibrage et le choix des valeurs pour $\{a_X, a_{max}\}$.

Intitulé de la PG	C_{min}	C_{max}	a_X	a_{max}
MP-50%-A	65,80	568,47	-1,20	-0,50
MP-50%-B	65,80	589,53	-1,00	-0,30
MP-60%-A	65,80	536,89	-1,20	-0,50
MP-60%-B	65,80	547,42	-1,00	-0,30
MP-70%-A	65,80	505,31	-1,20	-0,50
MP-70%-B	65,80	515,84	-1,00	-0,30

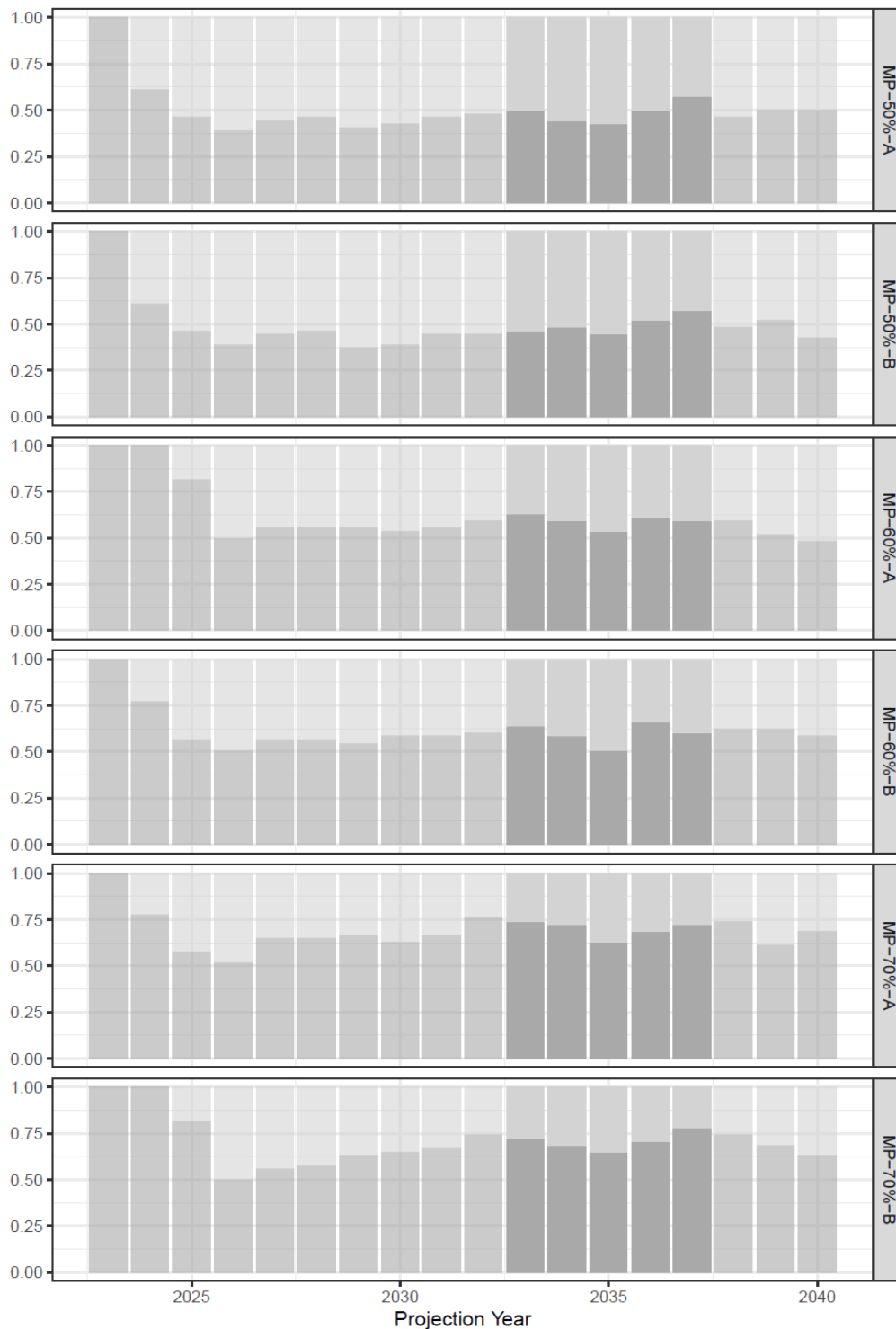


Figure 6 : Probabilités simulées de se situer dans le quadrant cible dans le temps, par PG (Tableau 3). Entre 2023 et 2026, le TAC a été fixé à des valeurs connues (Tableau 1), après quoi le TAC a été établi par la PG. Chaque PG a été calibrée en utilisant les probabilités du quadrant cible entre 2033 et 2037 inclus.

Résultats des simulations

La Figure 7 indique les projections de l'indice de l'état du stock a_y au fil du temps. Les relations entre cette valeur projetée et les captures recommandées sont indiquées à la Figure 8 pour chaque PG. Les

PG avec une C_{max} plus élevée et des valeurs plus élevées pour $\{a_T, a_X\}$ ont une plus faible probabilité que le TAC recommandé soit égal à C_{max} , impliquant que la série temporelle du TAC sera moins stable. Par exemple, il est estimé que la MP-50%-B recommandera un TAC de 590 mille tonnes avec une probabilité de moins de 70%, alors que la MP-70%-A recommandera un TAC de 505 mille tonnes avec une probabilité de plus de 90%. Ce contraste illustre le compromis qui existe lors de la sélection d'une PG à des fins de gestion. La stabilité des captures de chaque PG est illustrée également à la Figure 9, qui montre le TAC et les valeurs des captures réalisées au fil du temps.

La Figure 10 représente la biomasse du stock projetée et la dynamique d'exploitation. Dans ce cas, on peut voir que la probabilité de calibrage déterminera l'état par rapport aux points de référence mais il n'y a pas de relation entre l'état du stock et la stabilité de la série temporelle de captures observée aux Figures 8 et 9. Ceci est très normal étant donné qu'un TAC plus élevé mais moins stable produira une dynamique du stock globale similaire par rapport à un TAC inférieur mais plus stable. Par exemple, la MP-60%-B génèrera un TAC de 537 mille tonnes avec une probabilité de 88%, tandis que la MP-60%-A génèrera un TAC de 547 mille tonnes avec une probabilité de 76% (Figure 8). Dans ces deux cas, les dynamiques sont impossibles à discerner (Figure 10).

Des diagnostics plus détaillés sont répertoriés au Tableau 4 et communiqués aux Tableaux 5, 6 et 7 pour examen du CTPG. Comme prévu, un calibrage plus conservateur est associé à des captures plus faibles et à une biomasse plus élevée. Dans chaque calibrage, il est possible d'ajuster la stabilité du TAC (le diagnostic $|CTAC_y/CTAC_{y-1} - 1|$) en utilisant les paramètres de calibrage a_T et a_X . Il est intéressant de noter que des valeurs plus élevées pour $\{a_T, a_X\}$ permettent un TAC plus élevé pour le calibrage de 70%, avec une diminution associée de la stabilité des captures (Tableau 5). Toutefois, pour le calibrage de 50%, des valeurs plus élevées pour $\{a_T, a_X\}$ sont associées à une réduction du TAC moyen (Tableau 7), même si le paramètre C_{max} est plus élevé (Tableau 3). Il en va de même, dans une moindre mesure, pour le calibrage de 60% (Tableau 6). Ce schéma général indique que pour les calibrages de 50% et 60%, les valeurs plus basses de $\{a_T, a_X\}$ semblent préférables (c.-à-d. la MP-60%-A et la MP-50%-A).

Finalement, les diagrammes de phases de Kobe et de Majuro sont inclus à la Figure 11, indiquant qu'aucune des PG ne devraient conduire à la surpêche du stock, dans le cadre des postulats actuellement représentés par le modèle opérationnel. Il est prévu que la prochaine phase des travaux étudie ces postulats à travers des tests de robustesse.

Index value projections

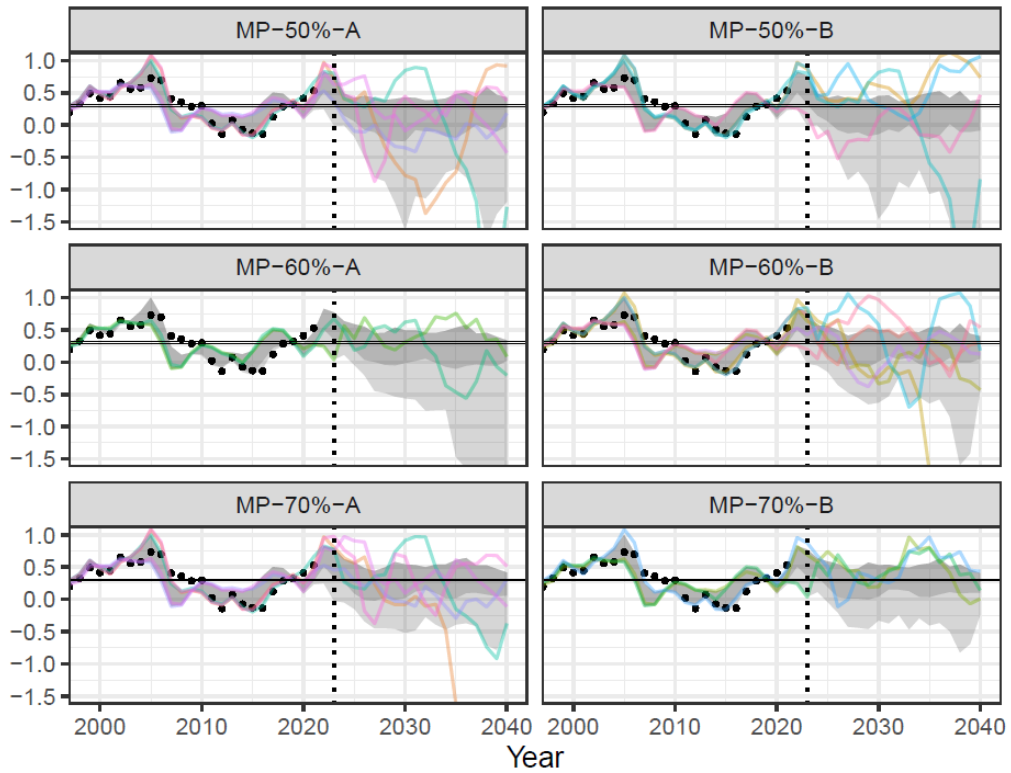


Figure 7 : Valeurs pour a_t calculées d'après les valeurs de PUE ajustées (avant 2023) et projetées vers l'avant dans le temps (à partir de 2023). Les quantiles de 75% et 95% de a_t pour les modèles opérationnels sont indiqués en ombré gris clair et foncé respectivement, avec un échantillon aléatoire de trajectoires individuelles indiquées en couleur. Les points avant 2023 sont calculés directement à partir de la série temporelle d'entrée de PUE. La valeur de référence $a^{\text{REF}} = 0,314$ (Équation 1a), indiquée par une ligne horizontale, est la valeur par rapport à laquelle la PG mesure les changements de l'état du stock.

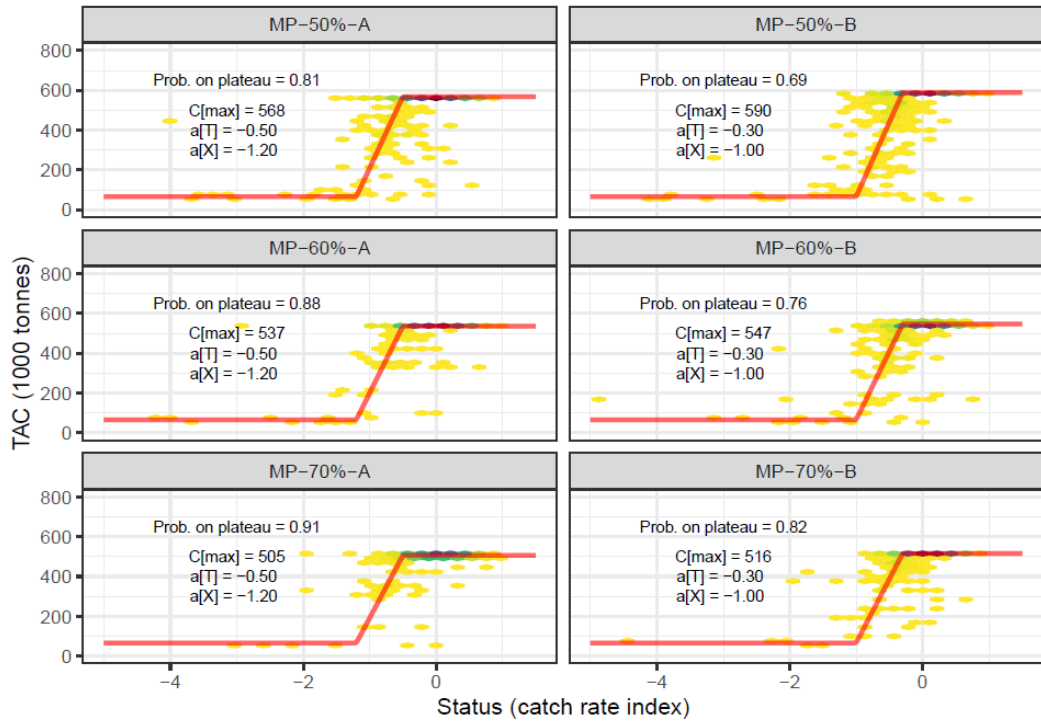
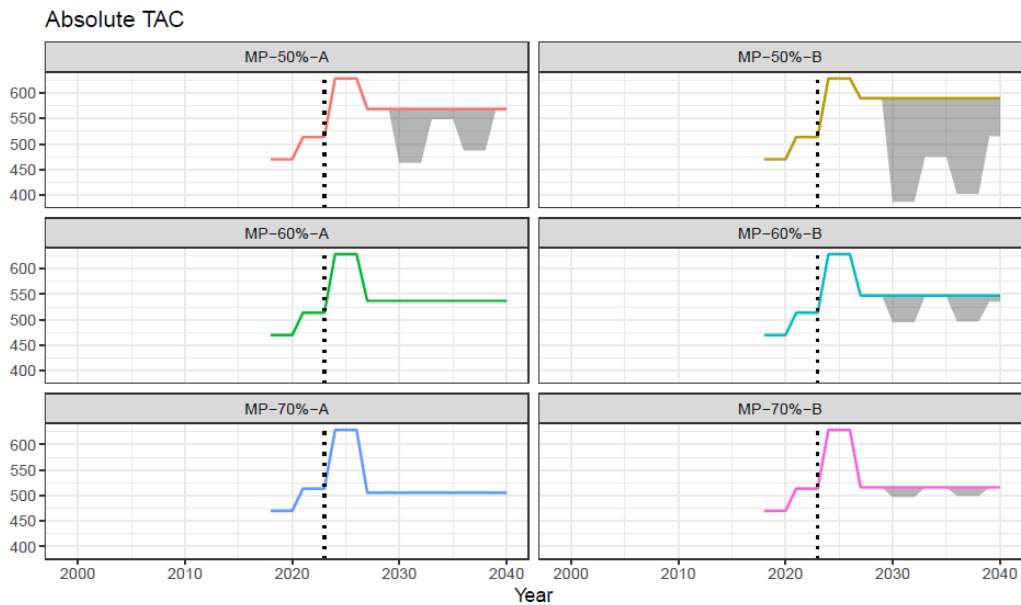
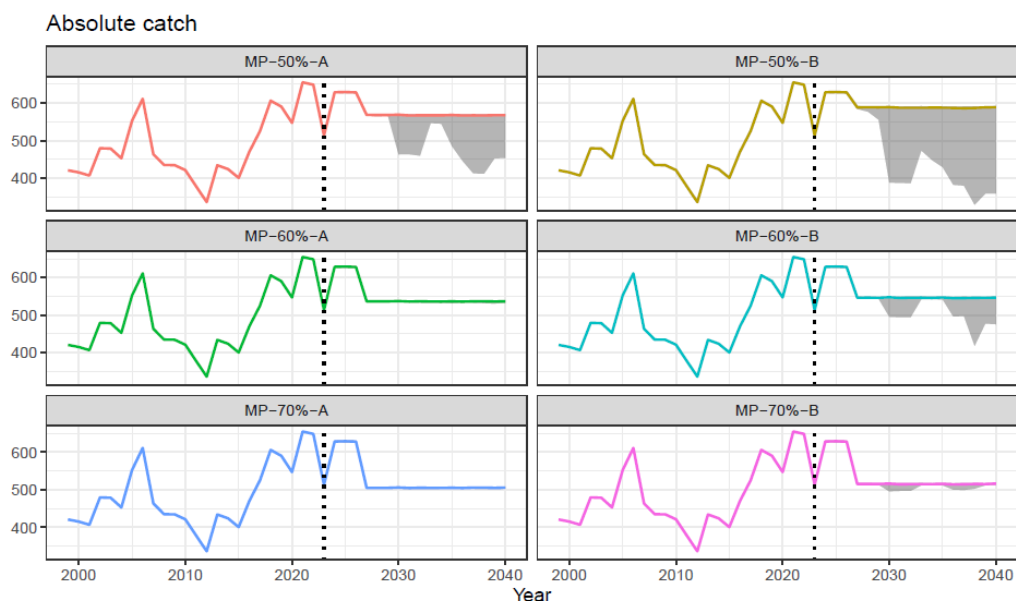


Figure 8 : Relation entre l'état du stock, tel que mesuré par la valeur de l'indice du taux de capture a_y , et le TAC pour chacune des PG du Tableau 3. La HCR pour chaque PG est représentée schématiquement en rouge, et la distribution des états en tant qu'histogramme bidimensionnel, les couleurs plus foncées indiquant une plus grande fréquence. Dans tous les cas, le TAC par an est le plus souvent sur le plateau (c.-à-d. égal à C_{max}), mais cette probabilité varie selon les PG, en fonction des valeurs de C_{max} et de $\{a_T, a_X\}$.

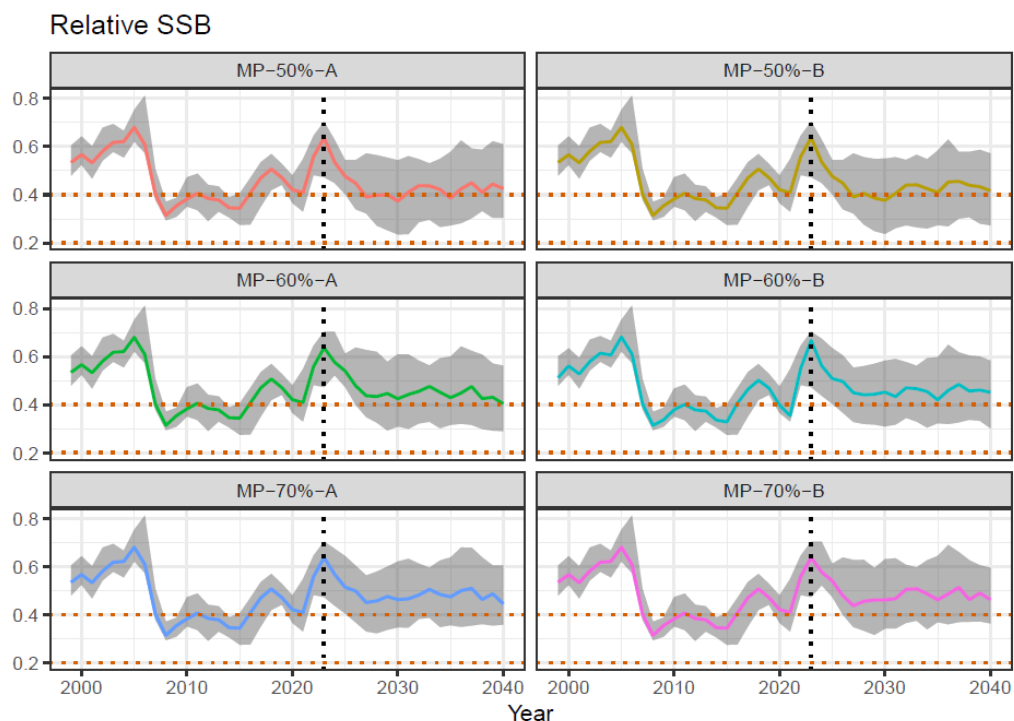


(a) TAC recommandé dans le temps pour chaque PG.

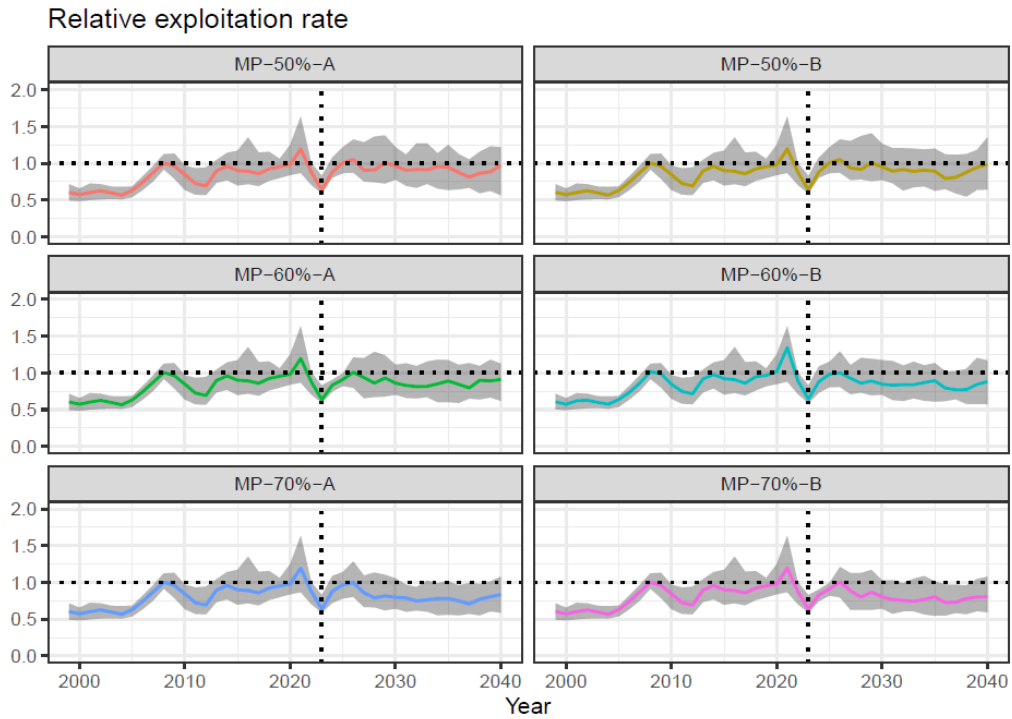


(b) Captures réalisées dans le temps pour chaque PG

Figure 9 : TAC recommandé et captures réalisées au fil du temps pour chaque PG. Le TAC de 2023 à 2026 a été fixé aux valeurs connues répertoriées au Tableau 1. Aucune erreur d'excédent de captures n'a été appliquée pour la projection à partir de 2023, ce qui représente la faible capture réalisée en 2023. La valeur de la médiane pour chaque projection est indiquée par une ligne en couleur, le quantile de 95% pour les modèles opérationnels est indiqué en gris.

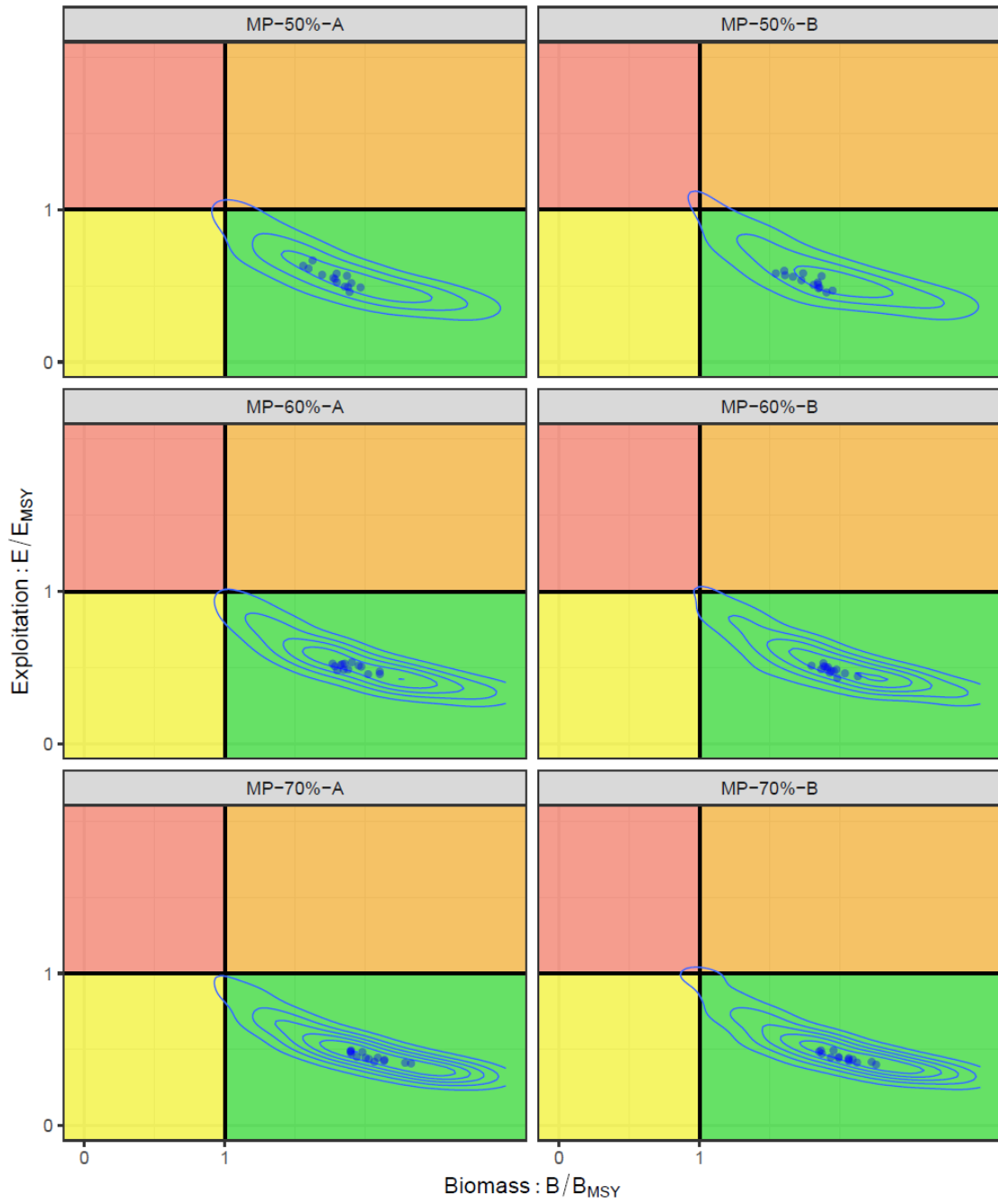


(a) Épuisement de la biomasse du stock reproducteur B_y/B_0 par rapport aux points de référence de 40% et 20%.

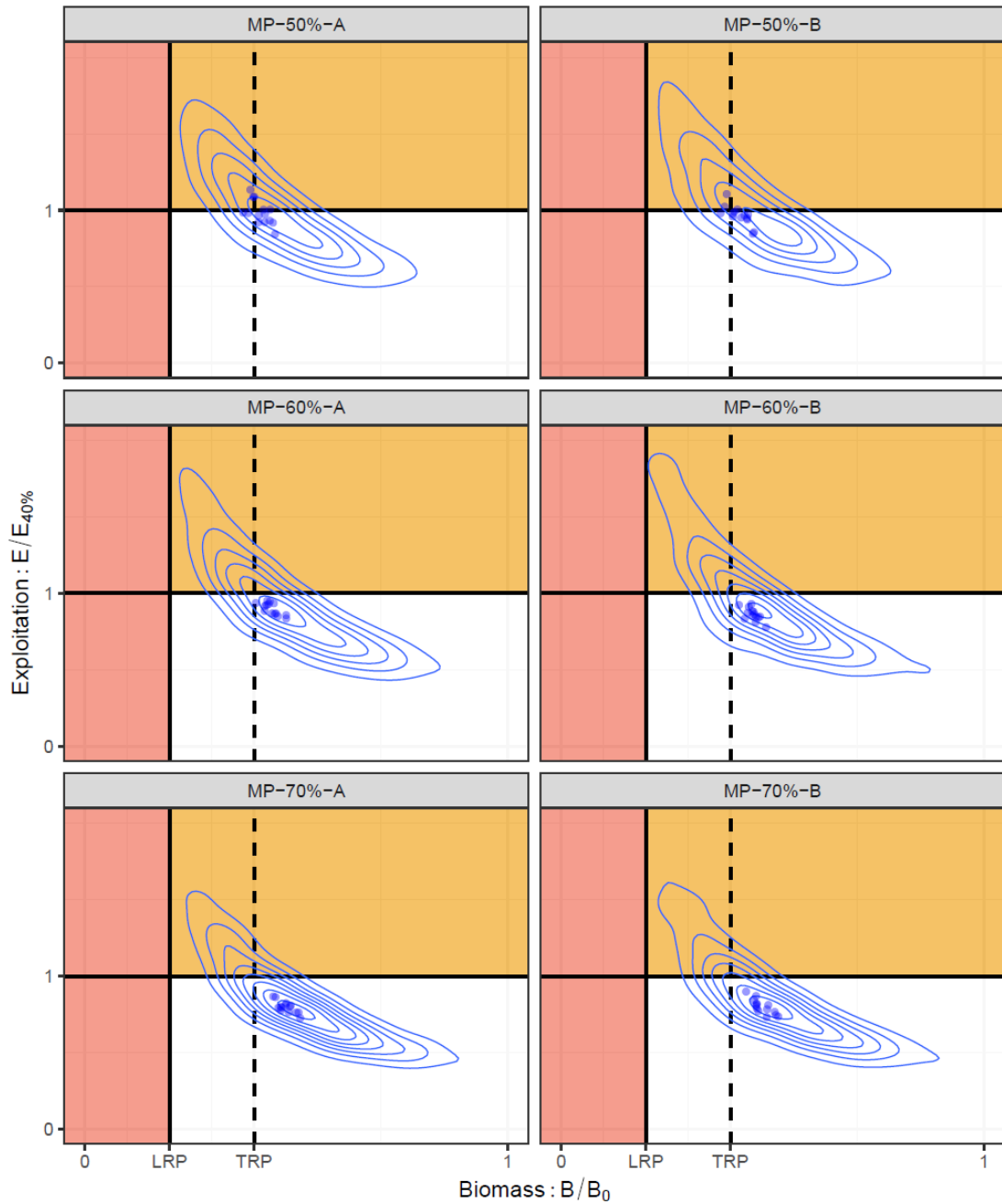


(b) Taux d'exploitation E_y , mesuré comme une proportion des individus +1 capturés, par rapport au point de référence $E_{40\%}$.

Figure 10 : Projections de l'état du stock pour chaque PG. La valeur de la médiane pour chaque projection est indiquée par une ligne en couleur, le quantile de 95% pour les modèles opérationnels est indiqué en grisé.



(a) Diagrammes de phase de Kobe



(b) Diagrammes de phase de Majuro

Figure 11 : Diagrammes de phase de Kobe (panneau supérieur) et de Majuro (panneau inférieur) pour les PG calibrées répertoriées au Tableau 3. Les contours indiquent un histogramme bidimensionnel de l'état du stock sur toutes les années pour lesquelles la PG a été utilisée pour établir les captures (c.-à-d. 2027 à 2040), 18 scénarios de modèles opérationnels et trois itérations stochastiques pour chaque scénario. Les points bleus indiquent les valeurs de la médiane par an et PG pour chaque PG. Les matrices de Kobe et de Majuro diffèrent dans les points de référence utilisés pour diagnostiquer l'état du stock. La matrice de Kobe est définie en utilisant les points de référence basés sur la PME, B_{PME} et E_{PME} , alors que le diagramme de Majuro utilise les points de référence cible et limite (PRC et PRL) équivalant à $B_{40\%}$ et $B_{20\%}$ respectivement. Les estimations pour $B_{40\%}$, $B_{20\%}$ et B_{PME} et les taux d'exploitation associés ont été obtenus à partir de

l'évaluation du stock et sont répertoriés au Tableau 2.

Tableau 4 : Résultats des diagnostics pour les évaluations des PG sur une période de projection de 14 ans (2027 à 2040). Chaque statistique de performance est générée en calculant tout d'abord la statistique récapitulative par scénario et itération sur les années de projection, puis en rapportant la médiane et les quantiles de 80% sur ces valeurs – à moins que la statistique ne soit une probabilité, auquel cas elle est calculée proportionnellement sur l'ensemble des années de projection, scénarios et itérations simultanément. Pour les statistiques de stabilité des captures, seules cinq années de mise en œuvre du TAC (2027, 2030, 2033, 2036 et 2039 inclus) ont été utilisées et calculées par rapport au TAC précédent.

Performance Statistic	Description	Summary statistic
Catch		
C_y^{TAC}	Total Allowable Catch (three years)	Mean
C	Total realised catch	Mean
$C_{[PL]}$	Catch for PL fleet	Mean
$C_{[PSLS]}$	Catch for PSLS fleet	Mean
$C_{[PSFS]}$	Catch for PSFS fleet	Mean
$C_y/C_{40\%}$	Catch rel. to target	Geometric mean
C_y/C_{MSY}	Catch rel. to MSY	Geometric mean
Catch stability (TAC years only)		
$C_y^{TAC} \neq C_{y-1}^{TAC}$	n. TAC changes	Count
$ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 $	TAC change	Mean % change
Max. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 $	Max. TAC change	Max. % change
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 10\%$	TAC change > 10%	Probability
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 5\%$	TAC change > 5%	Probability
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 = 15\%$	TAC change at limit	Probability
Catch rate		
$CPUE_{[PL]}$	CPUE for PL fleet	Geometric mean
$CPUE_{[PSLS]}$	CPUE for PSLS fleet	Geometric mean
Exploitation rate		
E_y	Exploitation rate	Geometric mean
$E_y/E_{40\%}$	Exploitation rel. to target	Geometric mean
E_y/E_{MSY}	Exploitation rel. to MSY	Geometric mean
Stock biomass		
B_y	Stock biomass	Mean
B_y/B_0	Depletion rel. to B_0	Geometric mean
B_y/B_{MSY}	Depletion rel. to B_{MSY}	Geometric mean
B_{MIN}/B_0	Min. depletion	Minimum
Pr. $> B_{20\%}$	$B_y > B_{20\%}$	Probability
Pr. $> B_{10\%}$	$B_y > B_{10\%}$	Probability
Target Quadrant		
Pr. Target Quadrant	$B_y > B_{40\%}$ and $E_y < E_{40\%}$	Probability
Kobe Quadrants		
Pr. Kobe Red	$B_y < B_{MSY}$ and $E_y > E_{MSY}$	Probability
Pr. Kobe Green	$B_y > B_{MSY}$ and $E_y < E_{MSY}$	Probability
Majuro Quadrants		
Pr. Majuro Red	$B_y < B_{20\%}$	Probability
Pr. Majuro White	$B_y > B_{20\%}$ and $E_y < E_{40\%}$	Probability

Tableau 5 : Résultats des diagnostics pour évaluer les PG basées sur un indice avec une probabilité de calibrage cible de 70% (voir le Tableau 3 pour la liste des définitions des PG et le Tableau 4 pour une description de chaque diagnostic).

Performance Statistic	Units	MP-70%-A	MP-70%-B
$C_{y+1:3}^{TAC}$	10 ³ tonnes	526.32 (494.46 - 526.32)	531.49 (480.12 - 534.50)
C	10 ³ tonnes	526.21 (493.73 - 526.72)	531.44 (479.73 - 534.82)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	106.20 (99.92 - 108.32)	106.66 (97.25 - 109.63)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	135.19 (129.42 - 148.20)	134.17 (125.61 - 148.66)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	25.56 (24.45 - 25.92)	25.55 (23.73 - 26.25)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	0.98 (0.86 - 1.11)	0.97 (0.84 - 1.12)
C_y/C_{MSY}	Proportion	0.90 (0.75 - 1.01)	0.87 (0.75 - 1.02)
$C_y^{TAC} \neq C_{y-1}^{TAC}$	Count	1.00 (1.00 - 3.00)	2.00 (1.00 - 4.00)
$ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 $	Percent	3.92 (3.92 - 20.43)	5.02 (3.59 - 38.86)
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 10\%$	Prob.	0.29	0.37
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 5\%$	Prob.	0.30	0.40
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 = 15\%$	Prob.	0.00	0.00
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.09 (0.07 - 0.12)	0.09 (0.08 - 0.12)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	21.32 (17.50 - 27.41)	21.76 (17.88 - 26.73)
E_y	Rate	0.46 (0.37 - 0.56)	0.44 (0.38 - 0.55)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	0.82 (0.65 - 1.04)	0.79 (0.66 - 1.07)
E_y/E_{MSY}	Proportion	0.47 (0.30 - 0.70)	0.47 (0.30 - 0.68)
B_y	10 ³ tonnes	1063.14 (851.82 - 1343.93)	1082.38 (881.95 - 1300.29)
B_y/B_0	Proportion	0.48 (0.35 - 0.60)	0.49 (0.38 - 0.58)
B_y/B_{MSY}	Proportion	2.01 (1.46 - 2.84)	2.10 (1.43 - 2.85)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.96	0.96
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.98	0.98
Pr. Target Quadrant	Prob.	0.69	0.71
Pr. Kobe Red	Prob.	0.05	0.04
Pr. Kobe Green	Prob.	0.93	0.93
Pr. Majuro Red	Prob.	0.04	0.04
Pr. Majuro White	Prob.	0.94	0.94

Tableau 6 : Résultats des diagnostics pour évaluer les PG basées sur un indice avec une probabilité de calibrage cible de 60% (voir le Tableau 3 pour la liste des définitions des PG et le Tableau 4 pour une description de chaque diagnostic).

Performance Statistic	Units	MP-60%-A	MP-60%-B
$C_{y+1:3}^{TAC}$	10 ³ tonnes	550.88 (497.13 - 550.88)	544.99 (485.24 - 559.07)
C	10 ³ tonnes	550.59 (497.21 - 551.28)	544.09 (473.37 - 559.33)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	110.63 (102.78 - 113.27)	109.11 (95.78 - 114.55)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	138.99 (128.38 - 155.11)	140.03 (117.73 - 151.34)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	26.60 (24.77 - 27.11)	26.01 (23.41 - 27.42)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	1.01 (0.88 - 1.12)	0.99 (0.72 - 1.10)
C_y/C_{MSY}	Proportion	0.90 (0.77 - 1.03)	0.88 (0.68 - 1.02)
$C_y^{TAC} \neq C_{y-1}^{TAC}$	Count	1.00 (1.00 - 3.00)	2.00 (1.00 - 4.00)
$ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 $	Percent	2.92 (2.92 - 22.69)	9.02 (2.58 - 60.36)
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 10\%$	Prob.	0.31	0.43
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 5\%$	Prob.	0.33	0.45
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 = 15\%$	Prob.	0.00	0.00
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.09 (0.07 - 0.11)	0.09 (0.07 - 0.12)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	20.42 (16.10 - 25.88)	20.39 (16.46 - 26.21)
E_y	Rate	0.48 (0.40 - 0.64)	0.47 (0.40 - 0.58)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	0.85 (0.70 - 1.26)	0.85 (0.68 - 1.14)
E_y/E_{MSY}	Proportion	0.51 (0.32 - 0.82)	0.49 (0.33 - 0.68)
B_y	10 ³ tonnes	1019.34 (822.50 - 1267.61)	1011.07 (813.26 - 1272.43)
B_y/B_0	Proportion	0.46 (0.35 - 0.57)	0.45 (0.35 - 0.56)
B_y/B_{MSY}	Proportion	1.97 (1.28 - 2.77)	1.95 (1.28 - 2.72)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.94	0.94
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.97	0.98
Pr. Target Quadrant	Prob.	0.62	0.62
Pr. Kobe Red	Prob.	0.08	0.07
Pr. Kobe Green	Prob.	0.90	0.90
Pr. Majuro Red	Prob.	0.06	0.06
Pr. Majuro White	Prob.	0.91	0.91

Tableau 7 : Résultats des diagnostics pour évaluer les PG basées sur un indice avec une probabilité de calibrage cible de 50% (voir le Tableau 3 pour la liste des définitions des PG et le Tableau 4 pour une description de chaque diagnostic).

Performance Statistic	Units	MP-50%-A	MP-50%-B
$C_{y+1:3}^{TAC}$	10 ³ tonnes	561.60 (483.76 - 575.44)	543.80 (478.81 - 591.82)
C	10 ³ tonnes	555.22 (445.76 - 575.80)	536.35 (464.91 - 591.90)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	112.02 (89.92 - 118.31)	109.41 (93.03 - 119.55)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	144.16 (110.31 - 157.49)	142.07 (117.84 - 158.68)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	26.81 (23.19 - 28.31)	26.44 (22.78 - 28.85)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	0.98 (0.62 - 1.12)	0.97 (0.69 - 1.14)
C_y/C_{MSY}	Proportion	0.89 (0.57 - 1.03)	0.86 (0.62 - 1.04)
$C_y^{TAC} \neq C_{y-1}^{TAC}$	Count	2.50 (1.00 - 3.70)	3.00 (1.00 - 4.70)
$ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 $	Percent	7.39 (1.91 - 61.03)	18.25 (1.24 - 94.10)
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 10\%$	Prob.	0.24	0.33
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 5\%$	Prob.	0.44	0.54
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 = 15\%$	Prob.	0.00	0.00
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.08 (0.06 - 0.10)	0.08 (0.06 - 0.11)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	18.82 (13.94 - 24.20)	18.92 (15.03 - 23.88)
E_y	Rate	0.53 (0.41 - 0.68)	0.52 (0.43 - 0.67)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	0.95 (0.68 - 1.40)	0.92 (0.70 - 1.38)
E_y/E_{MSY}	Proportion	0.52 (0.33 - 0.85)	0.52 (0.35 - 0.86)
B_y	10 ³ tonnes	944.39 (740.49 - 1210.01)	945.82 (725.51 - 1207.86)
B_y/B_0	Proportion	0.43 (0.27 - 0.55)	0.42 (0.28 - 0.54)
B_y/B_{MSY}	Proportion	1.79 (0.96 - 2.63)	1.77 (1.08 - 2.60)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.90	0.91
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.96	0.96
Pr. Target Quadrant	Prob.	0.50	0.50
Pr. Kobe Red	Prob.	0.11	0.11
Pr. Kobe Green	Prob.	0.85	0.83
Pr. Majuro Red	Prob.	0.10	0.09
Pr. Majuro White	Prob.	0.86	0.85

Conclusions et travaux futurs

Ce rapport présente les diagnostics de performance des six PG candidates, à la suite de simulations avec un ensemble actualisé de modèles opérationnels. Ces PG ont été calibrées sur les critères de calibrage du quadrant cible de 50%, 60% et 70%. Les critères de calibrage qui sont utilisés détermineront, dans une grande mesure, l'état du stock à long terme. Toutefois, dans chaque critère, deux PG ont été présentées avec une dynamique du TAC plus ou moins stable. Ces six PG constituent les candidates initiales pour la potentielle gestion de la pêcherie de listao, dans l'attente de tests de robustesse complémentaires.

Tests de robustesse

Les deux principales incertitudes relatives à la performance de la PG pour le listao sont les excédents de captures (c.-à-d. des captures supérieures à la recommandation) et un échec du recrutement potentiel. Les excédents de captures suscitent des préoccupations constantes (Tableau 1) qui doivent être dissipées soit au niveau de la gouvernance soit à travers la modération de l'avis scientifique (c.-à-d. une réduction des captures recommandées). L'échec du recrutement est un sujet de préoccupation en raison des corrélations présumées entre le recrutement du listao et les conditions environnementales dans l'océan Indien (Marsac, 2023a,b), qui pourraient être défavorable à l'avenir.

En se fondant sur les discussions tenues par le GTM (IOTC, 2023a), l'approche adoptée par Edwards (2023a) a consisté à calibrer les PG sans inclure l'erreur d'excédent de captures et à tester ensuite l'impact de l'excédent de captures dans le cadre des tests de robustesse ultérieurs. Cette approche a été présentée au CTPG (IOTC, 2023d) et il a été recommandé que les futurs tests supposent des erreurs d'excédent de captures de l'ordre de 20% – 30%. Le CTPG a également demandé d'inclure les changements du recrutement temporellement corrélés en tant que test de robustesse. Cela viserait à étudier les conséquences d'un déclin soutenu du recrutement du listao du fait de conditions environnementales défavorables. Il est prévu de présenter ces deux tests de robustesse au CTPG en mai 2024.

Le GTTT de la CTOI (2023c) a discuté d'un test de robustesse final, incluant une augmentation de la capturabilité pour la flottille de PSLS dans le temps. Une augmentation de la capturabilité atténuerait tout changement observé dans l'indice de PUE survenant à la suite du déclin du stock, rendant l'indice de moins en moins fiable au fil du temps. Elle pourrait donc affaiblir la performance des PG testées ici. Il a été convenu au GTTT que la conséquence des changements de la capturabilité devrait être étudiée en tant que test de robustesse.

Développement complémentaire des PG

En plus des tests de robustesse décrits ci-dessus, des travaux de développement complémentaires sont requis. En premier lieu, l'influence des différentes limites de changement en pourcentage devrait être examinée (les paramètres de calibrage ΔTAC_{\min} et ΔTAC_{\max}) comme défini par le GTM (IOTC, 2023b). Le GTM a également demandé de spécifier le processus de standardisation des PUE, par lequel les indices de PL et de PSLS sont générés, dans le cadre de la définition des PG. Tout changement substantiel du processus de standardisation pourrait alors être utilisé pour invoquer des circonstances exceptionnelles. Finalement, les circonstances exceptionnelles devraient elles-mêmes être intégralement décrites. Il est prévu de présenter ces travaux additionnels au CTPG en mai 2024.

Remerciements

Ces travaux ont reçu des commentaires appréciés des membres du GTM et du CTPG. Je tiens particulièrement à remercier Dan Fu (CTOI) pour avoir fourni les fichiers SS III, Iago Mosqueira (Wageningen University & Research) et Alistair Dunn (Ocean Environmental Ltd.) pour leur assistance informatique ainsi que les autres collègues travaillant sur l'ESG pour la CTOI (Iago Mosqueira, Richard Hillary, Ann Preece et Ashley Williams) pour leur aide. Le cadre de simulation qui a été utilisé jusqu'à présent se base sur un ensemble de modèles opérationnels de SS III (Methot Jr. & Wetzel, 2013, version 3.30.22), appelés dans R (équipe de base R, 2021) et utilisant le progiciel R r4ss (Taylor et al., 2021).

Ce projet a été financé par la CTOI sous le code de projet MTF/INT/661/MUL (TFAA970097099).

Références

- Adam, S., Bentley, N., 2013. Progress and arrangements for Management Strategy Evaluation work of Indian Ocean Skipjack Tuna. *Research Report (IOTC-2013-WPTT15-42)*
- Bentley, N.; Adam, S. (2014a). Management procedure evaluation for the Indian Ocean skipjack tuna fishery: model description and conditioning. *Research Report (IOTC-2014-WPM05-08)*
- Bentley, N.; Adam, S. (2014b). Management Strategy Evaluation for Indian ocean skipjack tuna: first steps. *Research Report (IOTC-2014-WPTT16-39)*
- Bentley, N.; Adam, S. (2015). An operating model for the Indian Ocean skipjack tuna fishery. *Research Report (IOTC-2015-WPTT17-35)*
- Bentley, N.; Adam, S. (2016). Management strategy evaluation for the Indian Ocean skipjack tuna Fishery. *Research Report (IOTC-2016-WPM07-15 Rev 1)*
- Edwards, C.T.T. (2020a). Applications of a Bayesian biomass dynamic model to Indian Ocean Skipjack Tuna. *Research Report (IOTC-2020-WPM11-09)*
- Edwards, C.T.T. (2020b). Developments toward an MSE framework for Indian Ocean skipjack tuna using Stock Synthesis III. *Research Report (IOTC-2020-WPM11-10)*
- Edwards, C.T.T. (2021a). Evaluations of an empirical MP for Indian Ocean Skipjack. *Research Report (IOTC-2021-WPM12-10)*
- Edwards, C.T.T. (2021b). Initial developments of an empirical MP for Indian Ocean Skipjack Tuna. *Research Report (IOTC-2021-TCMP04-07)*
- Edwards, C.T.T. (2022a). Further evaluations of an empirical MP for Indian Ocean Skipjack Tuna. *Research Report (IOTC-2022-WPM13(MSE)-07)*
- Edwards, C.T.T. (2022b). Presentation of an empirical MP for Indian Ocean skipjack tuna. *Research Report (IOTC-2022-TCMP05-09)*
- Edwards, C.T.T. (2022c). Presentation of empirical MPs for Indian Ocean skipjack tuna accounting for implementation error. *Research Report (IOTC-2022-WPM13-09)*
- Edwards, C.T.T. (2023a). Candidate empirical MPs for Indian Ocean skipjack tuna. *Research Report (IOTC-2023-TCMP06-08)*
- Edwards, C.T.T. (2023b). Initial robustness trial of empirical MPs for Indian Ocean skipjack tuna. *Research Report (IOTC-2023-WPM14(MSE)-03)*
- Edwards, C.T.T. (2023c). Status of MP development for Indian Ocean skipjack tuna. *Research Report (IOTC-2023-WPM14-16)*
- Eveson, J.P. (2011). Preliminary application of the Brownie-Petersen method to skipjack tag-recapture data. *Research Report (IOTC-WPTT-2011-30)*
- Fu, D. (2017). Indian Ocean Skipjack Tuna stock assessment 1950–2016 (Stock Synthesis). *Research Report (IOTC-2017-WPTT19-47 Rev 1)*
- Fu, D. (2020). Preliminary Indian Ocean Skipjack Stock Assessment (Stock Synthesis). *Research Report (IOTC-2020-WPTT22(AS)-10)*
- Fu, D. (2023). Indian Ocean skipjack tuna stock assessment 1950-2022 (Stock Synthesis). *Research Report (IOTC-2023-WPTT25-09)*
- Geromont, H.F.; Butterworth, D.S. (2015). Complex assessments or simple management procedures for efficient fisheries management: a comparative study. *ICES Journal of Marine Science* 72 (1): 262–274.
- Guery, L. (2020). Standardized purse seine CPUE of skipjack in the Indian Ocean for the European fleet. *Research Report (IOTC-2020-WPTT22(AS)-INF04)*
- Guery, L.; Aragno, V.; Kaplan, D.; M., G.; Baez, J.; Abascal, F.; J., U.; Marsac, F.; Merino, G.; Gaertner, D. (2020). Skipjack CPUE series standardization by fishing mode for the European purse seiners operating in the Indian Ocean. *Research Report (IOTC-2020-WPTT22(DP)-12)*
- Hillary, R.M. (2008). Models for exploring the information content of the RTTP-IO tagging data. *Research Report (IOTC-WPTT-2008-16)*
- IOTC (2015). IOTC Conservation and Management Measures, Resolution 15/10, On Target and Limit Reference Points and a Decision Framework. *IOTC-2015-CMM-R[E]*

- IOTC (2016). IOTC Conservation and Management Measures, Resolution 16/02, On Harvest Control Rules for Skipjack in the IOTC Area of Competence. *IOTC-2016-CMM-R[E]*
- IOTC (2017). Calculation of Skipjack catch limit for the period 2018-2020 using the harvest control rule adopted in Resolution 16/02. *IOTC-2017-SC20-12 Rev 1*
- IOTC (2018). Report of the 9th Session of the IOTC Working Party on Methods. Eden Island, Seychelles, 25-27 October 2018. *IOTC-2018-WPM09-R[E]*
- IOTC (2021a). IOTC Conservation and Management Measures, Resolution 21/03, On Harvest Control Rules for Skipjack in the IOTC Area of Competence. *IOTC-2021-CMM-R[E]*
- IOTC (2021b). Report of the 12th Session of the IOTC Working Party on Methods (Management Strategy Evaluation Task Force). Virtual Meeting, 1-5 March 2021. *IOTC-2021-WPM12(MSE)-R[E]*
- IOTC (2021c). Report of the 12th Session of the IOTC Working Party on Methods. Online, 18-20 October 2021. *IOTC-2021-WPM12-R[E]*
- IOTC (2021d). Report of the 4th IOTC Technical Committee on Management Procedures. Virtual Meeting, 4 - 5 June 2021. *IOTC-2021-TCMP04-R[E]*
- IOTC (2022a). Report of the 13th Session of the IOTC Working Party on Methods. Online, 19-21 October 2022. *IOTC-2022-WPM13-R[E]*
- IOTC (2022b). Report of the 5th IOTC Technical Committee on Management Procedures. Seychelles, 13-14 May 2022. *IOTC-2022-TCMP05-R[E]*
- IOTC (2023a). Report of the 14th Session of the IOTC Working Party on Methods (Management Strategy Evaluation Task Force). Amsterdam, 28 - 31 March 2023. *IOTC-2023-WPM14(MSE)-R[E]*
- IOTC (2023b). Report of the 14th Session of the IOTC Working Party on Methods. San Sebastian, Spain, 26 - 28 October 2023. *IOTC-2023-WPM14-R[E]*
- IOTC (2023c). Report of the 25th Session of the IOTC Working Party on Tropical Tunas. San Sebastian, Spain, 30 October - 4 November 2023. *IOTC-2023-WPTT25-R[E]*
- IOTC (2023d). Report of the 6th IOTC Technical Committee on Management Procedures. Mauritius, 5-6 May 2023. *IOTC-2023-TCMP06-R[E]*
- Kaplan, D.M.; Grande, M.; Alonso, M.L.R.; B´aez, J.C.; Uranga, J.; Duparc, A.; Imzilen, T.; Floch, L.; Santiago, J. (2023). CPUE standardization for skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the EU purse-seine fishery on floating objects (FOB) in the Indian Ocean. *Research Report (IOTC-2023-WPTT25(DP)-11-Rev1)*
- Marsac, F. (2023a). Environmental signal in skipjack tuna recruitment in the Indian Ocean. *Research Report (IOTC-2023-WPTT25(DP)-09)*
- Marsac, F. (2023b). Environmental signal in skipjack tuna recruitment in the Indian Ocean: An updated analysis using the SS3-assessment outputs of 2023. *Research Report (IOTC-2023-WPTT25-22)*
- Maunder, M.; Hoyle, S. (2023). Tuna Stock Assessment Good Practices Workshop. 7-10 March, Wellington, New Zealand. *Information Document (IOTC-2023-WPTT25(DP)-14)*
- Medley, P.; Ahusan, M.; Adam, S. (2020a). Addendum to IOTC-2020-WPTT22(DP)-11. *Research Report (IOTC-2020-WPTT22(AS)-INF05)*
- Medley, P.; Ahusan, M.; Adam, S. (2020b). Bayesian Skipjack and Yellowfin Tuna CPUE Standardisation Model for Maldives Pole and Line 1970-2019. *Research Report (IOTC-2020-WPTT22(DP)-11)*
- Medley, P.; Ahusan, M.; Adam, S. (2023). Bayesian Skipjack and Yellowfin Tuna CPUE Standardisation Model for Maldives Pole and Line 1995-2022. *Research Report (IOTC-2023-WPTT25(DP)-13)*
- Methot Jr., R.; Wetzel, C. (2013). Stock synthesis: A biological and statistical framework for fish stock assessment and fishery management. *Fisheries Research* 142: 86-99.
- Polacheck, T.; Eveson, J.P.; Laslett, G.M.; Pollock, K.H.; Hearn, W.S. (2006). Integrating catch-at-age and multiyear tagging data: a combined brownie and petersen estimation approach in a fishery context. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63 (3): 534-548.
- R Core Team (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Version 4.0.5
- SC (2017). Report of the 20th Session of the IOTC Scientific Committee. Seychelles, 30 November - 4

- December 2017. *IOTC-2017-SC20-R[E]*
- SC (2018). Report of the 21st Session of the IOTC Scientific Committee. Seychelles, 3 – 7 December 2018. *IOTC-2018-SC21-R[E]*
- SC (2020). Report of the 23rd Session of the IOTC Scientific Committee. Online, 7 – 11 December 2020. *IOTC-2020-SC23-R[E]*
- SC (2023). Report of the 26th Session of the IOTC Scientific Committee. India, 4 – 8 December 2023 . *IOTC-2023-SC26-R[E]*
- Taylor, I.G.; Doering, K.L.; Johnson, K.F.; Wetzel, C.R.; Stewart, I.J. (2021). Beyond visualizing catch-at-age models: Lessons learned from the r4ss package about software to support stock assessments. *Fisheries Research* 239: 105924.
- Zhou, S.; Punt, A.E.; Smith, A.D.M.; Ye, Y.; Haddon, M.; Dichmont, C.M.; Smith, D.C. (2017). An optimized catch-only assessment method for data poor fisheries. *ICES Journal of Marine Science* 75 (3): 964–976.