

Présentation d'une PG empirique pour le listao de l'océan Indien

Préparé pour la Commission des thons de l'océan Indien

11 avril 2022

Rapport préparé par :

Charles T T Edwards

Pour toute information concernant ce rapport,
veuillez contacter l'auteur à l'adresse suivante :

CESCAPE Consultancy Services

32 Waihoanga Road

Otaki 5582

Nouvelle-Zélande

Email : cescapecs@gmail.com

Téléphone : +64-21-575879

Rapport du client CESCAPE

Code de 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 juin2022

Date du rapport : 11 avril2022

Préparé pour : Comité technique de la CTOI sur les procédures de gestion,
mai 2022

Contenu

1. Introduction.....	1
2. PG empirique	2
2.1. Données d'entrée	2
2.2. Règle d'exploitation	2
2.3. Paramètres de réglage de la HCR	3
3. Cadre d'évaluation des simulations.....	5
3.1. Modèles opérationnels	5
3.2. Mise en œuvre de la capture	5
3.3. Dimensions	6
3.4. Diagnostics.....	6
3.5. Réglage.....	6
3.6. Tests de robustesse.....	6
3.6.1. Erreur de mise en œuvre	6
3.6.2. Baisse du recrutement	7
4. Résultats.....	7
4.1. Réglage et sélection des PG.....	7
4.2. Robustesse.....	13
4.2.1. Erreur de mise en œuvre	14
4.2.2. Baisse du recrutement	17
5. Résumé	20
6. Remerciements	21
7. Références.....	22
A. Gestion actuelle	24
B. Exécution du modèle et paramètres de réglage.....	25
C. Résultats de diagnostic	26

Contexte et objectifs du projet

L'objectif principal de ce travail est d'élaborer une procédure de gestion (PG) pour le listao de l'océan Indien (SKJ), qui comprend la spécification des données d'entrée, de la règle d'exploitation (HCR) et des résultats de gestion, et qui a été entièrement testée en utilisant un cadre de simulation approprié.

Suite à la présentation de travaux d'élaboration au Groupe de travail sur les méthodes (GTM ; Edwards, 2020, CTOI, 2020a) et au Comité technique sur les procédures de gestion (CTPG ; Edwards, 2021b, CTOI, 2021c), dans lesquels un cadre de simulation approprié a été proposé, des évaluations d'une PG empirique ont été présentées au GTM (Edwards, 2021a), et à la task force sur l'ESG (Edwards, 2022). Le présent travail présente un résumé de ces travaux et propose un ensemble de PG empiriques à examiner par le CTPG.

1. Introduction

Des procédures de gestion empiriques ont été proposées pour le SKJ de l'océan Indien par Edwards (2021b), sur la base des indices de CPUE des flottilles PL et PSLs, qui sont toutes deux utilisées de façon routinière dans les évaluations de l'état du stock (Fu, 2017, 2020). La performance des PG a été simulée dans le temps par Edwards (2021a,b, 2022) en utilisant un modèle opérationnel *Stock Synthesis III* pour générer la dynamique (voir Edwards, 2020 pour une justification de cette approche). L'incertitude structurelle, y compris les représentations spatiales alternatives, a été obtenue à partir de la grille de passes utilisée pour construire l'évaluation du stock par Fu (2020).

Les procédures de gestion ont été réglées en utilisant le quadrant vert de Kobe comme mesure de l'état du stock. Plus précisément, les PG ont été sélectionnées en utilisant la probabilité simulée que le stock se trouve dans le quadrant vert de Kobe entre 2030 et 2034 inclus. Sur la base des recommandations de la CTOI (2021c), des critères de réglage correspondant à une probabilité de 50%, 60% et 70% ont été adoptés. Les diagnostics de performance ont été présentés conformément aux recommandations de la CTOI (2021a). Des tests de robustesse ont été construits sur la base des commentaires du Groupe de travail sur les méthodes (CTOI, 2021b). Ceux-ci ont examiné l'influence d'une erreur de mise en œuvre non prise en compte (surcapture du TAC) et d'une baisse inattendue du recrutement sur les performances des PG.

Points de référence et objectifs de gestion : Les points de référence pour le SKJ sont basés sur l'épuisement (CTOI, 2016), en raison des difficultés connues dans l'estimation du RMD (Rés. 15/10, CTOI, 2015). Le point de référence cible (TRP) est $B_{40\%}$, soit la biomasse du stock reproducteur à 40% de B_0 . Le taux d'exploitation associé est $E_{40\%}$. Le point de référence limite (LRP) est $B_{20\%}$, avec un taux d'exploitation associé de $E_{20\%}$. Les objectifs de gestion sont de "maintenir la biomasse du stock de listao à un niveau égal ou supérieur au point de référence cible tout en évitant le point de référence limite" (CTOI, 2015).

Tableau 1 : Termes utilisés pour la description de la PG et de l'évaluation des performances. L'indice y fait référence à l'année.

Notation	Description
Sortie	
$C_{y+1:3}^{TAC}$	Capture totale recommandée pour les années $y + 1$ à $y + 3$
Paramètres de réglage	
C_{min}, C_{max}	Sorties de captures min. et max.
a_x, a_T	Niveau de sécurité et valeurs seuils pour a_y
Entrées	
a_y	Moyenne des indices d'abondance log-normalisés PL et PSLs par an
Points de référence	
$C_{40\%}$	Capture associée à $B_{40\%}$
TRP	Point de référence-cible ($B_{40\%}$)
LRP	Point de référence-limite ($B_{20\%}$)

2. PG empirique

Les PG empiriques sont basées sur des modèles descriptifs des données brutes. Une PG a trois composantes principales, à savoir les données d'entrées, l'algorithme de décision (y compris la règle d'exploitation mais aussi les métarègles) et les résultats de gestion (Punt et al., 2016). Nous donnons ici un bref aperçu de l'algorithme de décision et des données d'entrée, une description plus complète étant fournie par Edwards (2021a,b). Un glossaire des termes est donné dans le tableau 1.

2.1. Données d'entrée

L'indicateur d'état du stock a_y a été calculé à partir des indices d'abondance log-normalisés PL et PSLs. Ceux-ci montrent des tendances similaires dans le temps, et nous calculons a_y comme la moyenne des deux indices log-normalisés sur les quatre saisons de l'année. Des travaux antérieurs ont montré que cet indicateur de l'état du stock a une relation forte, linéaire et positive avec l'épuisement du stock (Edwards, 2021b).

2.2. Règle d'exploitation

Dans le cadre de la PG, le calcul d'une capture recommandée à partir des données d'entrée se fait par le biais d'une règle d'exploitation (HCR). Dans le contexte actuel, la capture recommandée, ajustée en utilisant les valeurs d' a_y comme entrée :

$$C_{y+1:3}^{TAC} = \begin{cases} C_{max} & \text{for } a_y \geq a_T \\ (C_{max} - C_{min}) \times \frac{a_y - a_x}{a_T - a_x} + C_{min} & \text{for } a_x < a_y < a_T \\ C_{min} & \text{for } a_y \leq a_x \end{cases} \quad (1)$$

Pour les valeurs $a_y \leq a_x$, la prise recommandée est égale à C_{\min} . Au fur et à mesure que a_y augmente, la prise recommandée augmente également, jusqu'à ce que pour les valeurs $a_y \geq a_T$, la prise recommandée soit égale à C_{\max} . Un schéma de la relation entre a_y et le $C_{y+1:3}^{\text{TAC}}$ est donné à la figure 1.

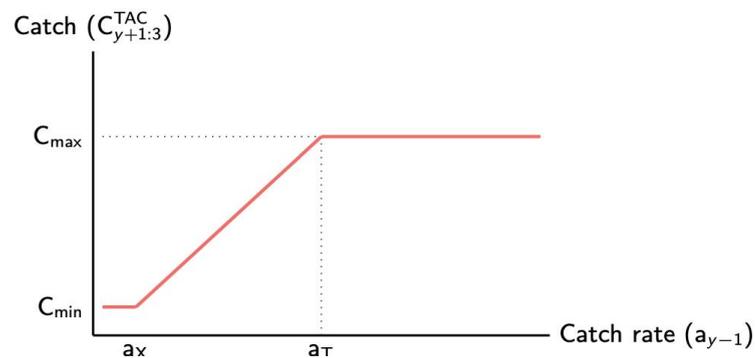


Figure 1 : Représentation schématique de la règle d'exploitation empirique (équation 2) proposée dans le cadre de la PG.

2.3. Paramètres de réglage de la HCR

La gestion actuelle du listao de l'océan Indien est informée par une HCR qui utilise l'épuisement de la biomasse comme entrée. Les paramètres d'ajustement spécifiés dans la Rés. 16/02 sont la valeur seuil (T) : l'épuisement de la biomasse reproductrice en dessous duquel la capture est diminuée par rapport à sa valeur maximale ; et la limite de sécurité (X) : le niveau en dessous duquel la pêche de non-subsistance est fermée. Ces valeurs sont fixées à $B_T = B_{40\%}$ et $B_X = B_{10\%}$ en supposant que les valeurs de $B_{40\%}$ et $B_{10\%}$ sont disponibles lorsque la HCR est exécutée.

La HCR empirique actuellement proposée remplace B_T et B_X par des valeurs équivalentes de a_T et a_x . Pour informer la sélection des paramètres de réglage a_x et a_T , la relation entre l'épuisement (B_y/B_0) et a_{y-1} a été estimée par Edwards (2021b). Sur la base de ces travaux antérieurs, $a_x = -5,00$ et $a_T = -1,70$ ont été sélectionnés comme paramètres de réglage appropriés pour la HCR.

Les informations sur l'historique de l'exploitation du stock, condensées dans l'évaluation du stock la plus récente, ont été utilisées pour sélectionner un niveau approprié pour la capture maximale C_{\max} . À partir de l'évaluation de Fu (2020), nous pouvons déduire que la $C_{40\%}$ déterministe $\approx 532\,075$ tonnes (tableau 2). Les valeurs proposées pour la capture maximale C_{\max} ont été informées par notre connaissance de $C_{40\%}$, la simulation étant ensuite utilisée pour sélectionner une valeur susceptible de produire le résultat de gestion souhaité (spécifié dans la section 3.5). La capture minimale a été fixée à $C_{\min} = 0,10 \times C_{40\%}$. Les valeurs précises de C_{\max} et C_{\min} testées dans le cadre du processus de réglage sont indiquées dans le tableau A2.

Tableau 2 : Estimations de l'état médian et du quantile de 80% sur vingt-quatre itérations du modèle (tableau A1), estimées à l'aide de SS3.30. Les valeurs des captures et de la biomasse sont données en milliers de tonnes. Ce tableau est équivalent aux résultats de l'évaluation des stocks donnés dans le tableau 3 de la CTOI (2020b). Les valeurs pour 2020 sont estimées en supposant une projection d'un an à partir de 2019 avec une exploitation égale à $E_{40\%}$.

Quantité	Médiane (quantiles de 80%)
B_0	1984,605 (1744,839 - 2486,458)
$B_{40\%}$	793,842 (697,935 - 994,582)
B_{2020}	969,478 (706,899 - 1280,479)
$C_{40\%}$	532,075 (474,135 - 663,049)
C_{2020}	635,185 (483,536 - 790,993)
$E_{40\%}$	0,597 (0,541 - 0,65)
E_{2020}	0,58 (0,532 - 0,643)
B_{2020}/B_0	0,464 (0,389 - 0,518)
$B_{2020}/B_{40\%}$	1,161 (0,972 - 1,295)
$C_{2020}/C_{40\%}$	1,14 (1,003 - 1,246)
$E_{2020}/E_{40\%}$	0,98 (0,947 - 1,011)

Tableau 3 : Résultats de diagnostic pour les évaluations de la PG sur une période de projection de 17 ans (2024 à 2040). Chaque statistique de performance est générée en calculant d'abord la statistique récapitulative par exécution et itération sur les années de projection, puis en rapportant la médiane et les quantiles de 80% sur ces valeurs - sauf si la statistique est une probabilité, auquel cas elle est calculée comme une proportion sur toutes les années de projection, exécutions et itérations simultanément. Pour les statistiques de stabilité des captures, seules six années de mise en œuvre du TAC (à partir de 2024 inclus) ont été utilisées.

Statistique de performance	Description	Statistique résumée
Capture		
$C_{y+1:3}^{TAC}$	Total admissible des captures	Moyenne
C	Capture totale réalisée	Moyenne
$C_{[PL]}$	Capture de la flotte de PL	Moyenne
$C_{[PSLS]}$	Capture de la flotte de PSLS	Moyenne
$C_{[PSFS]}$	Capture de la flotte de PSFS	Moyenne
$C_y/C_{40\%}$	Capture relative	Moyenne géométrique
Stabilité des captures (années TAC)		
$C_{y+1}^{TAC} \text{ not equal to } C_y^{TAC}$	n changement du TAC	Compte

$ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Changement du TAC	% changement moyen
Max. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Changement du TAC maximal	% changement maximal
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 30\%$	Changement du TAC > 30%	Probabilité
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 15\%$	Changement du TAC > 15%	Probabilité
Taux de capture		
$CPUE_{[PL]}$	CPUE de la flotte de PL	Moyenne géométrique
$CPUE_{[PSLS]}$	CPUE de la flotte de PSLs	Moyenne géométrique
Taux d'exploitation		
E_y	Taux d'exploitation	Moyenne géométrique
$E_y/E_{40\%}$	Taux d'exploitation relatif	Moyenne géométrique
Biomasse du stock		
B_y	Biomasse du stock	Moyenne
B_y/B_0	Épuisement	Moyenne géométrique
B_{MIN}/B_0	Épuisement minimum	Minimum
Pr $> B_{20\%}$	$B_y > B_{20\%}$	Probabilité
Pr $> B_{10\%}$	$B_y > B_{10\%}$	Probabilité
Quadrants de Kobe		
Pr Kobe vert	$B_y < B_{40\%}$ et $E_y > E_{40\%}$	Probabilité
Pr Kobe rouge	$B_y > B_{40\%}$ et $E_y < E_{40\%}$	Probabilité
Quadrants de Majuro		
Pr Majuro rouge	$B_y < B_{20\%}$	Probabilité
Pr Majuro blanc	$B_y > B_{20\%}$ et $E_y < E_{40\%}$	Probabilité

3. Cadre d'évaluation des simulations

Le cadre d'évaluation était basé sur un ensemble de modèles opérationnels SS III (Methot Jr. & Wetzal, 2013, version 3.30.16.02), appelé à partir de R (R Core Team, 2021) et utilisant le **paquet R r4ss** (Taylor et al., 2021).

3.1. Modèles opérationnels

Les modèles opérationnels étaient basés sur l'évaluation du stock de SKJ de Fu (2020), couvrant la période de 1950 à 2019 inclus. L'évaluation comprenait une grille de douze passes de SS III à zone unique, et douze passes à deux zones, décrites dans CTOI (2020b) et énumérées dans le tableau A1. Les modèles ont été réajustés à des fins de validation, donnant les résultats résumés dans le tableau 2.

3.2. Mise en œuvre de la capture

La capture en 2020 a été fixée par SS III comme étant égale à la mortalité par pêche cible estimée par exécution ($C_{40\%}$). Le TAC de 2021 à 2023 a été fixé à 513 572 tonnes sur la base de la recommandation de la CTOI (2020c). Par la suite, la PG a été utilisée pour fixer la capture, avec

une mise en œuvre de la PG tous les trois ans, à partir de 2023 (pour fixer la capture recommandée pour 2024 à 2026 inclus).

3.3. Dimensions

Au total, neuf PG ont été testées (tableau A2). Pour chaque PG, les 24 variations du modèle d'exploitation ont été projetées (tableau A1), avec dix itérations stochastiques pour chacune. Chaque simulation a projeté le stock sur vingt et un ans, de 2020 à 2040 inclus.

3.4. Diagnostics

La performance de chaque PG a été évaluée principalement par rapport aux objectifs de gestion déclarés pour le stock : maintenir la biomasse du stock à un niveau égal ou supérieur au TRP de $B_{40\%}$ et éviter le LRP de $B_{20\%}$. Une liste complète de diagnostics avec lesquels comparer les PG a été obtenue de Bentley & Adam (2016) et est décrite dans le tableau 3. Ceux-ci comprennent une expression de l'état du stock à l'aide de la matrice de stratégie de Kobe. Suivant les recommandations de CTOI (2021c) et de CTOI (2021a), l'état des stocks a également été exprimé en utilisant les quadrants de Majuro. En outre, d'autres statistiques diagnostiques ont été créées pour mesurer la stabilité du TAC recommandé par la PG (voir Edwards, 2022).

3.5. Réglage

Les PG ont été réglées en utilisant les quadrants de la matrice de stratégie de Kobe, de sorte que toutes les PG appariés aux mêmes "critères de réglage" ont des valeurs équivalentes pour la Pr. Kobe vert (tableau 3) lorsqu'on en fait la moyenne sur les années de projection 11 à 15 (2030 à 2034 inclus). Trois critères de réglage ont été utilisés, comme pour les autres stocks de la CTOI :

50% : Pr. Kobe vert = 0,5

60% : Pr. Kobe vert = 0,6

70% : Pr. Kobe vert = 0,7

Si une PG correspondait à l'un de ces critères de réglage à 1% près, elle était sélectionnée pour être examinée plus avant.

3.6. Tests de robustesse

Suivant les recommandations du Groupe de travail sur les méthodes (CTOI, 2021b), nous avons étudié la robustesse de la PG à l'erreur de mise en œuvre (captures supérieures au TAC recommandé) et au déclin du recrutement (baisse à court terme de la productivité de la pêche). Dans chaque cas, les tests de robustesse ont été effectués en introduisant un multiplicateur constant soit à l'erreur de mise en œuvre des captures stochastiques, soit aux écarts de recrutement, générés comme décrit par Edwards (2021a).

3.6.1. Erreur de mise en œuvre

En 2017, la mise en œuvre de la HCR a conduit à une recommandation pour 2018-2020 de 470 029 tonnes. La capture réelle en 2018 était d'environ 607 000 tonnes soit 29% au-dessus de la limite de capture recommandée ; en 2019, la capture était de 547 000 tonnes, soit 16% de plus. Sur la base de ces observations, les valeurs d'erreur de mise en œuvre suivantes ont été évaluées :

R01 : erreur de capture positive de 20% de 2021 à 2040 ;

R02 : erreur de capture positive de 30% de 2021 à 2040 ;

R03 : erreur de capture positive de 40% de 2021 à 2040.

3.6.2. Baisse du recrutement

Comme le suggère CTOI (2021b), un déclin du recrutement d'environ 55% pendant huit trimestres consécutifs a été considéré comme un point de départ raisonnable pour les évaluations de la réponse des PG au déclin du recrutement. Sur la base de cette recommandation, les déclins de recrutement suivants ont été inclus :

R01 : baisse de 50% de 2021 à 2023 ;

R02 : baisse de 50% entre 2022 et 2024 ;

R03 : baisse de 50% de 2023 à 2025 ;

Cela simulera des scénarios dans lesquels le recrutement a chuté trois, deux ou un an avant la mise en œuvre de la PG.

4. Résultats

4.1. Réglage et sélection des PG

Les PG ont été sélectionnées selon qu'elles répondaient aux critères de réglage de 50%, 60% ou 70%. La liste complète des PG qui ont été évaluées est présentée dans le tableau A2, et celles qui ont été réglées avec succès pour les différents critères sont présentées dans le tableau 4. Comme prévu, les PG qui répondent aux critères de réglage de 50% ont un C_{max} plus élevé par rapport aux PG qui répondent aux critères de réglage de 60% et 70%.

Tableau 4 : Paramètres de réglage pour les PG qui correspondaient aux critères de réglage de 70%, 60% et 50%. Les valeurs pour C_{min} et C_{max} sont données en milliers de tonnes.

PG	C_{min}	C_{max}	a_x	a_T	Pr Kobe vert	Critère de réglage
MP2	53,21	492,17	-5,00	-1,70	0,70	70%
MP4	53,21	518,77	-5,00	-1,70	0,59	60%
MP6	53,21	545,38	-5,00	-1,70	0,51	50%

Les séries temporelles des probabilités du quadrant de Kobe pour chaque PG sont présentées à la figure 2. Pour illustrer la performance globale de chaque PG, les graphiques de phase pour chaque PG sont donnés dans la figure 3. Les simulations suggèrent que les PG qui passent le critère de réglage de 50% maintiennent le stock près du TRP, mais avec un risque plus élevé de franchissement du LRP. Pour la MP2, accordée au critère de 70%, il y a une probabilité plus élevée que le stock reste au-dessus du LRP et du TRP.

La figure 4 montre la dynamique de l'indice du taux de capture dans le temps pour les modèles à une et deux zones. La conversion de ces valeurs d'indice projetées en une prise recommandée est illustrée à la figure 5. À partir de la distribution des états du système autour de la règle d'exploitation, nous pouvons voir que la règle de 50%, moins conservatrice, présente une plus grande variabilité de la prise recommandée, malgré des valeurs d'indice médianes similaires sur

la période de projection. La variabilité du système pour chaque PG est illustrée plus en détail par la dynamique de la biomasse, des prises et du taux d'exploitation dans les figures 6, 7, 8 et 9. Les diagnostics numériques sont donnés dans le tableau A3. Il ressort des figures 7 et 8 que la MP6 présente une plus grande variabilité par rapport à MP2 et MP4, plus conservatrices. Des changements plus fréquents dans la recommandation du TAC permettent à MP6 de produire une prise moyenne plus élevée au détriment d'un B_y plus faible (figure 10 et tableau A3).

En ce qui concerne la figure 7, qui montre des différences claires entre les PG, les diagnostics de stabilité des captures du tableau A3 indiquent que $|C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1|$ et $\text{Max. } |C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1|$ sont les plus appropriés pour comparer la stabilité du processus de mise en œuvre du TAC. Le changement maximum observé pour MP2 a une limite supérieure proche de 30%, alors que le changement maximum pour MP6 a une limite supérieure d'environ 120%. Nous notons également que la probabilité que le changement de TAC dépasse 15% ou 30% est faible et suggère que l'inclusion de ces limites de changement de TAC aura un effet limité sur les performances de la PG dans le contexte des simulations effectuées (bien qu'elles deviennent pertinentes pour des scénarios plus extrêmes effectués dans le cadre des tests de robustesse).

En résumé, MP6, la moins conservatrice (Kobe 50%), présente une capture plus élevée, au prix d'une moindre stabilité des captures, d'un épuisement plus faible et de taux de capture plus bas (figure 10). Les compromis entre les prises et les autres critères de performance sont présentés à la figure 11. Comme prévu, MP2 (Kobe 70%), la plus conservatrice, présente les prises les plus faibles, mais les valeurs les plus élevées en matière de stabilité des prises, de biomasse du stock et de taux de capture.

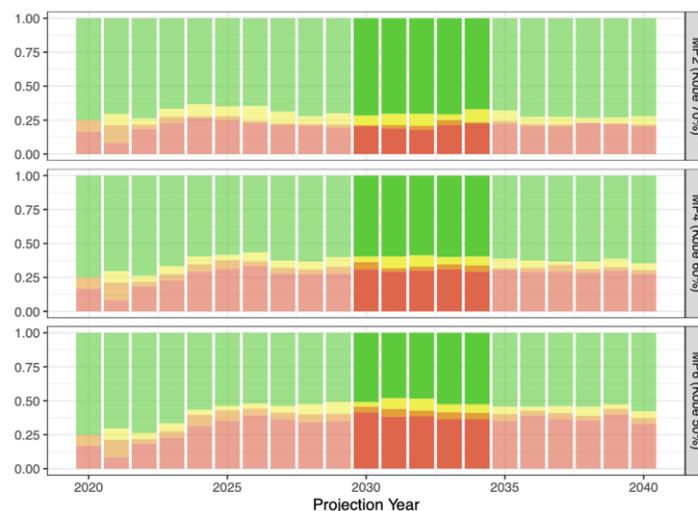


Figure 2 : Série chronologique de Kobe pour les PG énumérées dans le tableau 4. Les probabilités moyennes des quadrants pour chaque année, pour toutes les exécutions et itérations du modèle pour ces PG, sont indiquées. Les probabilités entre 2030 et 2034 inclus ont été utilisées pour sélectionner les PG à l'aide des critères de réglage.

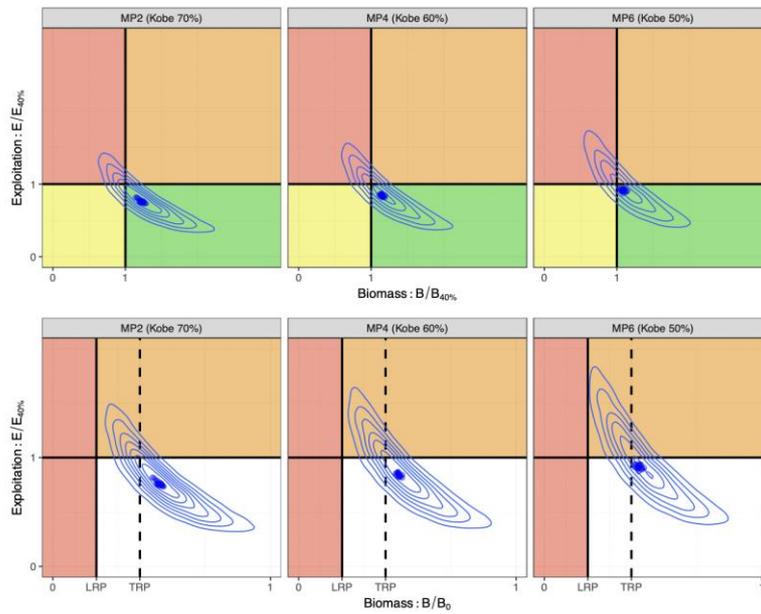


Figure 3 : Graphiques de phase de Kobe (panneau supérieur) et graphiques de phase de Majuro (panneau inférieur) pour les PG énumérées dans le tableau 4. Les contours montrent un histogramme bidimensionnel de l'état du stock pour toutes les années pour lesquelles la PG a été utilisée pour fixer les captures (c'est-à-dire de 2024 à 2040), vingt-quatre exécutions de modèle et dix itérations stochastiques pour chaque exécution. Les points bleus montrent les valeurs médianes par année et par PG pour chaque critère de réglage.

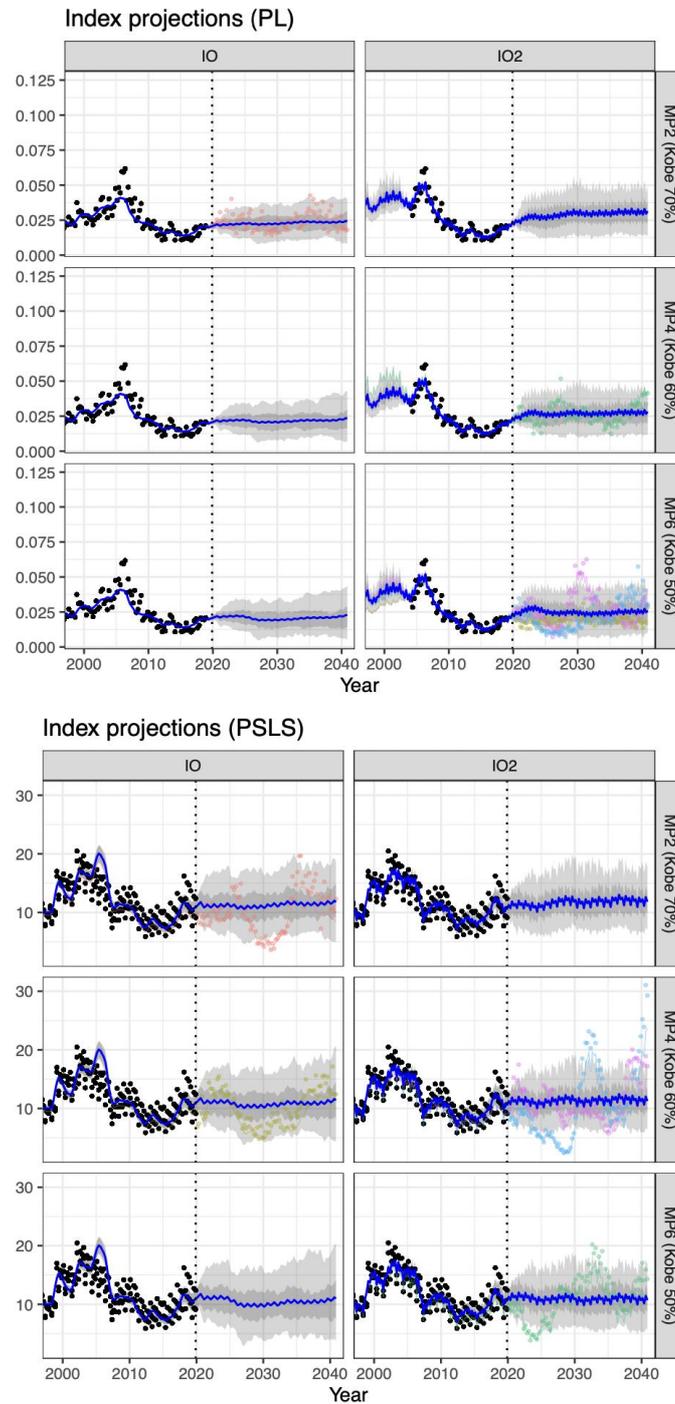


Figure 4 : Projections de l'indice pour les séries de modèles IO et IO2 (voir tableau A1). Les points noirs représentent les données empiriques. Valeurs ajustées en bleu avec les quantiles de 50% et 90% en gris. Un échantillon d'itérations stochastiques est montré pour la période de projection.

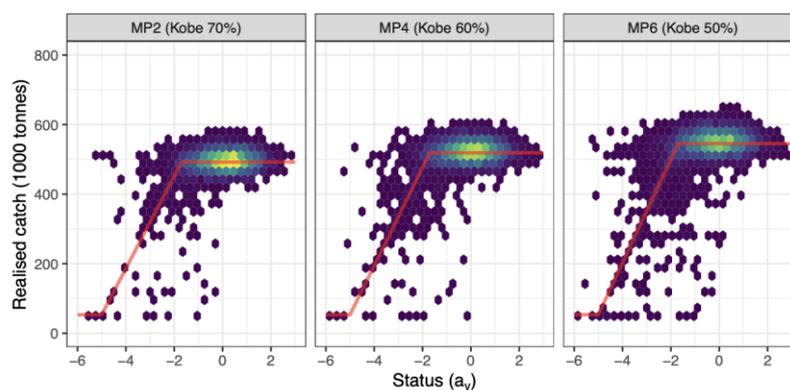


Figure 5 : Histogramme bidimensionnel des années de projection (2024 à 2040) pour chaque PG, montrant la distribution des exécutions et des itérations selon l'état du stock

(mesuré par a_y) et les prises réalisées. Les couleurs plus claires indiquent une plus grande densité d'itérations. La HCR est représentée (ligne rouge épaisse). Les valeurs C_{max} pour chaque HCR sont d'environ 492, 519 et 545 milliers de tonnes respectivement pour MP2, MP4 et MP6 (Tableau 4).

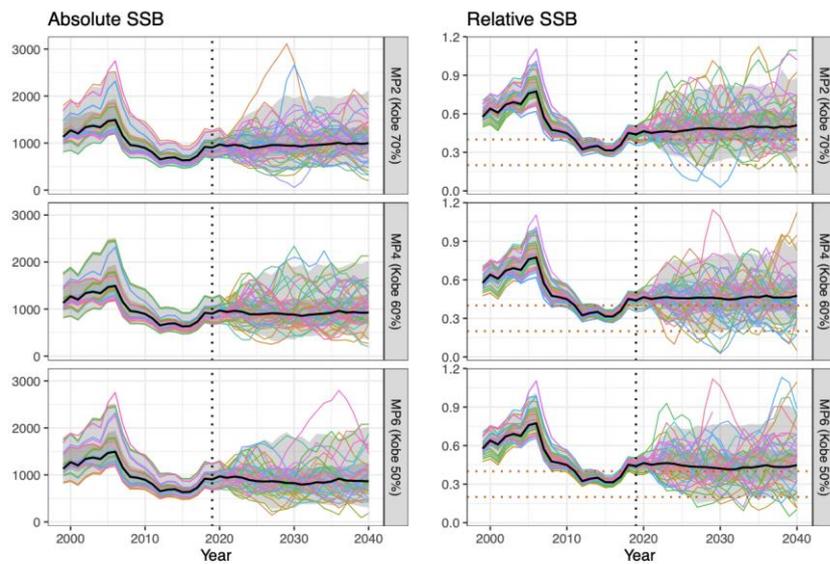


Figure 6 : Dynamique de la biomasse du stock reproducteur après projection sous chaque PG (Tableau 4). Un échantillon d'itérations stochastiques est montré avec les quantiles de 90% et 50% ombrés en gris. Les valeurs relatives sont données en fonction de B_0 pour chaque exécution. Les points de référence d'épuisement de 20% et 40% sont représentés par des lignes horizontales en pointillés.

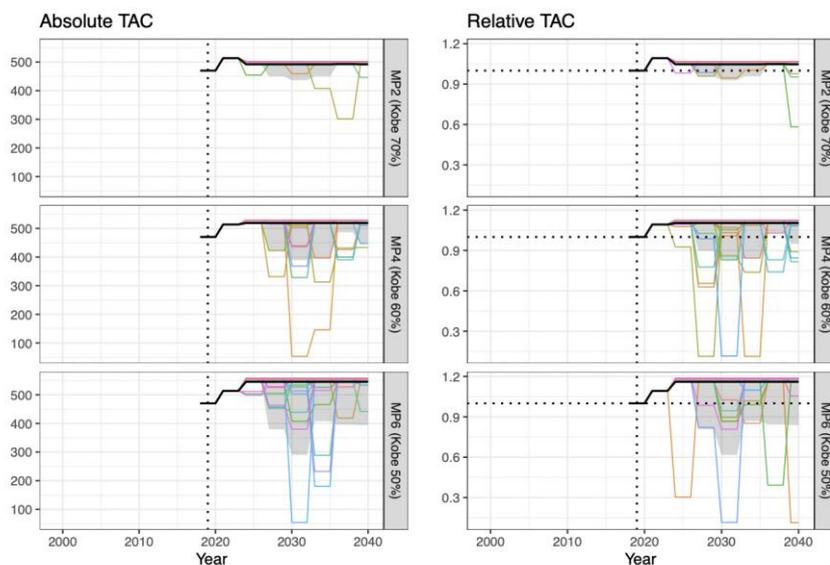


Figure 7 : Dynamique du total admissible de captures suivant la projection dans le cadre de chaque PG (tableau 4). Le TAC est supposé être de 513572 tonnes pour 2021-2023 (CTOI, 2020c). La première année de mise en œuvre des PG est 2024. Un échantillon d'itérations stochastiques est présenté avec les quantiles de 90% et de 50% ombrés en gris. Les valeurs relatives sont données en utilisant le TAC 2018-2020 de 470 029 tonnes comme référence.

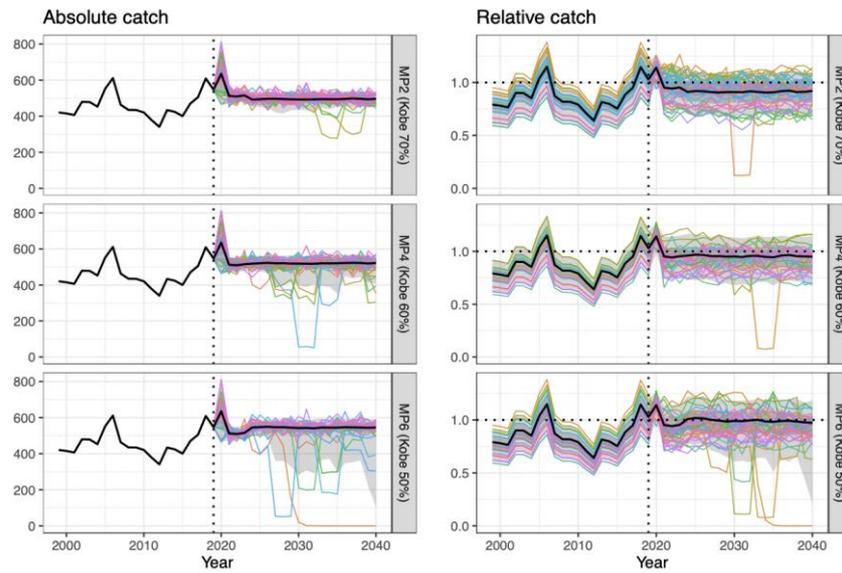


Figure 8 : Dynamique des captures réalisées après projection sous chaque PG (tableau 4). Un échantillon d'itérations stochastiques est montré avec les quantiles de 90% et 50% ombrés en gris. Les valeurs relatives sont données en fonction de $C_{40\%}$ pour chaque exécution.

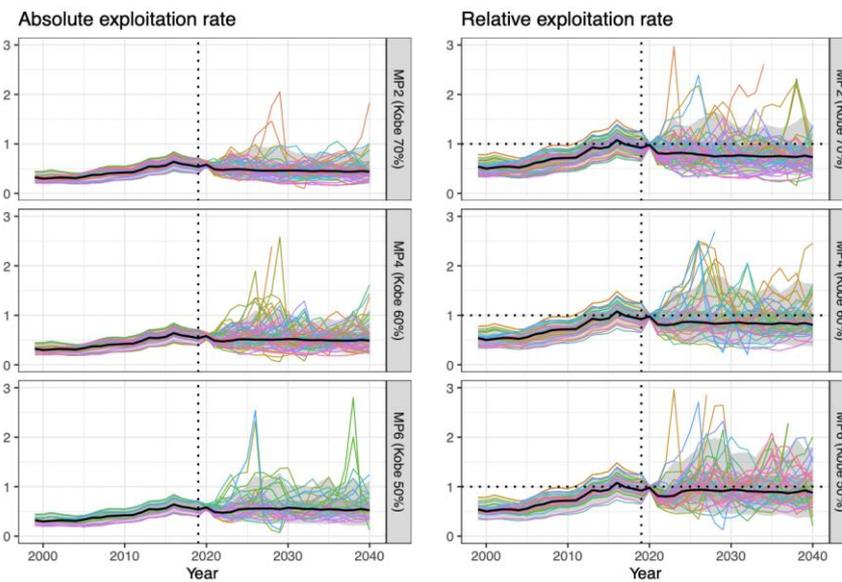


Figure 9 : Dynamique du taux d'exploitation après projection sous chaque PG (tableau 4). Un échantillon d'itérations stochastiques est montré avec les quantiles de 90% et 50% ombrés en gris. Les valeurs relatives sont données en fonction de $E_{40\%}$ pour chaque exécution.

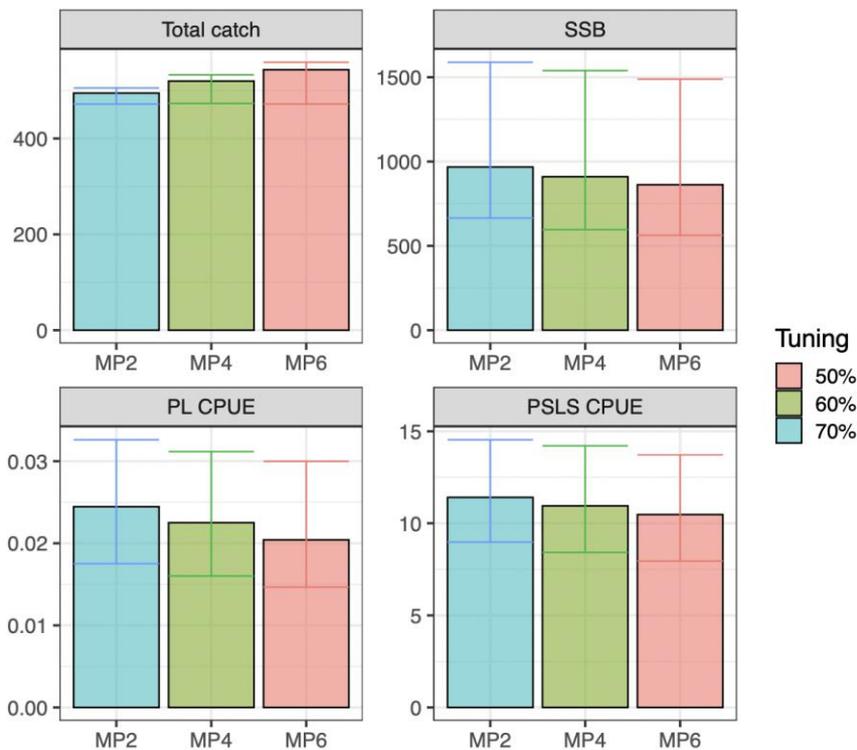


Figure 10 : Résumé des résultats de diagnostic (décrits dans le tableau 3) pour les PG énumérées dans le tableau 4.

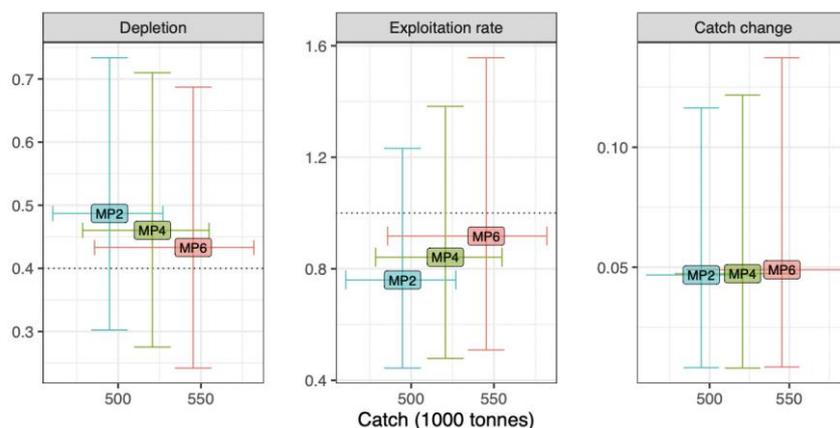


Figure 11 : Graphes de compromis montrant la prise totale par rapport à l'épuisement par rapport à B_0 , au taux d'exploitation par rapport à $E_{40\%}$ et au changement de prise (voir tableau 3). Les PG sont énumérées dans le tableau 4.

4.2. Robustesse

Les trois PG, correspondant aux trois critères de réglage, ont ensuite été soumises à des tests de robustesse afin d'évaluer leurs performances dans des circonstances extrêmes et de tenter de définir les circonstances dans lesquelles les PG pourraient ne plus être adaptées à la gestion. La perturbation de chaque PG par les tests de robustesse est présentée dans les tableaux 5 et 6, mesurée à l'aide du même diagnostic que celui utilisé pour le réglage.

Tableau 5 : Probabilité d'être dans le quadrant vert de Kobe en 2030-2034 suite à l'évaluation de la robustesse des PG (Recrutement).

PG (réglage)	Tets de robustesse	Pr Kobe vert
PG2 (Kobe 70%)	R01	0,51
PG2 (Kobe 70%)	R02	0,44
PG2 (Kobe 70%)	R03	0,38

PG4 (Kobe 60%)	R01	0,45
PG4 (Kobe 60%)	R02	0,41
PG4 (Kobe 60%)	R03	0,35
PG6 (Kobe 50%)	R01	0,40
PG6 (Kobe 50%)	R02	0,42
PG6 (Kobe 50%)	R03	0,36

Tableau 6 : Probabilité d'être dans le quadrant vert de Kobe 2030-2034 suite à l'évaluation de la robustesse des PG (recrutement).

PG (réglage)	Tets de robustesse	Pr Kobe vert
PG2 (Kobe 70%)	R01	0,70
PG2 (Kobe 70%)	R02	0,64
PG2 (Kobe 70%)	R03	0,65
PG4 (Kobe 60%)	R01	0,62
PG4 (Kobe 60%)	R02	0,56
PG4 (Kobe 60%)	R03	0,53
PG6 (Kobe 50%)	R01	0,54
PG6 (Kobe 50%)	R02	0,48
PG6 (Kobe 50%)	R03	0,47

4.2.1. Erreur de mise en œuvre

On peut voir dans le tableau 5 comment les erreurs de mise en œuvre réduisent la probabilité que le stock se trouve dans le quadrant vert de Kobe entre 2030 et 2034. Seule MP2, qui est la PG la plus conservatrice, est capable de maintenir le stock dans le quadrant vert de Kobe pour ces années avec une probabilité supérieure à 50% (et seulement sous le plus faible des tests de robustesse (R01)).

Une image plus détaillée de l'état du stock en cas d'erreur de mise en œuvre est présentée dans les tableaux A4, A5 et A6. La dynamique de l'état des stocks est présentée dans les figures 12 à 15, ainsi que dans la figure 16.

En comparant avec le tableau A3, nous pouvons voir qu'une erreur de mise en œuvre positive donne une capture moyenne plus élevée. Cependant, le TAC est plus faible. Plus l'erreur de mise en œuvre est élevée, plus le TAC est faible. Pour MP2, par exemple, la recommandation de TAC moyen du tableau A3 est de 492 000 tonnes. Lorsque l'erreur de mise en œuvre augmente de 20% (R01) à 40% (R03), le TAC moyen passe de 478 à 435 000 tonnes (tableau A4). Cela reflète l'état du stock, une erreur de mise en œuvre plus élevée étant associée à des valeurs de biomasse du stock reproducteur plus faibles. En cas d'erreur de mise en œuvre positive, la stabilité du stock dans le temps (Figure 12) est finalement maintenue par une réduction des captures réalisées (Figure 14), qui est particulièrement prononcée pour MP6. Le taux d'exploitation est ainsi maintenu à un niveau raisonnable (figure 15).

Cependant, malgré leur réactivité, la capacité des PG à maintenir le stock dans le quadrant vert de Kobe semble faible. MP2, par exemple, a un diagnostic simulé Pr. Kobe Vert de 0,34 - 0,46

selon le degré d'erreur de mise en œuvre. Pour MP6, il est de 0,30 - 0,35. Cela indique que les PG les plus conservatrices sont plus résistantes aux erreurs de mise en œuvre en maintenant le stock plus proche de ses objectifs de gestion.

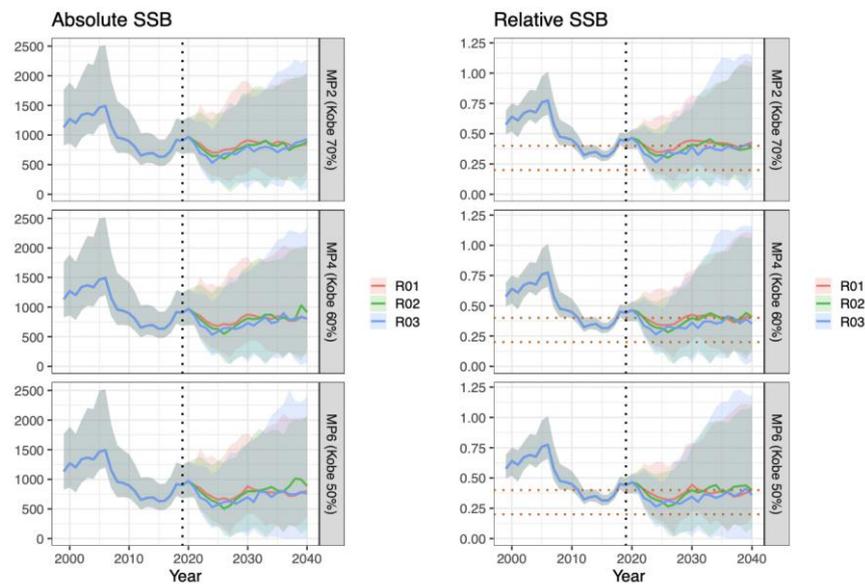


Figure 12 : Dynamique de la biomasse du stock reproducteur après projection sous chaque PG et test de robustesse (erreur de mise en œuvre). La médiane et les 90% pour chaque test de robustesse sont indiqués. Les valeurs relatives sont données en fonction de B_0 pour chaque exécution. Le TRP et le LRP sont représentés par des lignes horizontales en pointillés.

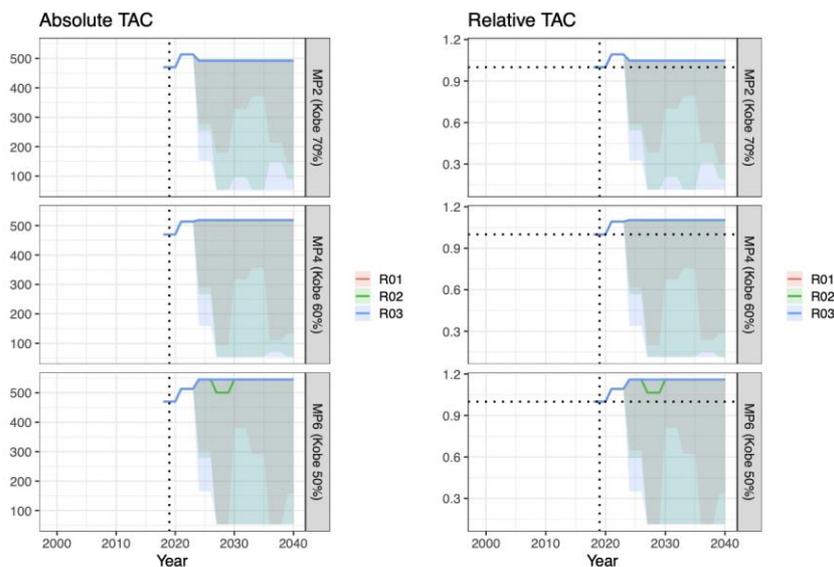


Figure 13 : Dynamique du Total admissible des captures suite à la projection sous chaque PG et test de robustesse (erreur de mise en œuvre). Le TAC est supposé être de 513 572 tonnes pour 2021-2023 (CTOI, 2020c). La première année de mise en œuvre de la PG est 2024. La médiane et les 90% pour chaque test de robustesse sont indiqués. Les valeurs relatives sont données en utilisant le TAC 2018-2020 de 470 029 tonnes comme référence.

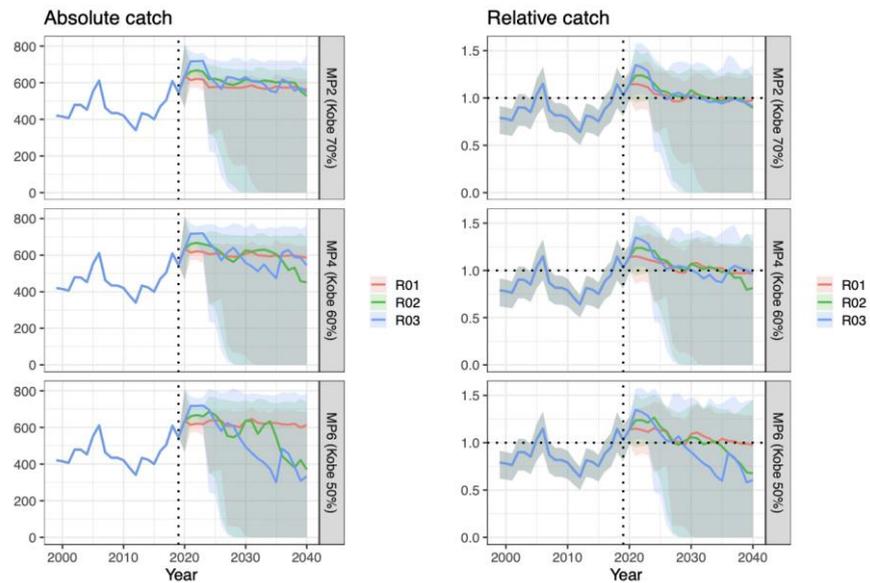


Figure 14 : Dynamique des captures après projection sous chaque PG et test de robustesse (erreur de mise en œuvre). La médiane et les 90% pour chaque test de robustesse sont indiqués. Les valeurs relatives sont données en fonction de $C_{40\%}$ pour chaque exécution.

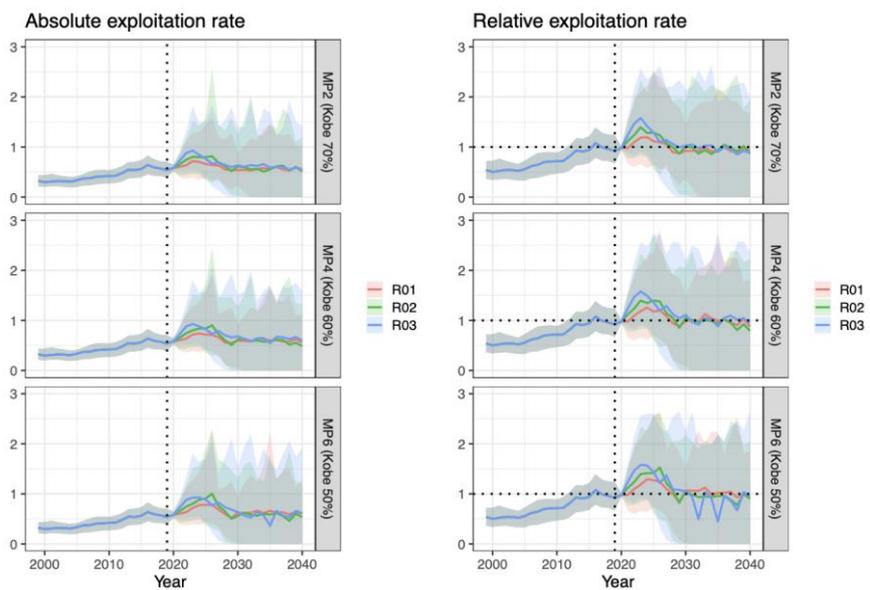


Figure 15 : Dynamique du taux d'exploitation après projection sous chaque PG et test de robustesse (erreur de mise en œuvre). La médiane et les 90% pour chaque test de robustesse sont indiqués. Les valeurs relatives sont données en fonction de $E_{40\%}$ pour chaque exécution.

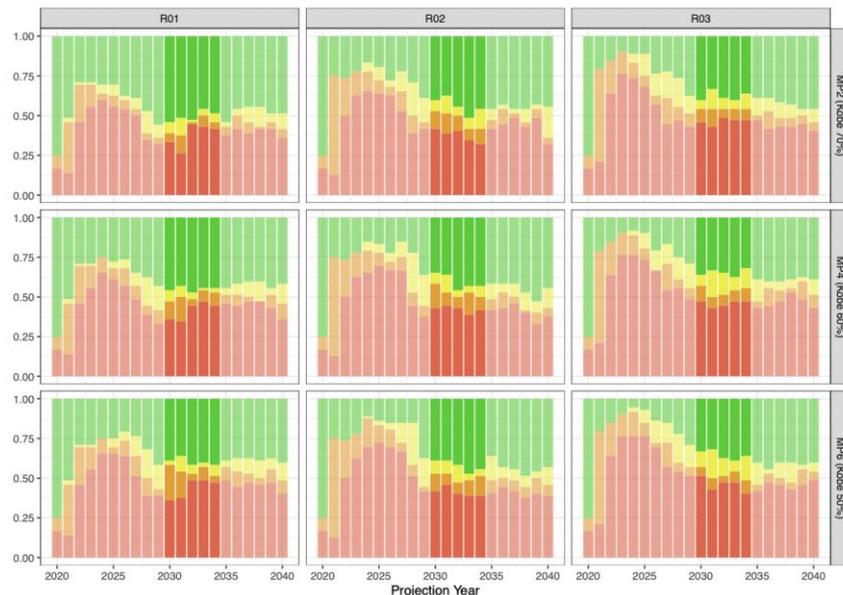


Figure 16 : Série chronologique de Kobe pour les PG pour chaque test de robustesse (erreur de mise en œuvre). Les probabilités moyennes des quadrants pour chaque année, pour toutes les exécutions et itérations sont indiquées.

4.2.2. Baisse du recrutement

Par rapport à leur robustesse face aux erreurs de mise en œuvre, les PG semblent se comporter plus favorablement dans les cas de déclin du recrutement à court terme, MP2 et MP4 étant toutes deux capables de maintenir la Pr. Kobe vert (2030-2034) à ou au-dessus de 50% (tableau 6). Afin de visualiser le déclin, la figure 17 montre la dynamique du recrutement dans le temps pour chaque test de robustesse. Les figures 18 à 22 présentent la dynamique du système résultant et les tableaux A7 à A9 rapportent les diagnostics résumés.

Après une chute de 50% du recrutement sur trois ans, toutes les PG réagissent à la baisse associée de B_y (figure 18) en réduisant drastiquement le TAC recommandé (figure 19). Cependant, cela ne suffit pas à empêcher une augmentation du taux d'exploitation (figure 21). Les raisons de cette situation sont doubles. Pour certains des tests, il apparaît que le TAC recommandé est réduit à une valeur égale au TAC minimum de $C_{\min} = 53\ 000$ tonnes. Cependant, pour R01 (et pour R02 sous MP2), ce n'est pas le cas. Le retard dans la mise en œuvre de la PG a plutôt contribué à une augmentation du taux d'exploitation car le TAC est maintenu malgré une baisse de B_y . Pour R02 et R03, une chute du recrutement en 2022 ou plus tard n'affecte pas immédiatement le TAC pour 2024 - 2026. Le TAC est maintenu pour cette période, alors que B_y décline et n'est modifié de façon appropriée qu'en 2027 - 2029.

Il est rassurant de constater que malgré les changements extrêmes du TAC (figure 19), les PG sont réactives et capables de ramener le stock à son état antérieur (figure 22). Bien que les changements du TAC soient extrêmes, leur ampleur n'est que la conséquence de scénarios de recrutement hypothétiques, plutôt que justifiée par les données de la pêche. Néanmoins, nous pouvons faire l'observation triviale qu'une chute de 50% du recrutement est susceptible d'entraîner un changement inacceptable de la recommandation du TAC, quel que soit le moment de cette chute (tableaux A7 à A9). Des travaux supplémentaires seront nécessaires pour déterminer quelle chute du recrutement pourrait être acceptée dans les limites acceptables d'un changement de TAC.

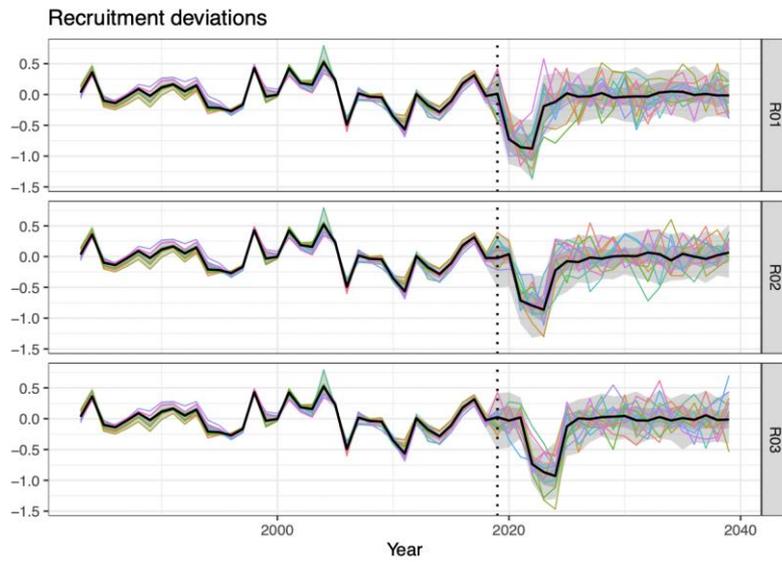


Figure 17 : Écarts de recrutement pour les essais de robustesse du recrutement

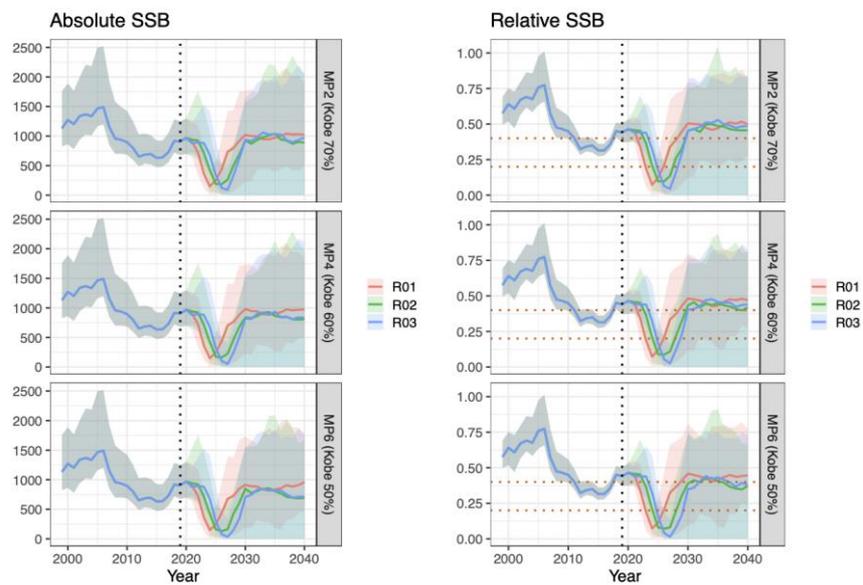


Figure 18 : Dynamique de la biomasse du stock reproducteur après projection sous chaque PG (Tableau 4). La médiane et les 90% pour chaque test de robustesse sont indiqués. Les valeurs relatives sont données en fonction de B_0 pour chaque exécution. Le TRP et le LRP sont représentés par des lignes horizontales en pointillés.

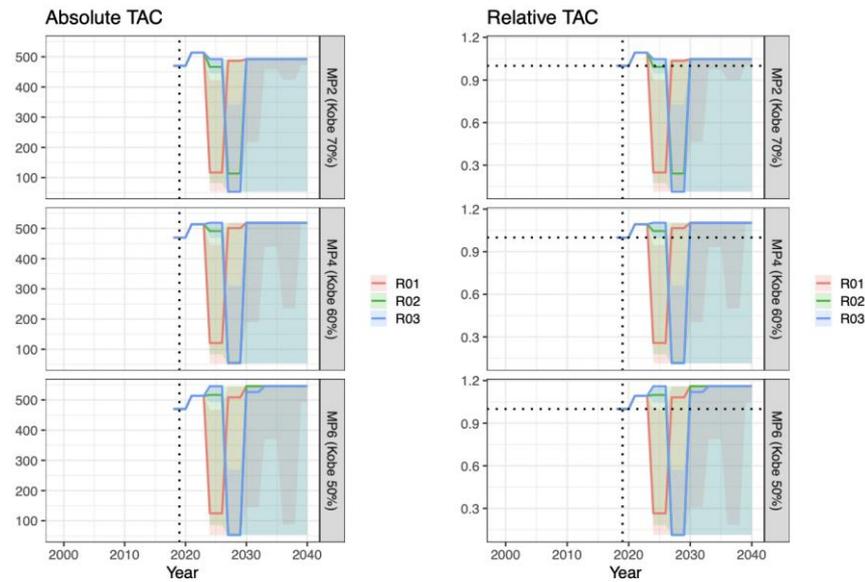


Figure 19 : Dynamique du total admissible des captures suivant la projection dans le cadre de chaque PG (tableau 4). Le TAC est supposé être de 513 572 tonnes pour 2021-2023 (CTOI, 2020c). La première année de mise en œuvre des PG est 2024. La médiane et les 90% pour chaque test de robustesse sont indiqués. Les valeurs relatives sont données en utilisant le TAC 2018-2020 de 470 029 tonnes comme référence.

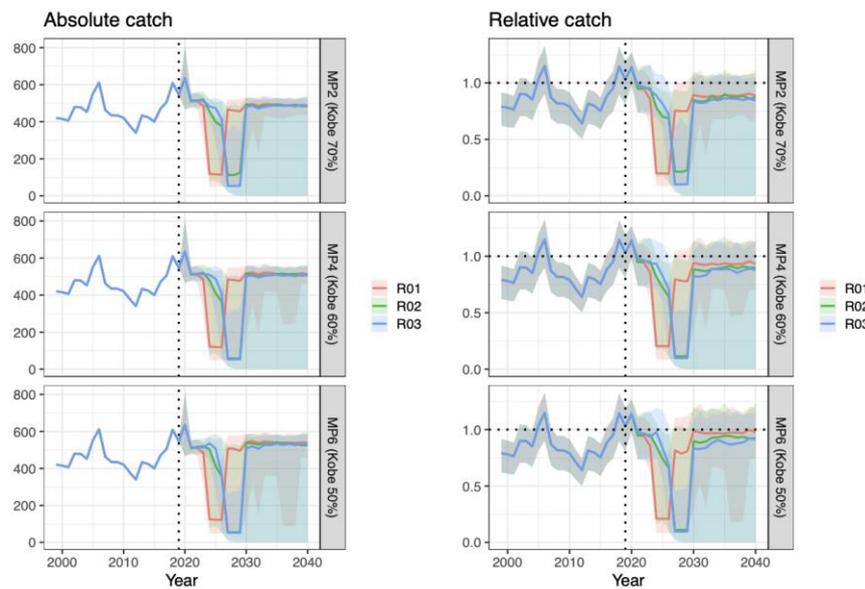


Figure 20 : Dynamique des captures après projection sous chaque PG (tableau 4). La médiane et les 90% pour chaque test de robustesse sont indiqués. Les valeurs relatives sont données en fonction de $C_{40\%}$ pour chaque exécution.

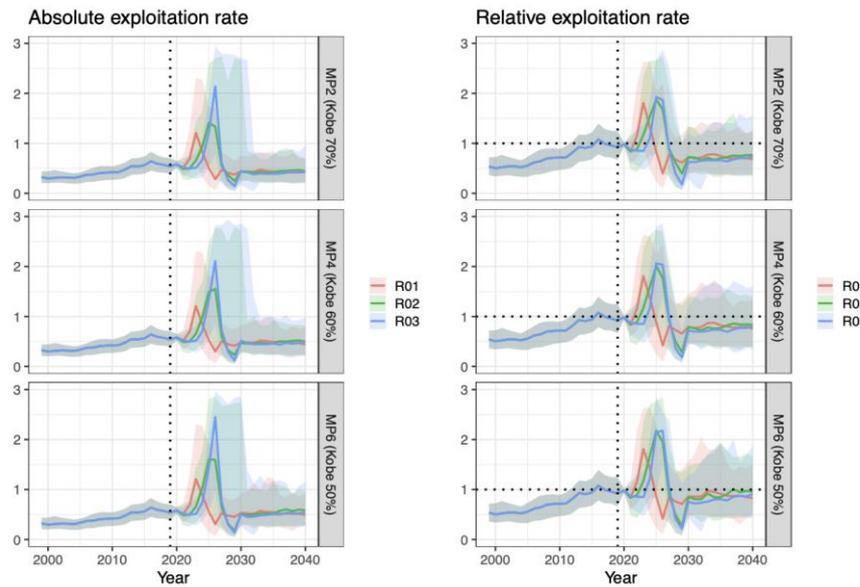


Figure 21 : Dynamique du taux d'exploitation après projection sous chaque PG (Tableau 4). La médiane et 90% pour chaque test de robustesse sont indiqués. Les valeurs relatives sont données en fonction de $E_{40\%}$ pour chaque exécution.

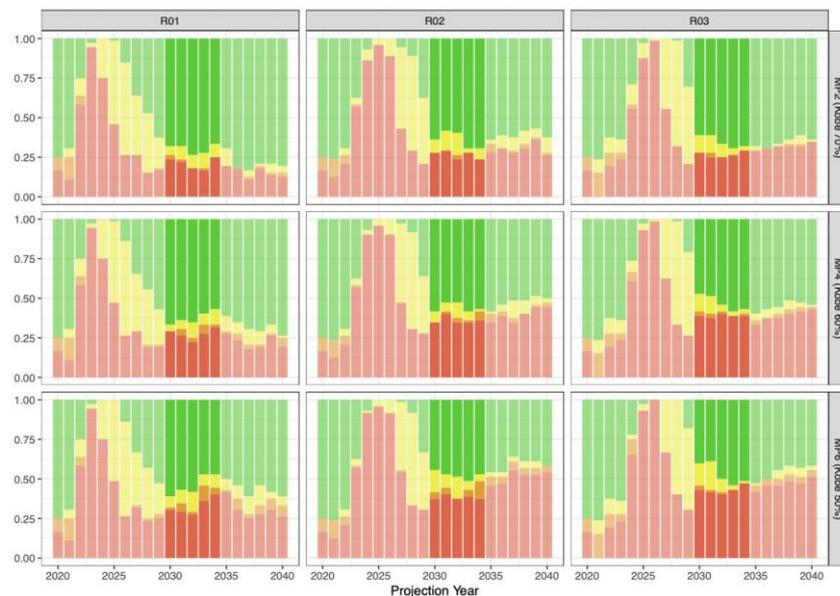


Figure 22 : Série temporelle de Kobe pour les PG énumérées dans le tableau 4. Les probabilités moyennes des quadrants pour chaque année, pour toutes les exécutions et itérations sont indiquées.

5. Résumé

Trois PG ont été présentées, qui correspondent aux critères de réglage de 50%, 60% et 70%, et qui présentent des compromis familiers entre les prises, la stabilité des prises et la biomasse du stock. Les diagnostics concernant la stabilité des prises indiquent que des limites de 30% ou 15% de changement de TAC pourraient être accommodées sans grande conséquence apparente sur la performance de la PG (en notant qu'une limite de 30% est déjà incluse dans la gestion actuelle ; section A).

Nous notons que l'évaluation des performances et l'adoption potentielle de ces PG dépendent du futur calcul cohérent des indices de CPUE de PL (Medley et al. , 2020a,b) et de PSLs (Guery, 2020, Guery et al. , 2020) actuellement disponibles.

Les PG ont été soumises à des tests de robustesse simples afin de diagnostiquer leurs performances sous différents niveaux d'erreur de mise en œuvre et de productivité des stocks. Ces tests sont non seulement nécessaires pour avoir confiance dans la PG, mais ils permettent également de déterminer les limites au-delà desquelles une PG peut devenir inadéquate pour la gestion des stocks.

Erreur de mise en œuvre : Les résultats indiquent que la performance des PG dans le maintien de l'état du stock est minée lorsque les captures dépassent le TAC recommandé, et que cela entraîne une réduction des captures au fil du temps. Plus l'erreur de mise en œuvre est grande, plus le déclin de la performance des PG est important.

Baisse du recrutement : Les PG réagissent aux changements de la biomasse du stock induits par le recrutement et sont capables de reconstituer le stock après des baisses extrêmes, mais à court terme, de la productivité. Cela permet de penser que les PG se comportent de manière appropriée.

6. Remerciements

Je suis reconnaissant à Dan Fu (CTOI) d'avoir fourni les fichiers SS III et à Alistair Dunn (Ocean Environmental) d'avoir fourni une assistance informatique.

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

7. 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. (2020). 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). Evaluation of empirical control rules 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. (2022). Further evaluations of an empirical MP for Indian Ocean Skipjack Tuna. *Research Report (IOTC-2022-WPM13(MSE)-07)*
- 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)*
- 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)*
- 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 (2020a). Report of the 11th Session of the IOTC Working Party on Methods. Virtual Meeting, 14 - 15 October 2020. *IOTC-2020-WPM11-R[E] Rev1*
- IOTC (2020b). Report of the 22nd Session of the IOTC Working Party on Tropical Tunas, Stock Assessment Meeting. Virtual Meeting, 19 - 23 October 2020. *IOTC-2020-WPTT22(AS)-R[E] Rev1*
- IOTC (2020c). Report of the 23rd Session of the IOTC Scientific Committee. *IOTC-2020-SC23-R[E]*

- IOTC (2021a). Defining stock status against conservation and management reference points: a global review for informing the process of status determination for key IOTC stocks; Ad-Hoc Reference Point Working Group. *IOTC-2021-TCMP04-12 Rev1*
- IOTC (2021b). Report of the 12th Session of the IOTC Working Party on Methods. Online, 18 - 20 October 2021. *IOTC-2021-WPM12-R[E]*
- IOTC (2021c). Report of the 4th IOTC Technical Committee on Management Procedures. Virtual Meeting, 4 - 5 June 2021. *IOTC-2021-TCMP04-R[E]*
- 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)*
- 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.
- Punt, A.E.; Butterworth, D.S.; de Moor, C.L.; De Oliveira, J.A.A.; Haddon, M. (2016). Management strategy evaluation: best practices. *Fish and Fisheries* 17 (2): 303–334.
- R Core Team (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Version 4.0.5
- 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.

A. Gestion actuelle

Sur la base des travaux de Bentley et Adam (Adam & Bentley, 2013, Bentley & Adam, 2014a,b, 2015, 2016), la résolution 16/02 (CTOI, 2016) a été adoptée en 2016 comme moyen de fixer les quotas de capture de SKJ. Elle spécifiait une règle d'exploitation (HCR) qui a été mise en œuvre en 2017 pour fournir une limite de capture recommandée de 470 029 tonnes pour la période 2018-2020 inclus, et plus récemment en 2020 pour recommander une limite de capture préliminaire de 513 572 tonnes pour 2021-2023 inclus (CTOI, 2020c).

En utilisant la terminologie de Bentley & Adam (2016) et de la CTOI (2016), la HCR produit un multiplicateur d'intensité (I_y) en fonction de la biomasse du stock reproducteur (B_y), où y est l'année la plus récente des données disponibles, en utilisant une relation linéaire par étapes :

$$I_y = \begin{cases} 1 & \text{for } B_y \geq B_{40\%} \\ \frac{B_y - B_{10\%}}{B_{40\%} - B_{10\%}} & \text{for } B_{10\%} < B_y < B_{40\%} \\ 0 & \text{for } B_y \leq B_{10\%} \end{cases} \quad (2a)$$

La fermeture de la pêcherie à $B_y \leq B_{10\%}$ concerne uniquement la pêche de non-subsistance.

La multiplication de l'intensité par un taux d'exploitation cible donne le taux d'exploitation réalisé :

$$E_y = I_y \times E_{40\%} \quad (2b)$$

Le taux d'exploitation est défini comme la prise sur la composante vulnérable (sélectionnée) de la biomasse (section 2.1.3, Bentley & Adam, 2016). Cependant, dans la règle d'exploitation elle-même, le taux d'exploitation est implicitement redéfini comme une proportion de la biomasse du stock reproducteur. Ainsi, la prise recommandée est fixée à l'aide de la relation suivante :

$$C_{y+1:3}^{\text{TAC}} = I_y \times E_{40\%} \times B_y \quad (2c)$$

Les métarègles supplémentaires suivantes ont également été approuvées :

- La limite de capture recommandée ne devrait pas dépasser 900 000 tonnes ;
- Le changement dans les prises recommandées par rapport à l'année précédente ne doit pas dépasser 30%, sauf si $B_y \leq B_{10\%}$, auquel cas $C_{y+1:3}^{\text{TAC}}$ sera toujours égal à zéro.

Les valeurs d'entrée pour la règle d'exploitation ($B_{40\%}$, $B_{10\%}$, et $E_{40\%}$) sont obtenues en tant que médianes des valeurs estimées à partir de la grille des cycles d'évaluation de SS III dans l'année où la règle d'exploitation est appliquée. Étant donné que la dérivation de ces valeurs d'entrée n'est pas explicitement définie, le moyen actuel de générer une prise recommandée n'est pas classé comme une procédure de gestion (Punt et al., 2016).

B. Exécution du modèle et paramètres de réglage

Tableau A1 : Liste des 24 passes d'évaluation SS III utilisées comme modèles opérationnels, reproduite du tableau 2 de la CTOI (2020b).

Label	Area	Steepnes (h)	Catchability trend	Tag likelihood weighting (λ)
io_h70_q0_tlambda01	1	0.7	1.0000	0.1
io_h70_q0_tlambda1	1	0.7	1.0000	1.0
io_h70_q1_tlambda01	1	0.7	1.0125	0.1
io_h70_q1_tlambda1	1	0.7	1.0125	1.0
io_h80_q0_tlambda01	1	0.8	1.0000	0.1
io_h80_q0_tlambda1	1	0.8	1.0000	1.0
io_h80_q1_tlambda01	1	0.8	1.0125	0.1
io_h80_q1_tlambda1	1	0.8	1.0125	1.0
io_h90_q0_tlambda01	1	0.9	1.0000	0.1
io_h90_q0_tlambda1	1	0.9	1.0000	1.0
io_h90_q1_tlambda01	1	0.9	1.0125	0.1
io_h90_q1_tlambda1	1	0.9	1.0125	1.0
io2_h70_q0_tlambda01	2	0.7	1.0000	0.1
io2_h70_q0_tlambda1	2	0.7	1.0000	1.0
io2_h70_q1_tlambda01	2	0.7	1.0125	0.1
io2_h70_q1_tlambda1	2	0.7	1.0125	1.0
io2_h80_q0_tlambda01	2	0.8	1.0000	0.1
io2_h80_q0_tlambda1	2	0.8	1.0000	1.0
io2_h80_q1_tlambda01	2	0.8	1.0125	0.1
io2_h80_q1_tlambda1	2	0.8	1.0125	1.0
io2_h90_q0_tlambda01	2	0.9	1.0000	0.1
io2_h90_q0_tlambda1	2	0.9	1.0000	1.0
io2_h90_q1_tlambda01	2	0.9	1.0125	0.1
io2_h90_q1_tlambda1	2	0.9	1.0125	1.0

Tableau A2 : Test des paramètres de réglage de la PG par simulation. Les valeurs pour C_{\min} et C_{\max} sont données en milliers tonnes.

MP	C_{\min}	C_{\max}	a_x	a_T
MP1	53.21	478.87	-5.00	-1.70
MP2	53.21	492.17	-5.00	-1.70
MP3	53.21	505.47	-5.00	-1.70
MP4	53.21	518.77	-5.00	-1.70
MP5	53.21	532.08	-5.00	-1.70
MP6	53.21	545.38	-5.00	-1.70
MP7	53.21	558.68	-5.00	-1.70
MP8	53.21	571.98	-5.00	-1.70
MP9	53.21	585.28	-5.00	-1.70

C. Résultats de diagnostic

Tableau A3 : Résultats de diagnostics pour l'évaluation des PG basées sur les indices (voir le tableau 4 pour la liste des définitions des PG et le tableau 3 pour une description de chaque diagnostic). La PG le plus performante pour chaque statistique sommaire est ombrée.

Diagnostic	Units	MP2 (Kobe 70%)	MP4 (Kobe 60%)	MP6 (Kobe 50%)
$C_{y+1:3}^{TAC}$	10 ³ tonnes	492.17 (468.12 - 502.02)	518.77 (481.36 - 529.16)	545.38 (482.68 - 556.3)
C	10 ³ tonnes	494.63 (471.84 - 505.44)	519.76 (473.11 - 532.69)	543.44 (471.93 - 559.04)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	80.73 (76.35 - 85.35)	84.27 (77.61 - 89.73)	87.63 (73.24 - 93.52)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	186.88 (175.58 - 192.37)	196.24 (178.68 - 202.77)	204.43 (180.77 - 212.99)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	27.8 (25.65 - 28.84)	29.12 (26.36 - 30.38)	30.37 (27.07 - 31.91)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	0.91 (0.73 - 1.02)	0.94 (0.76 - 1.06)	0.96 (0.77 - 1.08)
C_{y+1}^{TAC} not equal to C_y^{TAC}	Count	1 (1 - 3)	1 (1 - 4)	1 (1 - 4)
$ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	0 (0 - 11)	1 (0 - 16)	1 (1 - 34)
Max. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	4 (2 - 32)	3 (1 - 60)	8 (6 - 121)
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 30\%$	Prob.	0.03	0.05	0.08
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 15\%$	Prob.	0.05	0.09	0.11
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.02 (0.02 - 0.03)	0.02 (0.02 - 0.03)	0.02 (0.01 - 0.03)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	11.14 (8.81 - 13.64)	10.6 (8.31 - 13.41)	10.25 (7.81 - 12.98)
E_y	Rate	0.46 (0.29 - 0.64)	0.51 (0.3 - 0.7)	0.55 (0.32 - 0.77)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	0.79 (0.49 - 1.09)	0.85 (0.53 - 1.21)	0.93 (0.56 - 1.3)
B_y	10 ³ tonnes	967.41 (664.95 - 1588.69)	910.06 (596.26 - 1539.14)	862.96 (562.92 - 1488.81)
B_y/B_0	Proportion	0.48 (0.35 - 0.65)	0.44 (0.32 - 0.62)	0.42 (0.29 - 0.6)
B_{MIN}/B_0	Proportion	0.31 (0.17 - 0.47)	0.28 (0.14 - 0.45)	0.26 (0.11 - 0.42)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.98	0.96	0.94
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	1	0.99	0.99
Pr. Kobe Red	Prob.	0.21	0.3	0.36
Pr. Kobe Green	Prob.	0.7	0.61	0.53
Pr. Majuro Red	Prob.	0 (0 - 0.12)	0 (0 - 0.18)	0 (0 - 0.18)
Pr. Majuro White	Prob.	0.82 (0.35 - 1)	0.71 (0.24 - 1)	0.59 (0.18 - 1)

Tableau A4 : Résultats de diagnostics pour la robustesse aux erreurs de mise en œuvre pour MP2 (Kobe 70%) (voir Tableau 4 pour la liste des définitions de PG et Tableau 3 pour une description de chaque diagnostic).

Diagnostic	Units	R01	R02	R03
$C_{y+1:3}^{TAC}$	10 ³ tonnes	478.69 (393.45 - 492.17)	458.13 (364.65 - 492.17)	435.51 (311.8 - 492.17)
C	10 ³ tonnes	555.05 (338.43 - 592.88)	540 (194.08 - 638.75)	515.19 (141.27 - 678.44)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	88.86 (37.89 - 96.91)	81.78 (18.18 - 103.4)	70.37 (11.78 - 109.66)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	213.44 (142.98 - 227.54)	218.97 (81.29 - 248.99)	216.76 (60.21 - 260.74)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	31.39 (24.56 - 34.05)	33.27 (14.87 - 37.29)	34.52 (12.12 - 39.75)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	0.92 (0.25 - 1.07)	0.88 (0.01 - 1.09)	0.77 (0 - 1.05)
C_{y+1}^{TAC} not equal to C_y^{TAC}	Count	3 (1 - 5)	3 (1 - 5)	4 (1 - 6)
$ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	5 (1 - 57)	15 (1 - 153)	24 (1 - 183)
Max. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	13 (4 - 187)	47 (4 - 825)	78 (4 - 825)
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 30\%$	Prob.	0.16	0.22	0.32
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 15\%$	Prob.	0.22	0.3	0.42
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.02 (0.01 - 0.03)	0.02 (0.01 - 0.03)	0.01 (0.01 - 0.04)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	9.24 (7.12 - 12.55)	9.02 (5.66 - 12.22)	8.11 (5.26 - 13.91)
E_y	Rate	0.57 (0.1 - 0.85)	0.61 (0.01 - 0.91)	0.63 (0 - 0.95)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	0.99 (0.19 - 1.38)	1.02 (0.01 - 1.46)	1.06 (0 - 1.5)
B_y	10 ³ tonnes	844.48 (494 - 1436.75)	815.54 (448.29 - 1300.49)	763.3 (417.13 - 1468.64)
B_y/B_0	Proportion	0.38 (0.23 - 0.61)	0.36 (0.2 - 0.53)	0.34 (0.17 - 0.62)
B_{MIN}/B_0	Proportion	0.21 (0.09 - 0.38)	0.16 (0.03 - 0.28)	0.14 (0.04 - 0.31)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.9	0.83	0.79
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.98	0.94	0.94
Pr. Kobe Red	Prob.	0.42	0.45	0.49
Pr. Kobe Green	Prob.	0.46	0.38	0.34
Pr. Majuro Red	Prob.	0 (0 - 0.29)	0.12 (0 - 0.41)	0.18 (0 - 0.53)
Pr. Majuro White	Prob.	0.5 (0.12 - 0.94)	0.41 (0.06 - 0.82)	0.29 (0.06 - 0.82)

Tableau A5 : Résultats de diagnostics pour la robustesse aux erreurs de mise en œuvre pour MP4 (Kobe 60%) (voir le tableau 4 pour la liste des définitions de PG et le tableau 3 pour une description de chaque diagnostic).

Diagnostic	Units	R01	R02	R03
$C_{y+1:3}^{TAC}$	10 ³ tonnes	495.33 (387.56 - 518.77)	462.63 (359.92 - 518.77)	440.57 (315.81 - 518.77)
C	10 ³ tonnes	558.53 (280.04 - 624.16)	533.53 (159.79 - 659.41)	516.98 (130.28 - 684.78)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	88.94 (30.78 - 101.17)	75.63 (15.74 - 107.45)	65.87 (10.61 - 112.05)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	219.5 (120.42 - 242.09)	213.46 (73.66 - 260.68)	210.05 (47.32 - 270.68)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	32.68 (22.19 - 36.24)	33.99 (13.02 - 39.52)	35.1 (8.86 - 41.71)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	0.92 (0.07 - 1.08)	0.79 (0 - 1.09)	0.75 (0 - 1.04)
C_{y+1}^{TAC} not equal to C_y^{TAC}	Count	3 (1 - 5)	3 (1 - 6)	4 (1 - 6)
$ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	8 (0 - 118)	17 (0 - 161)	30 (0 - 186)
Max. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	27 (1 - 400)	63 (1 - 875)	86 (1 - 875)
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 30\%$	Prob.	0.21	0.25	0.36
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 15\%$	Prob.	0.27	0.32	0.45
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.02 (0.01 - 0.03)	0.02 (0.01 - 0.03)	0.01 (0.01 - 0.04)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	8.99 (5.94 - 12.69)	8.69 (5.45 - 12.36)	7.53 (5.1 - 14.03)
E_y	Rate	0.62 (0.02 - 0.87)	0.56 (0 - 0.99)	0.68 (0 - 0.98)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	1.09 (0.04 - 1.5)	0.98 (0.01 - 1.51)	1.14 (0 - 1.55)
B_y	10 ³ tonnes	814.37 (480.01 - 1442.45)	800.47 (413.32 - 1270.52)	735.5 (386.05 - 1478.83)
B_y/B_0	Proportion	0.36 (0.22 - 0.61)	0.36 (0.19 - 0.54)	0.32 (0.17 - 0.63)
B_{MIN}/B_0	Proportion	0.19 (0.07 - 0.35)	0.15 (0.02 - 0.27)	0.12 (0.02 - 0.29)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.87	0.81	0.75
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.97	0.93	0.91
Pr. Kobe Red	Prob.	0.46	0.47	0.52
Pr. Kobe Green	Prob.	0.4	0.35	0.3
Pr. Majuro Red	Prob.	0.06 (0 - 0.41)	0.12 (0 - 0.47)	0.18 (0 - 0.58)
Pr. Majuro White	Prob.	0.41 (0.12 - 0.94)	0.41 (0.06 - 0.76)	0.29 (0.06 - 0.82)

Tableau A6 : Résultats de diagnostics pour la robustesse aux erreurs de mise en œuvre pour MP6 (Kobe 50%) (voir le tableau 4 pour la liste des définitions de PG et le tableau 3 pour une description de chaque diagnostic).

Diagnostic	Units	R01	R02	R03
$C_{y+1:3}^{TAC}$	10 ³ tonnes	517.77 (379.4 - 545.38)	482.67 (367.81 - 545.38)	454.86 (287.97 - 545.38)
C	10 ³ tonnes	551.92 (244.57 - 652.79)	513.81 (151.16 - 678.47)	465.07 (115.85 - 693.66)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	83.92 (26.32 - 105.65)	65.32 (14.39 - 110.69)	52.59 (9.52 - 111.96)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	224.81 (104.51 - 255.06)	205.31 (60.27 - 272.56)	194.95 (41.37 - 283.59)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	33.52 (21.76 - 38.41)	34.75 (9.97 - 40.89)	35.06 (8.43 - 43.97)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	0.92 (0.04 - 1.09)	0.72 (0 - 1.09)	0.66 (0 - 1.06)
C_{y+1}^{TAC} not equal to C_y^{TAC}	Count	3 (1 - 5)	3 (1 - 6)	4 (1 - 6)
$ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	11 (1 - 192)	23 (1 - 176)	36 (1 - 211)
Max. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	30 (6 - 925)	80 (6 - 925)	110 (6 - 925)
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 30\%$	Prob.	0.24	0.27	0.39
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 15\%$	Prob.	0.29	0.36	0.45
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.02 (0.01 - 0.03)	0.02 (0.01 - 0.03)	0.01 (0.01 - 0.04)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	8.53 (5.66 - 13.42)	8.4 (4.67 - 12.32)	7.27 (4.11 - 14.2)
E_y	Rate	0.64 (0.01 - 0.88)	0.56 (0 - 1.03)	0.71 (0 - 1.11)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	1.08 (0.02 - 1.46)	0.96 (0 - 1.64)	1.18 (0 - 1.7)
B_y	10 ³ tonnes	758.85 (458.33 - 1435.88)	799.84 (399.49 - 1292.63)	745.79 (321.82 - 1437.71)
B_y/B_0	Proportion	0.34 (0.22 - 0.61)	0.35 (0.17 - 0.56)	0.3 (0.12 - 0.65)
B_{MIN}/B_0	Proportion	0.17 (0.03 - 0.33)	0.14 (0.02 - 0.28)	0.11 (0.01 - 0.29)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.86	0.8	0.73
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.96	0.92	0.88
Pr. Kobe Red	Prob.	0.48	0.48	0.52
Pr. Kobe Green	Prob.	0.35	0.34	0.3
Pr. Majuro Red	Prob.	0.12 (0 - 0.35)	0.12 (0 - 0.47)	0.24 (0 - 0.64)
Pr. Majuro White	Prob.	0.32 (0.06 - 0.82)	0.41 (0.01 - 0.76)	0.24 (0 - 0.82)

Tableau A7 : Résultats de diagnostics pour la robustesse aux écarts de recrutement pour MP2 (Kobe 70%) (voir Tableau 4 pour la liste des définitions de PG et Tableau 3 pour une description de chaque diagnostic).

Diagnostic	Units	R01	R02	R03
$C_{y+1:3}^{TAC}$	10 ³ tonnes	414.71 (339.52 - 453.22)	414.71 (130.67 - 468.93)	414.71 (130.67 - 454.28)
C	10 ³ tonnes	417.21 (347.73 - 456.53)	414.56 (64.49 - 472.62)	407.49 (69.26 - 457.53)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	66.68 (37.53 - 76.12)	65.56 (9.91 - 76.51)	63.01 (10.15 - 77.67)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	160.69 (117.73 - 184.22)	167.88 (22.93 - 196.63)	161.55 (24.96 - 209.44)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	25.01 (21.71 - 28.54)	25.26 (5.4 - 32.18)	25.15 (5.19 - 39.02)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	0.64 (0.49 - 0.81)	0.63 (0 - 0.86)	0.6 (0 - 0.81)
C_{y+1}^{TAC} not equal to C_y^{TAC}	Count	2 (2 - 4)	3 (2 - 4)	3 (2 - 4)
$ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	73 (15 - 152)	41 (10 - 155)	153 (16 - 154)
Max. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	301 (56 - 825)	173 (31 - 825)	825 (77 - 825)
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 30\%$	Prob.	0.34	0.31	0.29
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 15\%$	Prob.	0.39	0.36	0.31
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.02 (0.01 - 0.03)	0.02 (0 - 0.02)	0.02 (0 - 0.02)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	8.47 (4.96 - 10.68)	8.03 (0 - 10.32)	8.21 (0 - 9.89)
E_y	Rate	0.43 (0.31 - 0.61)	0.49 (0.34 - 2.79)	0.48 (0.31 - 4.54)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	0.73 (0.51 - 1.1)	0.85 (0.56 - 5.06)	0.79 (0.52 - 7.44)
B_y	10 ³ tonnes	872.53 (538.75 - 1377.64)	754.1 (39.59 - 1214.4)	775.96 (47.91 - 1296.09)
B_y/B_0	Proportion	0.38 (0.22 - 0.49)	0.33 (0 - 0.47)	0.33 (0 - 0.47)
B_{MIN}/B_0	Proportion	0.07 (0.01 - 0.13)	0.07 (0 - 0.18)	0.04 (0 - 0.15)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.81	0.7	0.69
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.89	0.79	0.77
Pr. Kobe Red	Prob.	0.24	0.4	0.4
Pr. Kobe Green	Prob.	0.58	0.44	0.46
Pr. Majuro Red	Prob.	0.12 (0.06 - 0.35)	0.24 (0.06 - 0.94)	0.18 (0.12 - 0.94)
Pr. Majuro White	Prob.	0.76 (0.24 - 0.88)	0.65 (0 - 0.82)	0.68 (0 - 0.82)

Tableau A8 : Résultats de diagnostics pour la robustesse aux écarts de recrutement pour MP4 (Kobe 60%) (voir Tableau 4 pour la liste des définitions de PG et Tableau 3 pour une description de chaque diagnostic).

Diagnostic	Units	R01	R02	R03
$C_{y+1:3}^{TAC}$	10 ³ tonnes	436.61 (356.18 - 476.66)	433.93 (133.1 - 484.92)	436.61 (135.37 - 467.48)
C	10 ³ tonnes	438.77 (360.25 - 476.88)	429.6 (60.92 - 492.57)	425.12 (67.79 - 476.13)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	70.01 (36.34 - 78.76)	63.01 (8.84 - 80.5)	57.27 (10.32 - 79.7)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	169.62 (123.94 - 191.83)	171.42 (21.61 - 216.77)	167.22 (23.94 - 212.59)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	26.21 (22.42 - 30.01)	26.83 (5.01 - 34.26)	26.47 (4.84 - 46.33)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	0.66 (0.5 - 0.85)	0.63 (0 - 0.88)	0.6 (0 - 0.82)
C_{y+1}^{TAC} not equal to C_y^{TAC}	Count	3 (2 - 4)	3 (2 - 4)	3 (2 - 4)
$ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	83 (15 - 161)	55 (13 - 162)	150 (15 - 162)
Max. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	329 (53 - 875)	249 (41 - 875)	801 (90 - 875)
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 30\%$	Prob.	0.36	0.32	0.31
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 15\%$	Prob.	0.41	0.36	0.33
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.02 (0.01 - 0.02)	0.02 (0 - 0.02)	0.01 (0 - 0.02)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	8.11 (4.73 - 10.47)	7.3 (0 - 9.74)	7.36 (0 - 9.43)
E_y	Rate	0.46 (0.33 - 0.65)	0.54 (0.35 - 3.86)	0.55 (0.33 - 4.73)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	0.8 (0.56 - 1.1)	0.91 (0.59 - 6.59)	0.9 (0.53 - 7.81)
B_y	10 ³ tonnes	813.02 (508.47 - 1332.85)	715.72 (34.75 - 1183.7)	690.97 (55.05 - 1295.59)
B_y/B_0	Proportion	0.35 (0.2 - 0.47)	0.29 (0 - 0.45)	0.28 (0 - 0.46)
B_{MIN}/B_0	Proportion	0.07 (0.01 - 0.13)	0.05 (0 - 0.16)	0.02 (0 - 0.14)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.8	0.65	0.62
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.88	0.75	0.72
Pr. Kobe Red	Prob.	0.29	0.47	0.47
Pr. Kobe Green	Prob.	0.51	0.38	0.38
Pr. Majuro Red	Prob.	0.12 (0.06 - 0.41)	0.24 (0.12 - 0.94)	0.24 (0.12 - 0.94)
Pr. Majuro White	Prob.	0.76 (0.24 - 0.88)	0.5 (0 - 0.82)	0.53 (0 - 0.82)

Tableau A9 : Résultats de diagnostics pour la robustesse aux écarts de recrutement pour MP6 (Kobe 50%) (voir le tableau 4 pour la liste des définitions de PG et le tableau 3 pour une description de chaque diagnostic).

Diagnostic	Units	R01	R02	R03
$C_{y+1:3}^{TAC}$	10 ³ tonnes	458.52 (354.49 - 499.61)	439.35 (135.46 - 507.47)	446.71 (140.06 - 481.01)
C	10 ³ tonnes	455.75 (362.3 - 497.19)	440.82 (56.51 - 509.95)	432.36 (61.05 - 472.58)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	72.08 (31.42 - 82.72)	62.17 (7.83 - 82.98)	43.17 (8.72 - 80.4)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	176.73 (130.14 - 200.29)	175.65 (20.46 - 229.45)	161.09 (21.79 - 219.17)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	27.26 (23.03 - 30.92)	28.16 (4.54 - 43.4)	28.64 (4.48 - 51.59)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	0.68 (0.49 - 0.88)	0.64 (0 - 0.9)	0.59 (0 - 0.76)
C_{y+1}^{TAC} not equal to C_y^{TAC}	Count	3 (2 - 5)	3 (2 - 4.9)	3 (2 - 4)
$ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	92 (15 - 172)	77 (16 - 171)	145 (16 - 170)
Max. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 $	Percent	337 (53 - 925)	307 (54 - 925)	765 (90 - 925)
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 30\%$	Prob.	0.37	0.33	0.31
Pr. $ C_{y+1}^{TAC}/C_y^{TAC} - 1 > 15\%$	Prob.	0.42	0.38	0.33
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.02 (0.01 - 0.02)	0.01 (0 - 0.02)	0.01 (0 - 0.02)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	7.66 (4.49 - 10.25)	6.45 (0 - 9.35)	6.25 (0 - 8.93)
E_y	Rate	0.49 (0.36 - 0.71)	0.61 (0.4 - 5.04)	0.59 (0.37 - 4.83)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	0.86 (0.6 - 1.17)	1.04 (0.64 - 8.24)	1.04 (0.63 - 8.05)
B_y	10 ³ tonnes	762.19 (470.12 - 1285.08)	657.01 (33.32 - 1112.42)	605.02 (40.1 - 1191.7)
B_y/B_0	Proportion	0.34 (0.18 - 0.45)	0.26 (0 - 0.43)	0.24 (0 - 0.43)
B_{MIN}/B_0	Proportion	0.07 (0.01 - 0.13)	0.04 (0 - 0.15)	0.01 (0 - 0.12)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.79	0.62	0.58
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.88	0.72	0.67
Pr. Kobe Red	Prob.	0.34	0.53	0.52
Pr. Kobe Green	Prob.	0.44	0.32	0.32
Pr. Majuro Red	Prob.	0.18 (0.06 - 0.41)	0.26 (0.12 - 0.94)	0.29 (0.12 - 0.94)
Pr. Majuro White	Prob.	0.59 (0.18 - 0.88)	0.41 (0 - 0.76)	0.35 (0 - 0.82)