

PG empiriques candidates pour le listao de l'océan Indien

Préparé pour la Commission des Thons de l'Océan Indien

2 mai 2023

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: Projet d'Évaluation de la Stratégie de Gestion des pêches
Date de fin: 30 juin 2023
Date du rapport: 2 mai 2023
Préparé pour: 6^{ème} Session du Comité Technique sur les Procédures de Gestion de la
CTOI, 5-6 mai 2023

Table des matières

1. Introduction	5
1.1 Gestion actuelle	5
1.2 Développement d'une nouvelle Procédure de Gestion	6
2 PG candidates	8
2.1 Valeurs d'entrées des données	8
2.2 Règle de contrôle de l'exploitation	8
2.3 Paramètres de calibrage de la HCR	9
3 Cadre d'évaluation des simulations	12
3.1 Modèles opérationnels	12
3.2 Mise en œuvre de la capture	12
3.3 Dimensions	12
3.4 Points de référence	12
3.5 Diagnostics	12
3.6 Calibrage	13
3.7 Tests de robustesse	13
4 Résultats et conclusions	13
4.1 PG calibrées	13
4.2 Tests de robustesse	14
5 Remerciements	24
6 Références	25

Objectifs du projet

L'objectif de ces travaux est de développer une Procédure de Gestion (PG) pour le listao (SKJ) de l'océan Indien, incluant la spécification des valeurs d'entrée des données, la règle de contrôle de l'exploitation (HCR) et les résultats de gestion, et qui a été intégralement testée à l'aide d'un cadre de simulation approprié. Les PG en cours de développement sont empiriques, basées sur des indices d'abondance généralement utilisés dans l'évaluation du stock. Les tests par simulation ont démontré que lorsqu'elles sont correctement calibrées, ces PG peuvent avoir de bonnes performances. Ce rapport présente la dernière itération de ces travaux, avec plusieurs mises à jour depuis le CTPG de 2022. Il présente trois PG calibrées ainsi que les tests de robustesse des implications potentielles de l'erreur de mise en œuvre positive. Les résultats démontrent qu'une PG prudente est plus susceptible d'atteindre les objectifs de gestion compte tenu de la possibilité de captures dépassant les recommandations faites par la PG.

1. 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 une capture recommandée pour le listao (SKJ), fondée sur les résultats de l'évaluation du stock. Chaque recommandation de capture serait valide pendant une période de trois ans. En utilisant les résultats de l'évaluation de 2017 (Fu, 2017), la HCR a initialement été mise en œuvre à la fin de cette année pour soumettre une limite de capture recommandée pour 2018–2020 de 470 mille tonnes (IOTC, 2017a, CS, 2017). Une deuxième mise en œuvre de la HCR a été réalisée en 2020 (CS, 2020), fondée sur une évaluation du stock actualisée par Fu (2020), et utilisée pour calculer une limite de captures recommandée pour 2021–2023 de 513 mille tonnes (IOTC, 2021b).

La Résolution 16/02 demandait également un examen approfondi et une éventuelle modification de la HCR à réaliser en 2021 au plus tard. En 2018, le Groupe de Travail sur les Méthodes (GTM) de la CTOI a noté que la Résolution 16/02 ne décrit pas une Procédure de Gestion (PG) entièrement définie, étant donné que les données sous-jacentes requises et la méthodologie d'évaluation ne sont pas définies (IOTC, 2018b). En conséquence, le GTM a suggéré de procéder à l'examen requis au titre de la Résolution 16/02 en vue de déterminer une PG entièrement définie pour le listao. Le CS a pris note de cette suggestion en 2018 (CS, 2018), ce qui a motivé les travaux actuels qui sont en cours depuis début 2019.

1.1 Gestion actuelle

Sur la base des travaux de Bentley et Adam (Adam & Bentley, 2013, Bentley & Adam, 2014b,a, 2015, 2016), la Résolution 16/02 décrit une Règle de contrôle de l'exploitation (HCR) qui peut être utilisée pour établir une capture recommandée pour la pêche. En utilisant leur terminologie, la HCR produit un multiplicateur d'intensité (I_y) en tant que fonction de la biomasse du stock reproducteur (B_y), à l'aide d'une relation linéaire en étapes :

$$I_y = \begin{cases} 1 & \text{for } B_y \geq B_{40\%} \\ \frac{B_y - B_{20\%}}{B_{40\%} - B_{20\%}} & \text{for } B_{20\%} < B_y < B_{40\%} \\ 0 & \text{for } B_y \leq B_{20\%} \end{cases} \quad (1a)$$

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

$$E_y = I_y \times E_{40\%} \quad (1b)$$

Le taux d'exploitation est défini comme la capture réalisée sur la composante vulnérable (sélectionnée) de la biomasse. Toutefois, dans la règle de contrôle en elle-même, le taux d'exploitation est implicitement redéfini comme une proportion de la biomasse du stock reproducteur. Par conséquent, la capture recommandée est établie en utilisant la relation suivante:

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

Les méga-règles supplémentaires suivantes ont également été approuvées :

- La limite de capture recommandée ne doit pas dépasser 900 000 tonnes ;
- Le changement de capture recommandée par rapport à l'année précédente ne doit pas dépasser 30% sauf si $B_y \leq B_{20\%}$, auquel cas $C_{y+1:3}$ sera toujours zéro.

Les valeurs d'entrée pour la règle de contrôle ($B_{40\%}$, $B_{20\%}$, et $E_{40\%}$) sont obtenues en tant que médianes des valeurs estimées d'après la grille des scénarios de l'évaluation de SS III de l'année où la règle de contrôle est appliquée. En utilisant l'évaluation de 2017 (Fu, 2017, IOTC, 2017b), la HCR a été mise en œuvre pour soumettre une limite de capture recommandée de 470 029 tonnes pour la période 2018–2020 inclus. Faisant suite à la mise en œuvre de la règle de contrôle, les captures réalisées ont été systématiquement supérieures à la limite de capture recommandée. Toutefois, l'évaluation du stock menée en 2020 a produit une estimation positive de l'état du stock (Fu, 2020, IOTC, 2020), qui a été utilisée pour recommander une limite de capture accrue, 513 572 tonnes, pour 2019–2023.

1.2 Développement d'une nouvelle Procédure de Gestion

Dans le cadre de la Résolution 16/02, la capture recommandée se base essentiellement sur une estimation de l'état du stock (B_y) et des points de référence ($B_{40\%}$, $B_{20\%}$ et $E_{40\%}$), qui fournissent tous deux les paramètres nécessaires pour définir la règle de contrôle et les valeurs d'entrée de l'état du stock requises pour la mettre en œuvre. Même si de considérables travaux de développement ont été réalisés, l'estimateur de l'état du stock n'est pas entièrement défini et ne peut donc pas être testé officiellement par simulation. Même si le processus d'évaluation du stock pourrait produire nos meilleures connaissances sur l'état de la ressource, le perfectionnement et le développement continu du modèle d'évaluation et des valeurs d'entrée impliquent qu'il ne peut pas être simulé par nature. Un estimateur de l'état du stock plus parcimonieux et mieux défini est nécessaire pour une PG. Afin d'étudier cette possibilité, un modèle de dynamique de la biomasse a été appliqué aux données de capture et d'abondance de l'évaluation de listao de 2017 et s'est avéré fournissant des estimations raisonnables de l'épuisement (Edwards, 2020). Toutefois, depuis ces travaux initiaux, les indices d'abondance ont été mis à jour (Medley et al., 2020b,a, Guery et al., 2020, Guery, 2020). Les travaux présentés à la Task Force sur l'Évaluation de la Stratégie de Gestion du GTM (TFESG) en 2021 ont démontré que, compte tenu des indices actualisés, ce type de modèle n'est plus en mesure d'extraire des informations sur l'épuisement de la biomasse (IOTC, 2021c). Pour cette raison, une PG empirique a été suggérée comme alternative.

Une PG empirique se base sur des modèles descriptifs et non basés sur des processus. Les travaux initiaux de développement de cette approche ont été présentés au CTPG par Edwards (2021b). La PG se basait sur les indices de PUE des flottilles de PL et PSLs, qui sont régulièrement utilisés dans les évaluations du stock (Fu, 2017, 2020). L'évaluation du stock estime une relation positive et log-linéaire entre ces indices et l'épuisement de la biomasse du stock. Edwards (2021b) a montré que les indices de PUE peuvent donc être utilisés comme valeurs d'entrée informatives pour une PG empirique, générant des captures similaires à celles calculées en supposant des connaissances parfaites sur la ressource. Le CTPG a recommandé de calibrer ces PG empiriques en utilisant le quadrant vert de Kobe en tant que mesure de l'état du stock. Plus précisément, les PG devaient être sélectionnées en utilisant la probabilité simulée que le stock se situe dans le quadrant vert de Kobe, en moyenne sur les années de projection 11 à 15 (2030 à 2034 inclus). Sur la

base des recommandations du CTPG (IOTC, 2021e), les critères de calibrage qui correspondaient à une probabilité de 50%, 60% et 70% de se situer dans le quadrant vert de Kobe ont été adoptés. Si une PG concordait avec l'un de ces critères de calibrage elle était alors sélectionnée pour examen approfondi.

Edwards (2021a) a présenté les PG empiriques calibrées au GTM (IOTC, 2021d) et, sur la base des commentaires reçus, a ultérieurement présenté les résultats des tests de robustesse à la TFESG du GTM (Edwards, 2022a). Les tests de robustesse étudiaient l'erreur de mise en œuvre (c.-à-d. des captures supérieures à la recommandation) et les conséquences potentielles de l'échec du recrutement. Sur la base de ces travaux, un ensemble préliminaire de PG candidates a été présenté au CTPG en 2022 et des commentaires ont été reçus (Edwards, 2022b, IOTC, 2022b). Le CTPG a notamment demandé d'inclure l'erreur de mise en œuvre dans le cadre du processus de calibrage. En réponse à cette demande, les PG candidates ont été calibrées sur les critères de calibrage de 50%, 60% et 70% en postulant des valeurs d'erreur de mise en œuvre positive constantes de 10%, 20%, 30% et 40%. Ces résultats ont été présentés au GTM suivant (Edwards, 2022c, IOTC, 2022a) et ont fait l'objet de tests de robustesse complémentaires pour présentation à la TFESG du GTM, Edwards2023a. Cette réunion a formulé des avis techniques sur les travaux qui ont servi au développement approfondi du cadre de tests de simulation. Ces suggestions incluaient : 1) le calibrage de la PG en supposant aucune erreur de mise en œuvre ; 2) la révision de la terminologie utilisée pour définir les critères de calibrage ; 3) l'inclusion de diagnostics basés sur la PME ; 4) l'inclusion d'une limite de 15% imposée au changement de la capture recommandée ; et 4) l'inclusion d'un décalage de données de 2–3 ans dans le cycle de mise en œuvre.

Tableau 1: Termes utilisés pour décrire la PG et l'évaluation de ses performances. L'indice y se rapporte à l'année et $y = L$ se rapporte à l'année décalée.

Désignation	Description
Résultat	
C_y^{TAC}	Capture totale recommandée pour trois années y à $y + 2$
Paramètres de calibrage	
C_{min}, C_{max}	Résultats de la capture min. et max.
a_x, a_T	Niveau de sécurité et valeurs seuil pour a_y
Valeur d'entrée	
$a_{y=L}$	Moyenne des indices d'abondance log-normalisés de PL et PSLS pour l'année L
Points de référence	
$C_{40\%}$	Capture associée à $B_{40\%}$
PRC	Point de référence cible ($B_{40\%}$)
PRL	Point de référence limite ($B_{20\%}$)

Le présent rapport donne un aperçu de la situation du développement de la PG et présente les PG candidates qui se basent sur des simulations actualisées, et en référence aux recommandations précédentes.

2 PG candidates

Un ensemble de trois PG candidates est proposé dans les travaux actuels, chacune associée à l'un des critères de calibrage de 50%, 60% ou 70%. Ces PG utilisent les mêmes valeurs d'entrée des données et ont une forme structurelle commune pour la HCR, mais différent dans les valeurs précises par lesquelles la HCR est définie. Nous donnons, ici, un bref aperçu de l'algorithme de décision et des valeurs d'entrée des données, avec une description plus complète fournie par Edwards (2021b,a). Le Tableau 1 comporte un glossaire des termes.

2.1 Valeurs d'entrées des données

L'indicateur de l'état du stock a_L a été calculé d'après les indices d'abondance log-normalisés de PL et PSLs. Ces derniers présentent des tendances similaires dans le temps et nous calculons a_L comme la moyenne des deux indices log-normalisés sur les quatre saisons de l'année. Les travaux précédents ont montré que cet indicateur de l'état du stock a une forte relation linéaire positive avec l'épuisement du stock (Edwards, 2021b).

2.2 Règle de contrôle de l'exploitation

Dans le cadre de la PG, le calcul de la capture recommandée d'après les valeurs d'entrée des données est réalisé via une règle de contrôle de l'exploitation (HCR). Dans le contexte actuel, la capture recommandée pour l'année y (C_y^{TAC}) est ajustée en utilisant les valeurs de a_L comme valeur d'entrée:

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

où a_L se rapporte à l'indicateur de l'état du stock dans l'année décalée $y = L$. L'année décalée est l'année la plus récente pour laquelle des données d'entrée sont disponibles. On part du principe que les données les plus récentes disponibles correspondent à 2 années avant l'année y . Pour les valeurs $a_L \leq a_X$, la capture recommandée est égale à C_{min} . Au fur et à mesure que a_L augmente, la capture recommandée augmente également, jusqu'à ce que les valeurs de $a_L \geq a_T$ la capture recommandée est égale à C_{max} . Une représentation schématique de la relation entre a_L et C_y^{TAC} est illustrée à la Figure 1.

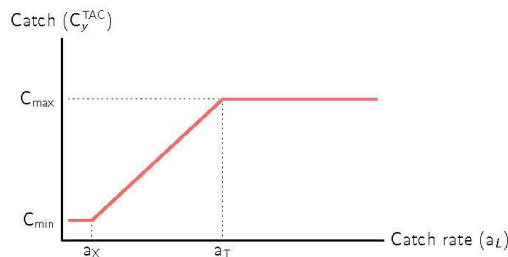


Figure 1 : Représentation schématique de la Règle de contrôle de l'exploitation empirique (Équation 1) proposée dans le cadre de la PG.

2.3 Paramètres de calibrage de la HCR

Les paramètres de calibrage spécifiés dans la Rés. 16/02 sont la valeur seuil (T) : l'épuisement de la biomasse reproductrice en dessous duquel la capture est réduite par rapport à sa valeur maximum ; et la limite de sécurité (X) : le niveau en dessous duquel la pêche qui n'est pas à des fins de subsistance est fermée. Ils sont fixés sur $B_T = B_{40\%}$ et $B_X = B_{10\%}$ en partant du principe que les valeurs de $B_{40\%}$ et $B_{10\%}$ sont disponibles lors de l'exécution de la HCR.

La HCR empirique actuelle proposée remplace B_T et B_X par des valeurs équivalentes de a_T et a_X . Afin d'éclairer la sélection des paramètres de calibrage a_X et a_T , la relation entre l'épuisement (B_{y+1}/B_0) et a_L a été estimée par Edwards (2021b). Sur la base des travaux précédents, $a_X = -5,00$ et $a_T = -1,70$ ont été sélectionnés comme les paramètres de calibrage 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} . D'après l'évaluation de Fu (2020), nous pouvons déduire la $C_{40\%}$ déterministe $\approx 532,075$ tonnes (Tableau 2). Les valeurs proposées pour la capture maximale C_{max} ont été informées par nos connaissances de $C_{40\%}$, par simulation puis utilisées pour sélectionner une valeur susceptible de produire le résultat de gestion souhaité (spécifié à la Section 3.6). 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 calibrage sont répertoriées au Tableau 3. Les paramètres de calibrage des PG incluent désormais également une limite symétrique du volume que la capture recommandée peut modifier au cours de toute mise en œuvre donnée. Elle est fixée à 15% pour toutes les PG.

Tableau 2 : Estimations de l'état avec la médiane et les quantiles de 80% sur vingt-quatre scénarios de modèles (Edwards, 2022b), estimées en utilisant SS3.30. Les captures et les valeurs de biomasse sont données en unités de 1 000 tonnes. Ce tableau est équivalent aux résultats de l'évaluation du stock fournis au Tableau 3 du document IOTC (2020). Les valeurs pour 2020 sont estimées en supposant une projection sur 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_{PME}	477,103 (323,100 - 595,333)
B_{2020}	969,478 (706,899 - 1280,479)
$C_{40\%}$	532,075 (474,135 - 663,049)
C_{PME}	605,834 (509,798 - 745,603)
C_{2020}	635,185 (483,536 - 790,993)
$E_{40\%}$	0,597 (0,541 - 0,650)
E_{PME}	1,066 (0,795 - 1,501)
E_{2020}	0,580 (0,532 - 0,643)
B_{2020}/B_0	0,464 (0,389 - 0,518)
$B_{2020}/B_{40\%}$	1,161 (0,972 - 1,295)
B_{2020}/B_{PME}	2,074 (1,516 - 2,72)
$C_{2020}/C_{40\%}$	1,140 (1,003 - 1,246)
C_{2020}/C_{PME}	1,037 (0,900 - 1,116)
$E_{2020}/E_{40\%}$	0,980 (0,947 - 1,011)
E_{2020}/E_{PME}	0,544 (0,418 - 0,681)

Tableau 3 : Paramètres des PG testés lors du calibrage. Les PG maintenues sont marquées avec leurs critères de calibrage associés.

PG	C _{min}	C _{max}	a _x	a _T	% de la limite de changement
	53,21	425,66	-5,00	-1,70	15
	53,21	430,98	-5,00	-1,70	15
	53,21	436,30	-5,00	-1,70	15
	53,21	441,62	-5,00	-1,70	15
	53,21	446,94	-5,00	-1,70	15
	53,21	452,26	-5,00	-1,70	15
	53,21	457,58	-5,00	-1,70	15
	53,21	462,91	-5,00	-1,70	15
	53,21	468,23	-5,00	-1,70	15
	53,21	473,55	-5,00	-1,70	15
	53,21	478,87	-5,00	-1,70	15
MP1-70%	53,21	484,19	-5,00	-1,70	15
	53,21	489,51	-5,00	-1,70	15
	53,21	494,83	-5,00	-1,70	15
	53,21	500,15	-5,00	-1,70	15
	53,21	505,47	-5,00	-1,70	15
	53,21	510,79	-5,00	-1,70	15
	53,21	516,11	-5,00	-1,70	15
	53,21	521,43	-5,00	-1,70	15
	53,21	526,75	-5,00	-1,70	15
MP2-60%	53,21	532,08	-5,00	-1,70	15
	53,21	537,40	-5,00	-1,70	15
	53,21	542,72	-5,00	-1,70	15
	53,21	548,04	-5,00	-1,70	15
	53,21	553,36	-5,00	-1,70	15
	53,21	558,68	-5,00	-1,70	15
MP3-50%	53,21	564,00	-5,00	-1,70	15
	53,21	569,32	-5,00	-1,70	15
	53,21	574,64	-5,00	-1,70	15
	53,21	579,96	-5,00	-1,70	15
	53,21	585,28	-5,00	-1,70	15
	53,21	590,60	-5,00	-1,70	15
	53,21	595,92	-5,00	-1,70	15
	53,21	601,24	-5,00	-1,70	15
	53,21	606,57	-5,00	-1,70	15
	53,21	611,89	-5,00	-1,70	15

Tableau 4 : Résultats des diagnostics pour les évaluations des PG sur une période de projection de 17 ans (2024 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 six années de mise en œuvre du TAC (à partir de 2024 inclus) ont été utilisées et calculées par rapport au TAC précédent.

Statistique de performance	Description	Statistique récapitulative
Capture		
$C_{y,TAC}$	Total admissible de captures (trois ans)	Moyenne
C	Capture totale réalisée	Moyenne
$C_{[PL]}$	Capture pour la flottille PL	Moyenne
$C_{[PSLS]}$	Capture pour la flottille PSLS	Moyenne
$C_{[PSFS]}$	Capture pour la flottille PSFS	Moyenne
$C_y/C_{40\%}$	Capture par rapport à cible	Moyenne géométrique
C_y/C_{PME}	Capture par rapport à PME	Moyenne géométrique
Stabilité des captures (années du TAC seulement)		
$C_{y,TAC} \neq C_{y-1,TAC}$	n. changements du TAC	Nombre
$ C_{y,TAC} / C_{y-1,TAC} - 1 $	Changement du TAC	% moyen changement
Max. $ C_{y,TAC} / C_{y-1,TAC} - 1 $	Changement max. du TAC	% max. changement
Pr. $ C_{y,TAC} / C_{y-1,TAC} - 1 > 10\%$	Changement du TAC >10%	Probabilité
Pr. $ C_{y,TAC} / C_{y-1,TAC} - 1 > 5\%$	Changement du TAC >5%	Probabilité
Pr. $ C_{y,TAC} / C_{y-1,TAC} - 1 = 15\%$	Changement du TAC à la limite	Probabilité
Taux de capture		
$PUE_{[PL]}$	PUE pour flottille PL	Moyenne géométrique
$PUE_{[PSLS]}$	PUE pour flottille PSLS	Moyenne géométrique
Taux d'exploitation		
E_y	Taux d'exploitation	Moyenne géométrique
$E_y/E_{40\%}$	Exploitation par rapport à cible	Moyenne géométrique
E_y/E_{PME}	Exploitation par rapport à PME	Moyenne géométrique
Biomasse du stock		
B_y	Biomasse du stock	Moyenne
B_y/B_0	Épuisement par rapport à B_0	Moyenne géométrique
B_y/B_{PME}	Épuisement par rapport à B_{PME}	Moyenne géométrique
B_{MIN}/B_0	Épuisement min.	Minimum
Pr. $> B_{20\%}$	$B_y > B_{20\%}$	Probabilité
Pr. $> B_{10\%}$	$B_y > B_{10\%}$	Probabilité
Quadrant cible		
Pr. Quadrant cible	$B_y > B_{40\%}$ et $E_y < E_{40\%}$	Probabilité
Quadrants de Kobe		
Pr. Rouge Kobe	$B_y < B_{PME}$ et $E_y > E_{PME}$	Probabilité
Pr. Vert Kobe	$B_y > B_{PME}$ et $E_y < E_{PME}$	Probabilité
Quadrants de Majuro		
Pr. Rouge Majuro	$B_y < B_{20\%}$	Probabilité
Pr. Blanc Majuro	$B_y > B_{20\%}$ et $E_y < E_{40\%}$	Probabilité

3 Cadre d'évaluation des simulations

Le cadre d'évaluation se basait sur un ensemble de modèles opérationnels de SS III (Methot Jr. et Wetzel, 2013, version 3.30.16.02), appelés dans **R** (Équipe de base R, 2021) et en utilisant le progiciel **R** r4ss (Taylor et al., 2021).

3.1 Modèles opérationnels

Les Modèles opérationnels se basaient sur l'évaluation du stock de listao de Fu (2020), couvrant la période 1950-2019 inclus. L'évaluation incluait une grille de douze scénarios de SS III à simple zone et douze scénarios à deux zones, décrits dans le document IOTC (2020). Les modèles ont été réajustés à des fins de validation, donnant les résultats résumés au Tableau 2.

3.2 Mise en œuvre de la capture

Le TAC pour 2020 a été fixé à 470 029 tonnes (CS, 2017), avec des captures réalisées de 547 289 tonnes, d'après les captures connues de la pêcherie. Le TAC de 2021 à 2023 a été fixé à 513 572 tonnes (CS, 2020), avec des captures réalisées de 650 331 tonnes par an au cours de cette période. Par la suite, la PG a été utilisée pour fixer la capture, avec une mise en œuvre de la PG tous les trois ans et un décalage de données de 2 ans (c.-à-d., la première mise en œuvre fixait une capture recommandée pour 2024 à 2026 inclus, sur la base des données supposées être disponibles jusqu'à 2022 inclus).

3.3 Dimensions

Au total, 36 PG ont été testées (Tableau 3). Pour chaque PG, les 24 variations des modèles opérationnels ont été projetées, avec dix itérations stochastiques pour chacune. Chaque simulation projetait le stock vers l'avant sur vingt-et-une années de 2020 à 2040 inclus.

3.4 Points de référence

Les points de référence pour SKJ se basent sur l'épuisement (IOTC, 2016), en raison des difficultés connues liées à l'estimation de la PME (Rés. 15/10, IOTC, 2015). Le point de référence cible (TRP) est $B_{40\%}$, qui est 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 $E_{20\%}$.

3.5 Diagnostics

La performance de chaque PG a été évaluée essentiellement par rapport aux objectifs de gestion fixés pour le stock : maintenir la biomasse au niveau ou au-delà du PRC de $B_{40\%}$; et éviter le PRL de $B_{20\%}$ (IOTC, 2015). Une liste exhaustive des diagnostics avec lesquels comparer les PG a été obtenue de Bentley et Adam (2016) et est décrite au Tableau 4. Ils incluent l'expression de l'état du stock en utilisant la matrice de stratégie de Kobe. Faisant suite aux recommandations issues des documents IOTC (2021e) et IOTC (2021a), l'état du stock a également été communiqué à l'aide des quadrants de Majuro. 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 des points de référence basés sur la PME. En raison de la difficulté à estimer ces points de référence, le PRC et le PRL ont été utilisés dans les travaux précédents pour présenter les diagnostics de Kobe (c.-à-d., les matrices de stratégie de Kobe ont été élaborées en utilisant les points de référence $B_{40\%}$ et $E_{40\%}$, plutôt que B_{PME} et E_{PME}). Dans les travaux actuels, les matrices de Kobe sont élaborées en utilisant B_{PME} et E_{PME} . Les valeurs estimées pour B_{PME} et E_{PME} sont répertoriées au Tableau 2 et ont également été utilisées pour élaborer des résultats de diagnostic additionnels (Tableau 4). Les présentations des graphiques de Majuro (utilisant PRL et PRC) restent inchangées.

3.6 Calibrage

Les PG ont été calibrées en utilisant la probabilité que $B_y > B_{40\%}$ et $E_y < E_{40\%}$, en moyenne sur les années de projection 11 à 15 (2030 à 2034 inclus). Cela est dénommé le « Quadrant cible », ce qui s'écarte de la terminologie précédente, afin de le différencier des quadrants de Kobe qui sont définis à l'aide de B_{PME} et E_{PME} (Tableau 4). Trois critères de calibrage ont été utilisés, correspondant à la probabilité de se situer dans le Quadrant cible de 50%, 60% et 70%. Si une PG correspondait à hauteur de 1% à l'un de ces critères de calibrage, elle était alors sélectionnée pour examen approfondi.

3.7 Tests de robustesse

Faisant suite aux recommandations initiales du GTM (IOTC, 2021d), la robustesse face à l'erreur de mise en œuvre a été étudiée dans chaque itération ultérieure du développement des PG. Cela implique la simulation des conséquences découlant du fait que les captures réalisées sont supérieures à la capture recommandée. Un exercice similaire a été répété dans l'étude actuelle. Dans chaque cas, des tests de robustesse ont été effectués en introduisant un multiplicateur constant dans le résultat de la capture recommandée par la PG, à partir de 2024 (la première année de mise en œuvre de la PG). Quatre valeurs d'erreur de mise en œuvre ont été testées, correspondant à une surpêche positive de 10%, 20%, 30% et 40% (Edwards, 2022c, 2023). Elles sont appelées tests de robustesse R01 à R04 respectivement.

4 Résultats et conclusions

4.1 PG calibrées

Les PG répertoriées au Tableau 3 ont été simulées vers l'avant dans le temps et les trois PG qui correspondaient aux différents critères de calibrage ont été maintenues. Elles sont dénommées : MP1-70%, MP2-60% et MP3-50% en fonction de la valeur supposée de C_{max} et des critères de calibrage. Le processus de calibrage est représenté visuellement à la Figure 2, qui montre la probabilité moyenne de se situer dans le Quadrant cible au fil du temps.

Les résultats des diagnostics pour chaque PG calibrée sont répertoriés au Tableau 5 et illustrés à la Figure 3. Ils indiquent que la MP-50% plus agressive produit des captures prévues plus élevées au détriment d'une biomasse du stock plus faible. Le différent degré de pression de pêche exercée sur le stock par chacune des PG est illustré par les diagrammes de phase de Kobe et de Majuro (Figure 4).

4.2 Tests de robustesse

Compte tenu des différents niveaux d'exploitation exercés par chacune des règles de contrôle, on pourrait s'attendre à ce qu'elles aient des performances différentes dans le cadre de différents niveaux d'erreur de mise en œuvre supposés. Les tests de simulation de MP1-70%, MP2-60% et MP3-50%, en supposant des erreurs de mise en œuvre de 10% à 40%, donnent les résultats illustrés aux Figures 5 et 6.

À des faibles niveaux d'erreur de mise en œuvre (R01 : 10%), le compromis entre les captures et la biomasse du stock est maintenu. Cependant, au fur et à mesure que l'erreur de mise en œuvre augmente, ce compromis se détériore. Pour une erreur de mise en œuvre de R04 : 40%, la MP3-50% plus agressive produit tant une biomasse du stock plus faible que des captures plus faibles. La PG ne peut pas compenser suffisamment cette grande erreur de mise en œuvre et le stock est épuisé. À des niveaux d'épuisement supérieurs, le TAC est réduit par la PG et les captures réalisées diminuent donc également. Ce résultat démontre que si une erreur de mise en œuvre positive est importante, une PG plus agressive ne conduit pas forcément à des captures plus élevées. Il indique également la probabilité que les PG calibrées atteignent les objectifs de gestion. À titre d'exemple, si l'erreur de mise en œuvre est aussi élevée que 40%, la MP-70% continue d'avoir une probabilité prévue de 55% de maintenir le stock dans le quadrant vert de Kobe (Tableau 6). Or, pour la MP-50%, cette probabilité chute à 30%. Par conséquent, aux fins de l'état du stock et des captures, la MP1-70% plus prudente serait préférable dans les cas où l'erreur de mise en œuvre est importante. Le choix de la PG appropriée pourrait donc dépendre de l'erreur de mise en œuvre postulée.

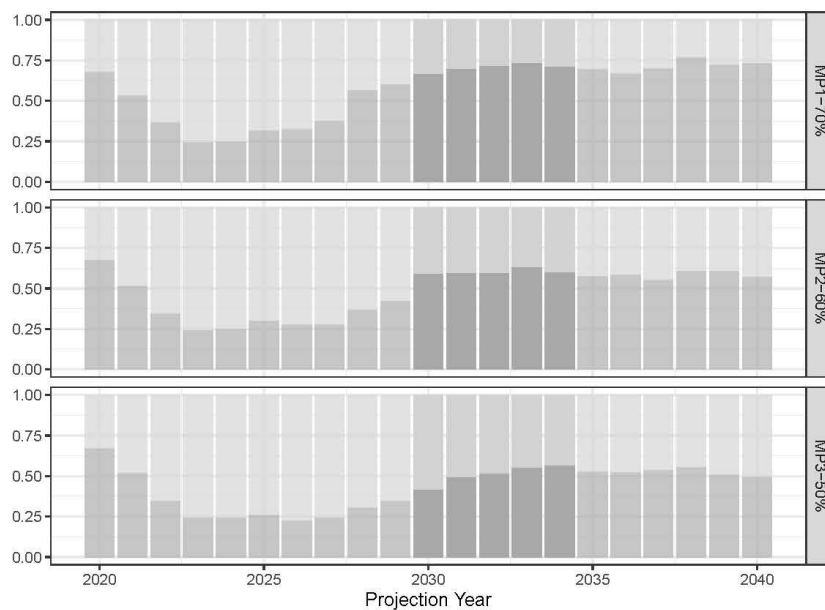


Figure 2 : Série temporelle pour les PG calibrées répertoriées au Tableau 3. Les probabilités moyennes du quadrant cible (définies au Tableau 4) pour chaque année, sur tous les scénarios et itérations des modèles pour cette PG, sont indiquées. Les probabilités entre 2030 et 2034 inclus ont été utilisées pour sélectionner les PG en utilisant les critères de calibrage.

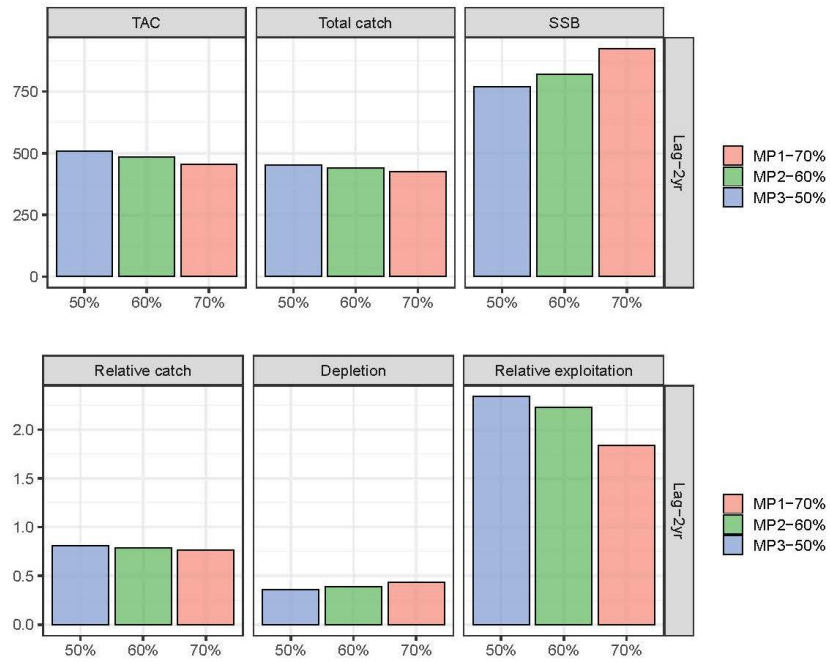


Figure 3 : Résultats récapitulatifs des diagnostics pour les PG calibrées répertoriées au Tableau 3. Les valeurs moyennes sont indiquées sur toutes les valeurs simulées entre 2024 et 2040.

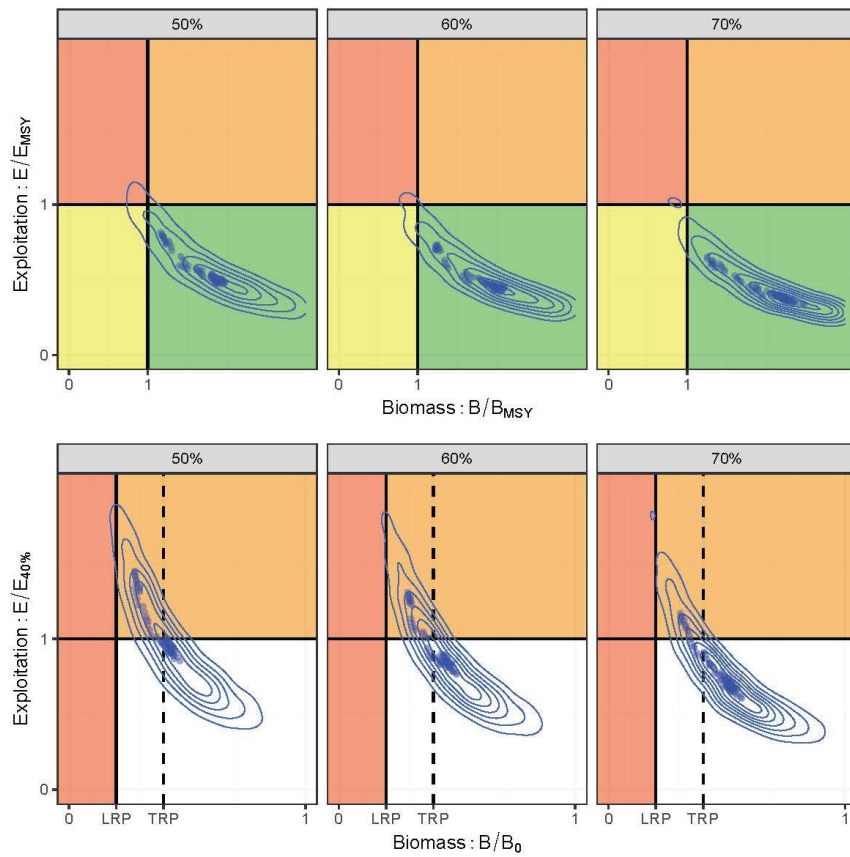


Figure 4 : Diagrammes de phase de Kobe (panneau supérieur) et de Majuro (panneau inférieur) pour les PG calibrées répertoriées au Tableau 3. Les contours indiquent un histogramme bidimensionnel de l'état du stock sur toutes les années pour lesquelles la PG a été utilisée pour établir les captures (c.-à-d. 2024 à 2040), vingt-quatre scénarios de modèles et dix itérations stochastiques pour chaque scénario. Les points bleus indiquent les valeurs de la médiane par an et PG pour chaque critère de calibrage.

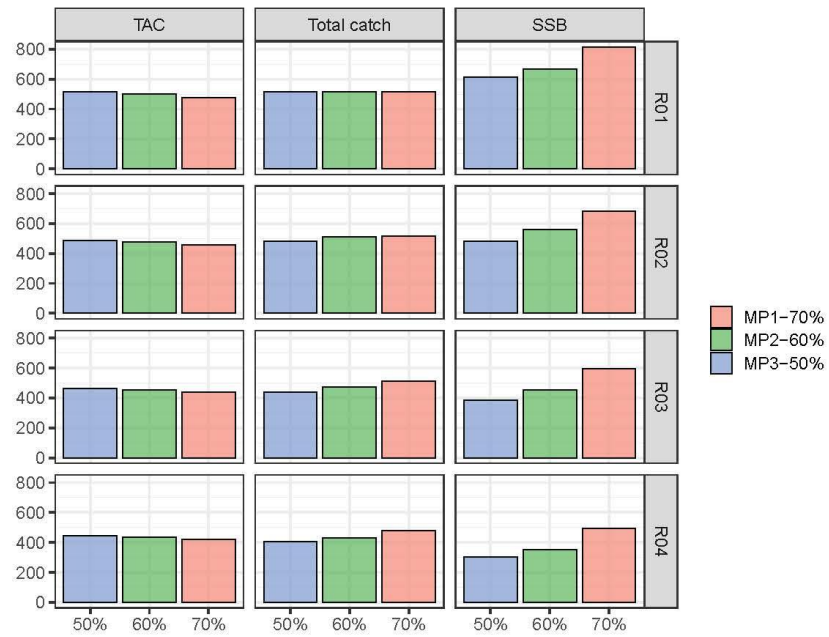


Figure 5 : Résultats récapitulatifs des tests de robustesse : R01 (erreur de mise en œuvre positive de 10%) à R04 (erreur de mise en œuvre positive de 40%). Les valeurs moyennes sont indiquées sur toutes les valeurs simulées entre 2024 et 2040.

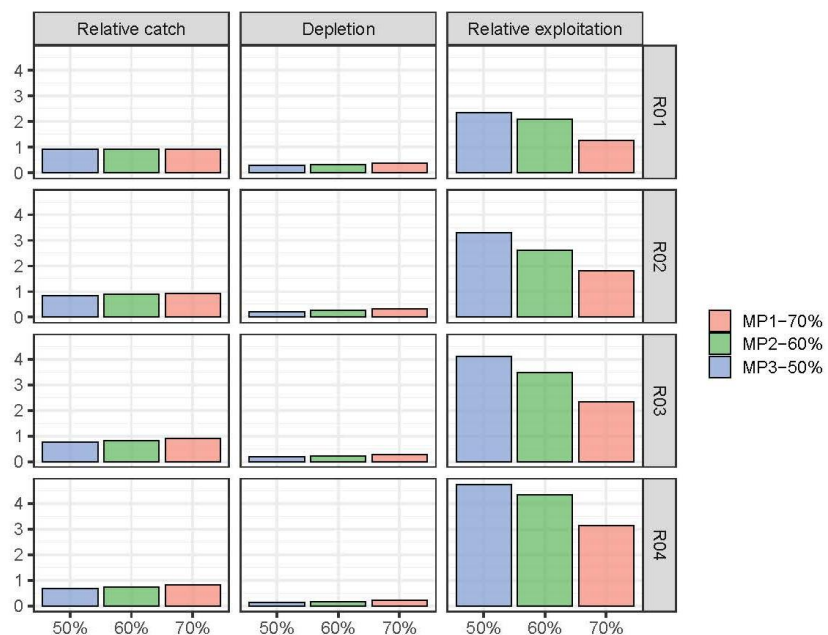


Figure 6 : Résultats récapitulatifs des tests de robustesse : R01 (erreur de mise en œuvre positive de 10%) à R04 (erreur de mise en œuvre positive de 40%). Les valeurs moyennes sont indiquées sur toutes les valeurs simulées entre 2024 et 2040.

Tableau 5 : Résultats des diagnostics pour évaluer les PG basées sur l'indice avec un décalage supposé de 2 ans (voir Tableau 3 pour la liste des définitions des PG et Tableau 4 pour une description de chaque diagnostic).

Performance Statistic	Units	MP1-70%	MP2-60%	MP3-50%
C_y^{TAC}	10 ³ tonnes	474.51 (319.62 - 489.51)	520.60 (334.06 - 532.18)	546.70 (353.68 - 564.00)
C	10 ³ tonnes	474.51 (93.24 - 489.51)	517.75 (65.99 - 536.86)	541.67 (61.73 - 564.00)
$C_{[PI]}$	10 ³ tonnes	77.44 (9.66 - 80.85)	83.73 (6.33 - 87.86)	87.44 (6.13 - 92.86)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	180.84 (48.75 - 188.97)	196.40 (23.57 - 205.12)	207.40 (21.73 - 216.75)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	26.88 (8.93 - 28.42)	28.99 (4.66 - 30.78)	30.65 (4.41 - 32.58)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	0.83 (0.00 - 0.95)	0.88 (0.00 - 1.01)	0.91 (0.00 - 1.06)
C_y/C_{MSY}	Proportion	0.76 (0.00 - 0.88)	0.79 (0.00 - 0.95)	0.83 (0.00 - 0.98)
$\frac{C_y^{TAC} \neq C_{y-1}^{TAC}}{C_y^{TAC}}$	Count	1.00 (0.00 - 6.00)	1.00 (0.00 - 6.00)	2.00 (0.00 - 6.00)
$ \frac{C_y^{TAC}}{C_{y-1}^{TAC}} - 1 $	Percent	1.30 (0.78 - 14.46)	3.63 (0.43 - 13.85)	6.54 (1.46 - 13.85)
Pr. $ \frac{C_y^{TAC}}{C_{y-1}^{TAC}} - 1 > 10\%$	Prob.	0.26	0.31	0.38
Pr. $ \frac{C_y^{TAC}}{C_{y-1}^{TAC}} - 1 > 5\%$	Prob.	0.36	0.36	0.50
Pr. $ \frac{C_y^{TAC}}{C_{y-1}^{TAC}} - 1 = 15\%$	Prob.	0.23	0.28	0.30
$CPUE_{[PI]}$	Rate	0.02 (0.00 - 0.03)	0.02 (0.00 - 0.03)	0.02 (0.00 - 0.03)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	10.46 (0.00 - 13.32)	9.71 (0.00 - 12.79)	9.12 (0.00 - 12.37)
E_y	Rate	0.48 (0.28 - 3.91)	0.57 (0.32 - 4.94)	0.63 (0.32 - 5.06)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	0.78 (0.51 - 6.45)	0.91 (0.54 - 9.01)	1.00 (0.57 - 9.24)
E_y/E_{MSY}	Proportion	0.43 (0.27 - 3.94)	0.51 (0.31 - 5.33)	0.54 (0.34 - 5.34)
B_y	10 ³ tonnes	907.92 (24.69 - 1562.27)	822.00 (22.73 - 1474.63)	772.40 (20.70 - 1388.06)
B_y/B_0	Proportion	0.44 (0.00 - 0.63)	0.40 (0.00 - 0.60)	0.37 (0.00 - 0.57)
B_y/B_{MSY}	Proportion	1.96 (0.00 - 3.02)	1.79 (0.00 - 2.85)	1.66 (0.00 - 2.71)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.84	0.78	0.76
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.88	0.84	0.83
Pr. Target Quadrant	Prob.	0.60	0.49	0.43
Pr. Kobe Red	Prob.	0.17	0.22	0.25
Pr. Kobe Green	Prob.	0.80	0.75	0.71
Pr. Majuro Red	Prob.	0.16	0.22	0.24
Pr. Majuro White	Prob.	0.82	0.76	0.72

Tableau 6 : Résultats des diagnostics des tests de robustesse de MP1-70%(voir Tableau 3 pour la liste des définitions des PG et Tableau 4 pour une description de chaque diagnostic).

Performance Statistic	Units	R01	R02	R03	R04
C_y^{TAC}	10 ³ tonnes	484.19 (443.28 - 484.19)	484.19 (343.05 - 484.19)	467.14 (342.16 - 484.19)	430.66 (342.16 - 484.19)
C	10 ³ tonnes	532.61 (487.61 - 532.61)	581.03 (212.77 - 581.03)	606.07 (138.96 - 629.44)	601.31 (120.31 - 677.86)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	86.45 (79.88 - 90.03)	93.65 (33.19 - 96.28)	97.77 (19.29 - 103.13)	88.33 (16.72 - 109.25)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	200.04 (182.87 - 206.96)	217.60 (78.82 - 225.77)	229.78 (50.26 - 244.59)	235.47 (42.27 - 263.40)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	30.00 (26.53 - 31.18)	32.13 (13.07 - 33.96)	33.79 (9.07 - 36.64)	34.45 (8.32 - 39.28)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	0.98 (0.78 - 1.06)	1.00 (0.01 - 1.11)	1.03 (0.00 - 1.13)	1.00 (0.00 - 1.13)
C_y/C_{MSY}	Proportion	0.87 (0.71 - 0.97)	0.87 (0.01 - 1.01)	0.93 (0.00 - 1.01)	0.91 (0.00 - 1.00)
$C_y^{TAC} \neq C_{y-1}^{TAC}$	Count	1.00 (1.00 - 5.00)	1.00 (1.00 - 6.00)	5.00 (1.00 - 6.00)	5.00 (1.00 - 6.00)
$ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 $	Percent	0.95 (0.95 - 9.36)	0.95 (0.95 - 13.45)	6.15 (0.95 - 13.45)	10.95 (0.95 - 13.45)
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 10\%$	Prob.	0.10	0.21	0.35	0.47
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 5\%$	Prob.	0.30	0.41	0.57	0.67
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 = 15\%$	Prob.	0.08	0.19	0.29	0.44
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.02 (0.01 - 0.02)	0.01 (0.00 - 0.02)	0.01 (0.00 - 0.02)	0.01 (0.00 - 0.02)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	10.04 (7.02 - 10.99)	8.84 (0.11 - 9.99)	7.98 (0.01 - 9.27)	6.60 (0.00 - 8.79)
E_y	Rate	0.58 (0.34 - 0.93)	0.71 (0.40 - 1.15)	0.84 (0.47 - 4.10)	0.97 (0.55 - 4.59)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	1.03 (0.59 - 1.67)	1.30 (0.69 - 2.00)	1.45 (0.79 - 6.76)	1.59 (0.94 - 7.57)
E_y/E_{MSY}	Proportion	0.52 (0.32 - 1.15)	0.65 (0.37 - 1.40)	0.78 (0.41 - 3.84)	0.82 (0.50 - 4.27)
B_y	10 ³ tonnes	805.43 (459.85 - 1396.97)	633.78 (103.60 - 1281.57)	562.81 (56.32 - 1178.67)	495.67 (43.49 - 1068.86)
B_y/B_0	Proportion	0.39 (0.23 - 0.55)	0.31 (0.00 - 0.51)	0.28 (0.00 - 0.47)	0.25 (0.00 - 0.42)
B_y/B_{MSY}	Proportion	1.82 (0.82 - 2.56)	1.52 (0.01 - 2.29)	1.24 (0.00 - 2.06)	1.13 (0.00 - 1.87)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.92	0.82	0.76	0.63
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.97	0.90	0.84	0.73
Pr. Target Quadrant	Prob.	0.47	0.32	0.22	0.14
Pr. Kobe Red	Prob.	0.15	0.22	0.27	0.39
Pr. Kobe Green	Prob.	0.83	0.74	0.68	0.55
Pr. Majuro Red	Prob.	0.08	0.18	0.24	0.37
Pr. Majuro White	Prob.	0.84	0.75	0.69	0.55

Tableau 7 : Résultats des diagnostics des tests de robustesse de MP2-60%(voir Tableau 3 pour la liste des définitions des PG et Tableau 4 pour une description de chaque diagnostic).

Performance Statistic	Units	R01	R02	R03	R04
C_y^{TAC}	10 ³ tonnes	532.08 (376.00 - 532.08)	504.99 (376.00 - 532.08)	467.88 (376.00 - 532.08)	425.78 (376.00 - 531.58)
C	10 ³ tonnes	585.28 (200.34 - 585.28)	605.99 (134.84 - 638.49)	600.66 (116.24 - 691.70)	410.41 (104.50 - 744.21)
$C_{[PE]}$	10 ³ tonnes	93.82 (30.94 - 96.99)	96.36 (19.17 - 104.61)	82.72 (16.13 - 111.48)	48.36 (14.93 - 119.18)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	219.19 (73.22 - 227.43)	231.78 (48.53 - 248.10)	237.31 (41.16 - 268.78)	174.68 (35.90 - 289.83)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	32.37 (12.98 - 34.21)	34.01 (9.05 - 37.17)	35.03 (8.08 - 40.08)	31.98 (8.02 - 43.36)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	1.01 (0.00 - 1.11)	1.03 (0.00 - 1.12)	1.02 (0.00 - 1.14)	0.44 (0.00 - 1.15)
C_y/C_{MSY}	Proportion	0.88 (0.00 - 1.01)	0.93 (0.00 - 1.00)	0.92 (0.00 - 1.02)	0.41 (0.00 - 1.01)
$C_y^{TAC} \neq C_{y-1}^{TAC}$	Count	1.00 (1.00 - 6.00)	5.00 (1.00 - 6.00)	6.00 (1.00 - 6.00)	6.00 (1.20 - 6.00)
$ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 $	Percent	0.60 (0.60 - 13.10)	6.80 (0.60 - 13.10)	10.60 (0.60 - 13.10)	11.33 (0.75 - 13.10)
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 10\%$	Prob.	0.24	0.39	0.50	0.58
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 5\%$	Prob.	0.26	0.41	0.52	0.62
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 = 15\%$	Prob.	0.19	0.34	0.46	0.56
$CPUE_{[PE]}$	Rate	0.01 (0.00 - 0.02)	0.01 (0.00 - 0.02)	0.01 (0.00 - 0.02)	0.00 (0.00 - 0.01)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	8.74 (0.00 - 9.90)	7.58 (0.00 - 9.20)	6.17 (0.00 - 8.42)	0.91 (0.00 - 7.62)
E_y	Rate	0.79 (0.41 - 3.42)	0.95 (0.49 - 4.32)	1.10 (0.58 - 4.65)	2.19 (0.72 - 4.85)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	1.38 (0.70 - 5.64)	1.54 (0.83 - 7.15)	1.73 (1.00 - 7.66)	3.68 (1.21 - 7.99)
E_y/E_{MSY}	Proportion	0.67 (0.38 - 3.18)	0.80 (0.45 - 4.03)	0.90 (0.54 - 4.32)	2.08 (0.66 - 4.50)
B_y	10 ³ tonnes	622.69 (73.90 - 1272.74)	533.25 (50.68 - 1158.77)	444.87 (41.51 - 1035.74)	228.41 (36.42 - 897.27)
B_y/B_0	Proportion	0.31 (0.00 - 0.51)	0.28 (0.00 - 0.46)	0.24 (0.00 - 0.41)	0.05 (0.00 - 0.35)
B_y/B_{MSY}	Proportion	1.51 (0.00 - 2.26)	1.27 (0.00 - 2.03)	1.09 (0.00 - 1.81)	0.18 (0.00 - 1.56)
Pr. $> B_{20\%}$	Prob.	0.81	0.72	0.59	0.45
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.87	0.81	0.70	0.57
Pr. Target Quadrant	Prob.	0.29	0.18	0.08	0.02
Pr. Kobe Red	Prob.	0.24	0.31	0.44	0.57
Pr. Kobe Green	Prob.	0.73	0.65	0.51	0.37
Pr. Majuro Red	Prob.	0.19	0.28	0.41	0.55
Pr. Majuro White	Prob.	0.74	0.65	0.52	0.37

Tableau 8 : Résultats des diagnostics des tests de robustesse de MP3-50%(voir Tableau 3 pour la liste des définitions des PG et Tableau 4 pour une description de chaque diagnostic).

Performance Statistic	Units	R01	R02	R03	R04
C_y^{TAC}	10 ³ tonnes	551.87 (398.56 - 564.00)	502.22 (398.56 - 564.00)	451.33 (398.56 - 564.00)	400.79 (398.56 - 549.03)
C	10 ³ tonnes	606.46 (146.30 - 620.40)	600.51 (120.62 - 676.80)	463.94 (106.61 - 733.20)	343.50 (98.62 - 768.58)
$C_{[PL]}$	10 ³ tonnes	98.84 (19.59 - 101.74)	89.87 (16.79 - 109.08)	51.73 (15.15 - 117.46)	36.27 (13.66 - 123.26)
$C_{[PSLS]}$	10 ³ tonnes	228.52 (52.60 - 241.07)	235.38 (42.34 - 262.99)	191.11 (36.86 - 284.90)	119.12 (33.06 - 294.79)
$C_{[PSFS]}$	10 ³ tonnes	33.76 (9.63 - 36.11)	34.48 (8.34 - 39.22)	34.08 (8.15 - 41.59)	30.18 (7.29 - 46.03)
$C_y/C_{40\%}$	Proportion	1.01 (0.00 - 1.14)	1.00 (0.00 - 1.13)	0.64 (0.00 - 1.16)	0.16 (0.00 - 1.14)
C_y/C_{MSY}	Proportion	0.92 (0.00 - 1.01)	0.92 (0.00 - 1.00)	0.58 (0.00 - 1.01)	0.15 (0.00 - 1.02)
$C_y^{TAC} \neq C_{y-1}^{TAC}$	Count	5.00 (1.00 - 6.00)	5.00 (1.00 - 6.00)	6.00 (1.00 - 6.00)	6.00 (4.00 - 6.00)
$ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 $	Percent	5.12 (1.64 - 14.14)	11.64 (1.64 - 14.14)	12.52 (1.64 - 14.14)	14.14 (4.68 - 14.14)
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 10\%$	Prob.	0.31	0.47	0.57	0.65
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 > 5\%$	Prob.	0.55	0.67	0.77	0.87
Pr. $ C_y^{TAC}/C_{y-1}^{TAC} - 1 = 15\%$	Prob.	0.27	0.44	0.55	0.64
$CPUE_{[PL]}$	Rate	0.01 (0.00 - 0.02)	0.01 (0.00 - 0.02)	0.00 (0.00 - 0.01)	0.00 (0.00 - 0.01)
$CPUE_{[PSLS]}$	Rate	6.06 (0.00 - 9.35)	6.63 (0.00 - 8.80)	4.18 (0.00 - 7.86)	0.55 (0.00 - 7.19)
E_y	Rate	0.82 (0.45 - 4.18)	0.99 (0.55 - 4.59)	1.43 (0.66 - 4.81)	2.27 (0.84 - 4.95)
$E_y/E_{40\%}$	Proportion	1.43 (0.77 - 6.88)	1.59 (0.95 - 7.56)	2.20 (1.15 - 7.92)	4.00 (1.43 - 8.16)
E_y/E_{MSY}	Proportion	0.76 (0.40 - 3.88)	0.88 (0.51 - 4.26)	1.13 (0.63 - 4.47)	2.46 (0.73 - 4.60)
B_y	10 ³ tonnes	553.11 (53.41 - 1198.34)	480.75 (43.65 - 1071.37)	353.20 (37.22 - 929.65)	185.38 (33.65 - 786.57)
B_y/B_0	Proportion	0.29 (0.00 - 0.48)	0.25 (0.00 - 0.42)	0.18 (0.00 - 0.37)	0.02 (0.00 - 0.31)
B_y/B_{MSY}	Proportion	1.31 (0.00 - 2.10)	1.13 (0.00 - 1.87)	0.70 (0.00 - 1.62)	0.07 (0.00 - 1.44)
Pr. $> B_{30\%}$	Prob.	0.77	0.62	0.49	0.37
Pr. $> B_{10\%}$	Prob.	0.86	0.72	0.61	0.50
Pr. Target Quadrant	Prob.	0.23	0.13	0.03	0.02
Pr. Kobe Red	Prob.	0.26	0.42	0.53	0.64
Pr. Kobe Green	Prob.	0.69	0.54	0.40	0.30
Pr. Majuro Red	Prob.	0.23	0.38	0.51	0.63
Pr. Majuro White	Prob.	0.70	0.54	0.40	0.30

5 Remerciements

Les membres du GTM et du CTPG ont apporté un grand nombre de commentaires à ces travaux. Je tiens particulièrement à remercier Dan Fu (CTOI) pour avoir fourni les fichiers SS III, Alistair Dunn (Ocean Environmental) pour son 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.

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

6 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). Applications of a Bayesian biomass dynamic model to Indian Ocean Skipjack Tuna. *Research Report (IOTC-2020-WPM11-09)*
- 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. (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. (2023). Initial robustness trial of empirical MPs for Indian Ocean skipjack tuna. *Research Report (IOTC-2023-WPM14(MSE)-03)*
- 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 (2017a). 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 (2017b). Report of the 19th Session of the IOTC Working Party on Tropical Tunas. Seychelles, 17– 22 October 2017. *IOTC-2017-WPTT19-R[E]*

- 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 (2020). 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 (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). 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 (2021c). 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 (2021d). Report of the 12th Session of the IOTC Working Party on Methods. Online, 18 - 20 October 2021. *IOTC-2021-WPM12-R[E]*
- IOTC (2021e). 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]*
- 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.
- 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]*
- 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.