



Étude pilote de marquage-recapture de proches parents pour l'albacore de l'océan Indien

Comité scientifique de la CTOI

Décembre 2023

Ashley Williams, Laura Tremblay-Boyer, Rich Hillary, Ann
Preece

IOTC-2023-SC26

Citation

Williams AJ, Tremblay-Boyer L, Hillary RM, Preece AL (2023). A close-kin mark-recapture pilot study for Indian Ocean yellowfin tuna. Working Paper prepared for the 26th Session of the IOTC Scientific Committee, 4-8 December 2023.

Droit d'auteur

© Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation 2023. Dans la mesure permise par la loi, tous les droits sont réservés et aucune partie de cette publication couverte par le droit d'auteur ne peut être reproduite ou copiée sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, sauf avec l'autorisation écrite du CSIRO.

Clause de non-responsabilité

Le CSIRO précise que les informations contenues dans cette publication sont des déclarations générales fondées sur des recherches scientifiques. Le lecteur doit être conscient que ces informations peuvent être incomplètes ou ne pas pouvoir être utilisées dans une situation spécifique. Il convient donc de ne pas se fier à ces informations et de ne pas agir en conséquence sans demander au préalable l'avis d'un expert professionnel, scientifique et technique. Dans les limites autorisées par la loi, le CSIRO (y compris ses employés et consultants) exclut toute responsabilité envers toute personne pour toute conséquence, y compris, mais sans s'y limiter, toute perte, tout dommage, tout coût, toute dépense et toute autre compensation, découlant directement ou indirectement de l'utilisation de cette publication (en partie ou en totalité) et de toute information ou matériel qu'elle contient.

Le CSIRO s'engage à fournir un contenu accessible sur le web dans la mesure du possible. Si vous avez des difficultés à accéder à ce document, veuillez contacter [csiro.au/contact](https://www.csiro.au/contact).

Remerciements : Ce travail a été financé par DFAT Australia et CSIRO.

Contenu

1	RESUME	2
2	INTRODUCTION	2
3	PROPOSITION D'ETUDE PILOTE	3
3.1	OBJECTIFS.....	3
3.2	CALENDRIER.....	4
3.3	BUDGET	5
3.4	CONSIDERATIONS RELATIVES A L'ECHANTILLONNAGE.....	5
3.5	COLLECTE ET TRAITEMENT DES ECHANTILLONS.....	9
4	DISCUSSION	10
5	REFERENCES	11

1 Résumé

Une étude de conception de marquage-recapture de proches parents (CKMR) achevée en 2022 a estimé que la collecte d'environ 30 000 échantillons par an d'albacore de l'océan Indien, sur une période de cinq ans, fournirait une estimation de l'abondance absolue avec un niveau de précision acceptable. Le Groupe de travail sur les méthodes et le Groupe de travail sur les thons tropicaux ont noté les défis logistiques liés à la collecte d'un tel nombre d'échantillons et ont suggéré une approche par étapes de la mise en œuvre de la CKMR pour l'albacore. Ce document présente une proposition pour la mise en œuvre d'un projet-pilote de CKMR pour l'albacore de l'océan Indien afin d'évaluer la logistique et la faisabilité de l'échantillonnage, y compris une évaluation de la qualité de l'ADN collecté dans des lieux-clés. Le Comité scientifique est invité à donner son avis sur cette proposition.

2 Introduction

L'incertitude des évaluations des stocks de thons dans les organisations régionales de gestion des pêches (ORGP) a motivé l'exploration d'approches alternatives pour estimer l'abondance des thons. C'est notamment le cas du stock d'albacore de l'océan Indien, dont on estime depuis 2015 qu'il est surexploité et soumis à la surpêche, et qui a récemment fait l'objet d'un examen externe en raison notamment de conflits et d'inexactitudes dans les données introduites dans l'évaluation du stock (Maunder et al. 2023).

La méthode CKMR (*Close-kin mark-recapture*) est une méthode indépendante de la pêche qui peut fournir une estimation de l'abondance absolue et d'autres mesures-clés de la population telles que la mortalité totale (Bravington et al. 2016a). Il est important de noter qu'elle est indépendante des principales données et des biais associés à l'évaluation actuelle des stocks. La CKMR a fait ses preuves dans l'évaluation et la gestion du thon rouge du Sud (Bravington et al. 2016b), où les données sont intégrées dans les modèles d'évaluation des stocks et utilisées dans la procédure de gestion (par exemple, Hillary et al. 2019, 2020). La CKMR est en cours de développement pour une série d'autres espèces et dans l'ensemble des ORGP thonières, notamment pour le thon rouge de l'Atlantique (Grewe et al. 2018) et le germon du Pacifique Sud (SPC-OFP et CSIRO 2023).

La CKMR a d'abord été identifiée comme une activité de recherche prioritaire pour l'albacore dans le programme de travail du Groupe de travail sur les thons tropicaux (GTTT) en 2017 (CTOI 2017). En 2022, une étude de conception pour l'albacore de l'océan Indien a évalué une gamme de scénarios d'échantillonnage qui fourniraient des estimations de la biomasse du stock reproducteur, de l'épuisement, de la mortalité des adultes et du recrutement moyen à l'aide de la CKMR (Hillary et al. 2022). Les auteurs ont conclu que des tailles d'échantillons annuels d'environ 30 000 spécimens, collectés à partir des captures d'albacore sur une période de cinq ans, fourniraient une précision raisonnable dans les estimations de ces métriques de population. En outre, ils ont estimé qu'une plus grande précision dans les estimations des paramètres de la population pourrait être obtenue en échantillonnant proportionnellement plus de juvéniles que d'adultes, à savoir 70% de juvéniles et 30% d'adultes.

En 2022 et 2023, le Groupe de travail sur les méthodes (GTM) et le GTTT ont soutenu la poursuite de la mise en œuvre de la CKMR pour l'albacore de l'océan Indien (CTOI 2022a, b). Le GTM et le GTTT ont noté les défis logistiques liés à la collecte du nombre recommandé d'échantillons, et ont suggéré d'utiliser une approche par étapes, dans le cadre de laquelle une première année d'échantillonnage serait menée pour déterminer si des échantillons en nombre et en qualité suffisants peuvent être collectés tout en maintenant la contamination de l'ADN à des niveaux acceptablement bas. Le GTM et le GTTT ont également noté la nécessité éventuelle d'un échantillonnage adaptatif, dans le cadre duquel la taille de l'échantillon annuel pourrait devoir être augmentée les années suivantes si l'échantillonnage initial contient moins de paires parent-descendant (POP) et de paires demi-frères/sœurs (HSP) que prévu sur la base des résultats du travail de conception.

Ce document présente une proposition pour la mise en œuvre d'un projet pilote de CKMR pour l'albacore de l'océan Indien afin d'évaluer la logistique et la faisabilité de l'échantillonnage, ainsi que les niveaux de contamination croisée de l'ADN. La CKMR nécessite une estimation de l'âge des individus échantillonnés afin de déterminer l'année de naissance et les paramètres spécifiques à l'âge pour le calcul des probabilités de parenté. Par conséquent, la présente proposition contient également des éléments visant à affiner les estimations de la biologie reproductive spécifique à l'âge et à développer des méthodes de détermination de l'âge épigénétiques spécifiques à l'albacore de l'océan Indien. Les otolithes fournissent actuellement les estimations les plus fiables de l'âge des thons, mais il est peu probable que 30 000 otolithes puissent être collectés, traités et analysés chaque année pour l'albacore. Les méthodes de détermination de l'âge épigénétiques utilisant la méthylation de l'ADN ont démontré des résultats encourageants sur une gamme d'espèces (Mayne et al. 2020, 2021), y compris l'albacore dans l'océan Pacifique jusqu'à l'âge de 10 ans (Mayne et al. 2023). Le coût de l'épigénétique est comparable à celui de l'utilisation des otolithes pour estimer l'âge, mais les échantillons de tissus pour l'épigénétique peuvent être collectés beaucoup plus facilement que les otolithes. La détermination de l'âge épigénétique présenterait une option plus viable pour l'échantillonnage CKMR de l'albacore, car le même échantillon de tissu pourrait être utilisé à la fois pour le génotypage (afin d'identifier les paires de parents) et la détermination de l'âge épigénétique.

3 Proposition d'étude pilote

3.1 Objectifs

L'étude pilote de CKMR proposée pour l'albacore de l'océan Indien est un projet de 3 ans dont les principaux objectifs sont les suivants :

1. Établir un réseau de collaborateurs internationaux pour coordonner la mise en œuvre d'un programme d'échantillonnage de l'albacore.
2. Élaborer des procédures opérationnelles normalisées pour la collecte, le stockage et le transport d'échantillons de tissus d'albacore.

3. Prélever jusqu'à l'objectif annuel de 30 000 échantillons de tissus musculaires d'albacores dans l'ensemble de l'océan Indien, en visant environ 70 % de poissons juvéniles et 30 % de poissons adultes.
4. Examiner le niveau de contamination de l'ADN des échantillons prélevés et adapter les méthodes de prélèvement si nécessaire.
5. Calibrer une horloge épigénétique pour estimer l'âge des albacores de l'océan Indien à partir d'échantillons de tissus (Mayne et al. 2023).
6. Affiner les estimations de la maturité et de la fécondité par âge pour l'albacore de l'océan Indien.
7. Évaluer la faisabilité de la mise en œuvre du plan d'échantillonnage quinquennal complet recommandé par Hillary et al. (2022).

3.2 Calendrier

Année 1

Plusieurs ateliers avec les principaux collaborateurs internationaux seront programmés au cours de la première année du projet afin de mettre en place l'équipe du projet et les dispositions institutionnelles, et d'élaborer des procédures opérationnelles standardisées pour la formation et l'échantillonnage. La formation du personnel (par exemple les échantillonneurs au port et les observateurs) pour effectuer l'échantillonnage commencera également au cours de la première année.

Des estimations de la maturité et de la fécondité spécifiques à l'âge et une horloge épigénétique pour l'albacore de l'océan Indien seront développées au cours de la première année du projet à partir des échantillons de gonades et de tissus disponibles qui ont été collectés au cours de projets antérieurs tels que le projet GERUNDIO (Farley et al. 2023). Des échantillons supplémentaires collectés au cours de la deuxième année du projet pourraient être nécessaires pour compléter les échantillons de gonades et étendre la plage d'âge des échantillons pour l'horloge épigénétique si les échantillons initiaux sont insuffisants ou ne couvrent pas toute la plage d'âge attendue pour l'albacore.

Année 2

Le programme d'échantillonnage débutera au cours de la deuxième année, l'objectif étant de collecter jusqu'à 30 000 échantillons composés d'environ 70 % de juvéniles (<50 cm) et 30 % d'adultes (>75 cm).

Le programme d'échantillonnage sera examiné après 12 mois et fera l'objet d'un rapport au GTM, au GTTT et au Comité scientifique (CS) afin d'évaluer la faisabilité de la collecte du nombre-cible d'échantillons. Si la collecte du nombre-cible de 30 000 échantillons semble réalisable, l'échantillonnage se poursuivra au cours de la troisième année du projet dans le but de soutenir la mise en œuvre complète de la CKMR pour l'albacore.

Année 3

Le niveau de contamination croisée de l'ADN dans les échantillons sera testé pour un sous-échantillon de poissons prélevés dans chaque source principale d'échantillonnage. Si les niveaux de contamination s'avèrent élevés, des ajustements seront apportés aux méthodes d'échantillonnage pour les prochains échantillonnages.

Les résultats de l'étude pilote de la CKMR pour l'albacore de l'océan Indien seront communiqués au GTM, au GTTT et au CS à la fin du projet, où une décision sera prise pour soutenir la poursuite de la CKMR pour cette population.

Si une étude complète de la CKMR devait être menée à la suite de l'étude pilote, les échantillons recueillis dans le cadre de cette étude pourraient être utilisés dans l'étude complète. Un stockage adéquat de tous les échantillons collectés sera inclus dans le projet.

3.3 Budget

Le coût de la mise en œuvre de cette étude pilote de la CKMR pour l'albacore de l'océan Indien est nettement inférieur à celui de la mise en œuvre complète de la CKMR, étant donné que seuls 1 à 2 ans d'échantillons seront collectés, au lieu de 5 ans, et que la plupart de ces échantillons ne seront pas génotypés (au stade du programme pilote). Toutefois, la coordination de la collecte d'un grand nombre d'échantillons dans l'océan Indien entraîne encore des coûts importants. Il sera donc nécessaire de trouver des fonds extérieurs au budget scientifique de la CTOI. Un budget approximatif pour la mise en œuvre de cette étude pilote de CKMR devrait s'élever à environ 2 millions de dollars US sur une période de trois ans. Un budget plus détaillé sera élaboré pour une proposition de financement formelle si cette proposition est soutenue par le CS.

3.4 Considérations relatives à l'échantillonnage

Il sera important d'obtenir une répartition adéquate des échantillons dans le temps et dans l'espace afin de tenir compte de toute structuration de la population, de tout mouvement et de toute variation spatiale pertinente pour les paramètres du stock. Un mélange de classes de taille d'albacore sera également nécessaire pour garantir que la progéniture potentielle et les parents soient échantillonnés de manière adéquate et les juvéniles échantillonnés devront être suffisamment jeunes pour que l'on puisse déduire leur région d'origine.

Il sera probablement plus facile de prélever des échantillons de tissus sur des poissons déjà mesurés dans le cadre d'un programme de collecte de données en cours que d'établir des programmes supplémentaires d'échantillonnage de tissus. Par conséquent, les flottes et les pêcheries qui seront le plus probablement utiles pour entreprendre des programmes d'échantillonnage à grande échelle aux fins de la CKMR sont celles qui fournissent actuellement des données sur la longueur dans le cadre des programmes d'échantillonnage d'observateurs ou au port.

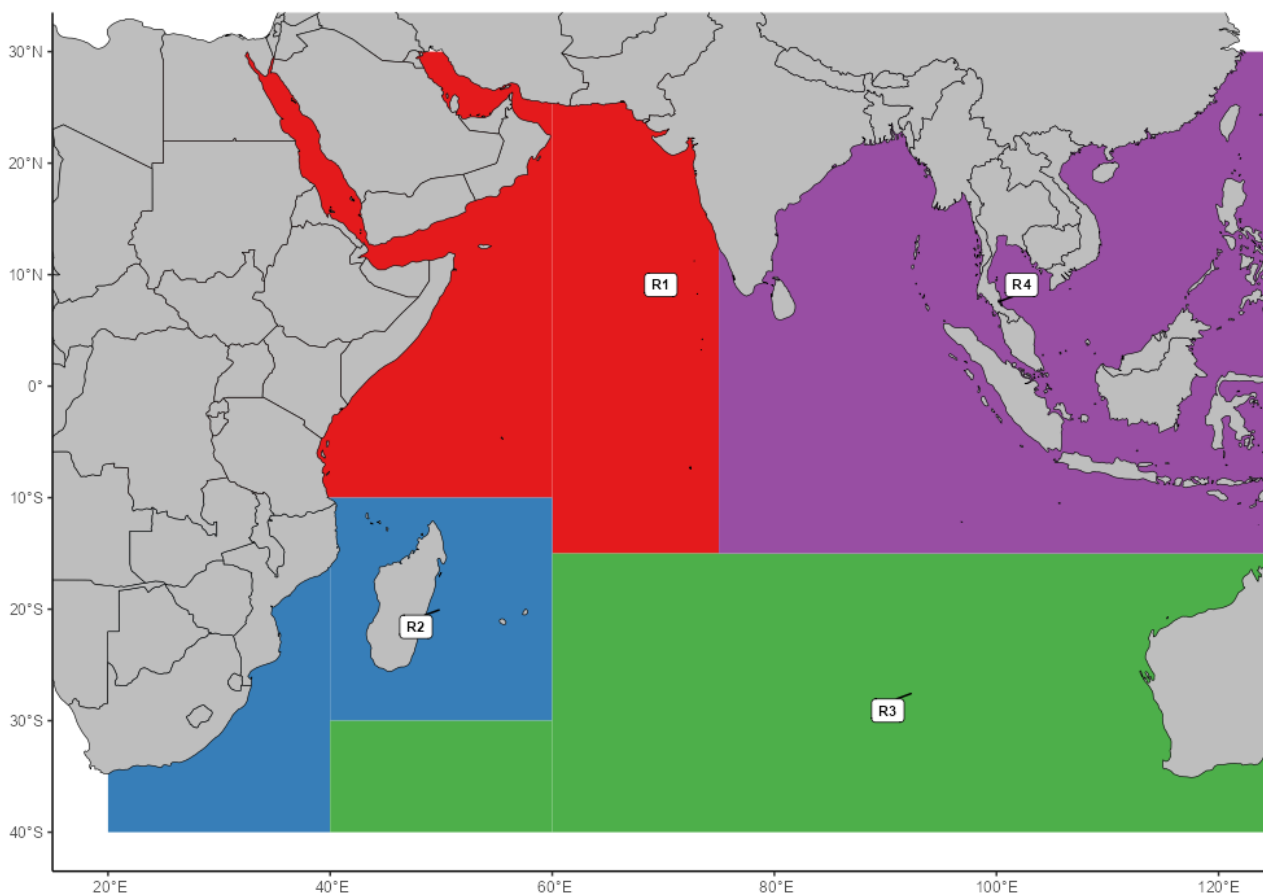


Figure 1. Stratification spatiale de l'océan Indien en quatre régions pour le modèle d'évaluation de base de l'albacore (Fu et al. 2021).

La possibilité de collecter des échantillons suffisants d'albacore pour la CKMR peut être évaluée en examinant les données de longueur déclarées à la CTOI. En utilisant les quatre zones d'évaluation du stock pour répartir spatialement l'échantillonnage (Figure 1), et deux classes de taille (<50 cm et >75 cm) pour représenter les échantillons de juvéniles et d'adultes, deux modes forts dans les données de fréquence de longueur sont apparents (Figure 2) qui reflètent la différence de ciblage et de sélectivité des types d'engins et la distribution des juvéniles d'albacore. La plupart des données de longueur ont été déclarées pour la Région 1 et la Région 4 et il s'agit également des régions où les plus grands nombres de petits albacores (<50cm) sont déclarés. Ceci est normal car l'albacore se reproduit dans les eaux tropicales et équatoriales et les juvéniles sont moins fréquents dans les eaux plus tempérées. Les grands albacores (>75cm) sont régulièrement déclarés pour toutes les régions, à l'exception de la Région 3 où l'échantillonnage est relativement rare en raison de la réduction substantielle de l'effort de pêche dans cette région.

Les résultats de l'étude de conception de la CKMR suggèrent qu'environ 30 000 échantillons d'albacore par an sur cinq ans seraient nécessaires pour atteindre des niveaux de précision acceptables pour les métriques-clés de la population, la précision optimale étant obtenue en échantillonnant 70% de juvéniles et 30% d'adultes. Compte tenu de ces informations, et si l'on suppose un échantillonnage uniforme entre les quatre régions et les deux classes de taille, il faudrait environ 2 250 grands albacores (>75cm) échantillonnés chaque année dans chaque région, et 10 500

petits albacores (<50cm) dans la Région 1 et la Région 4, étant donné que très peu de juvéniles sont susceptibles d'être échantillonnés dans la Région 2 et la Région 3.

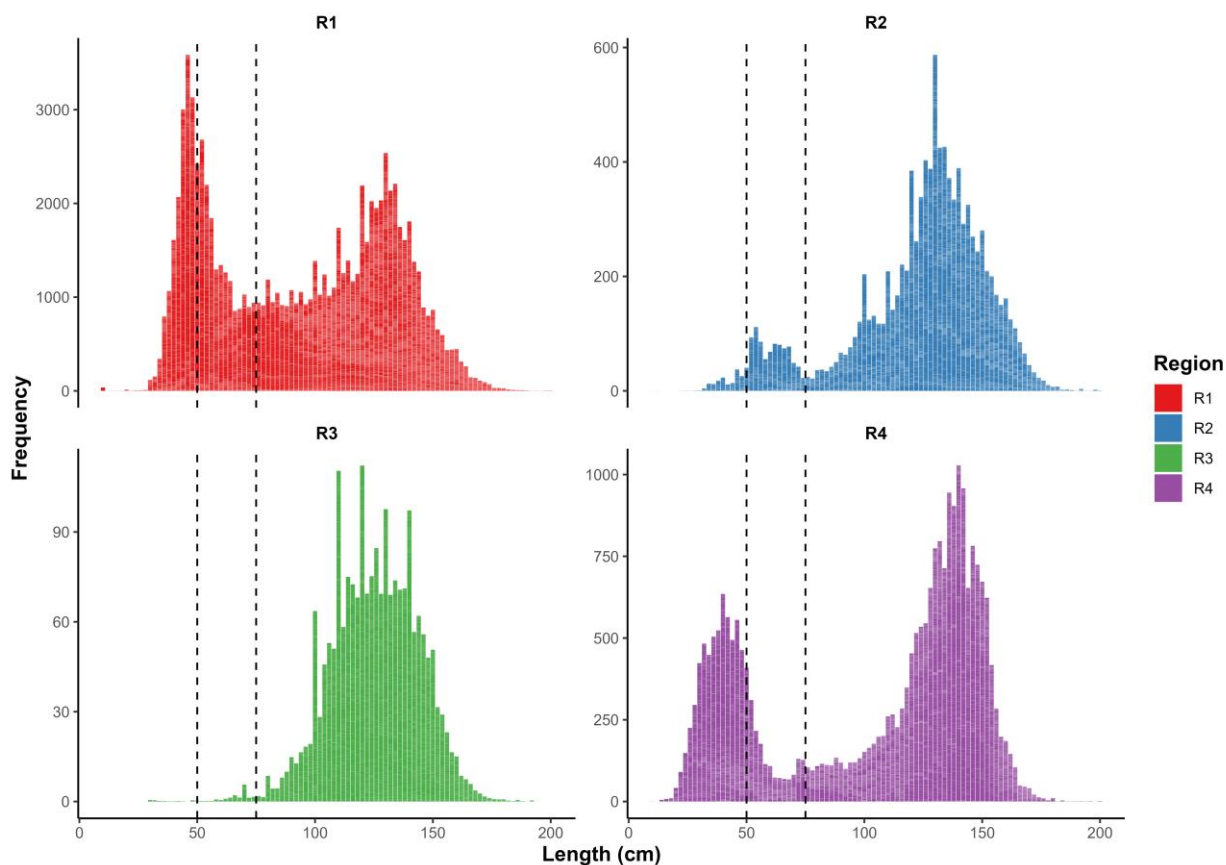


Figure 2. Distribution de fréquence de longueur annuelle moyenne des albacores de l'océan Indien échantillonnés par région (panneaux) de 2018 à 2022, avec deux lignes verticales en pointillés désignant les descendants potentiels (<50cm) et les parents (>75cm). Notez que les axes des ordonnées sont indépendants.

Ce niveau d'intensité d'échantillonnage est déjà atteint dans la plupart des combinaisons de régions et de classes de taille dans les programmes de collecte de données de longueur actuellement mis en œuvre (Figures 3 & 4). Pour les petits albacores (<50cm), plus de 10 000 individus ont été mesurés annuellement en moyenne dans la Région 1 et la Région 4 entre 2018 et 2022, à partir des 3 flottilles les plus importantes qui déclarent des données de longueur (Figure 3). Pour les grands albacores (>75cm), plus de 2 000 individus ont été mesurés en moyenne chaque année entre 2018 et 2022 dans toutes les régions par les 3 principales flottilles ayant communiqué des données sur la longueur, bien que l'intensité de l'échantillonnage dans la Région 3 soit beaucoup plus faible que dans les autres régions (Figure 4).

Un programme d'échantillonnage substantiel et bien informé sera nécessaire pour collecter ce nombre d'échantillons dans toutes les régions et classes de taille de l'océan Indien. Les principales flottes qui collectent des données de longueur dans toutes les régions sont les Maldives, l'Espagne (UE), la France (UE), les Seychelles, l'Indonésie, le Sri Lanka, l'Iran, le Japon et Taïwan, Chine. Par conséquent, un programme d'échantillonnage réussi nécessitera la collaboration et la coopération de nombreuses nations membres, d'instituts, d'organisations et, surtout, de pêcheurs,

d'observateurs et d'échantillonneurs au port. Les ateliers proposés dans le cadre de ce projet pilote de la CKMR réuniront des experts des pêcheries opérant dans l'océan Indien et des possibilités d'échantillonnage (échantillonnage au port, observateurs, etc.).

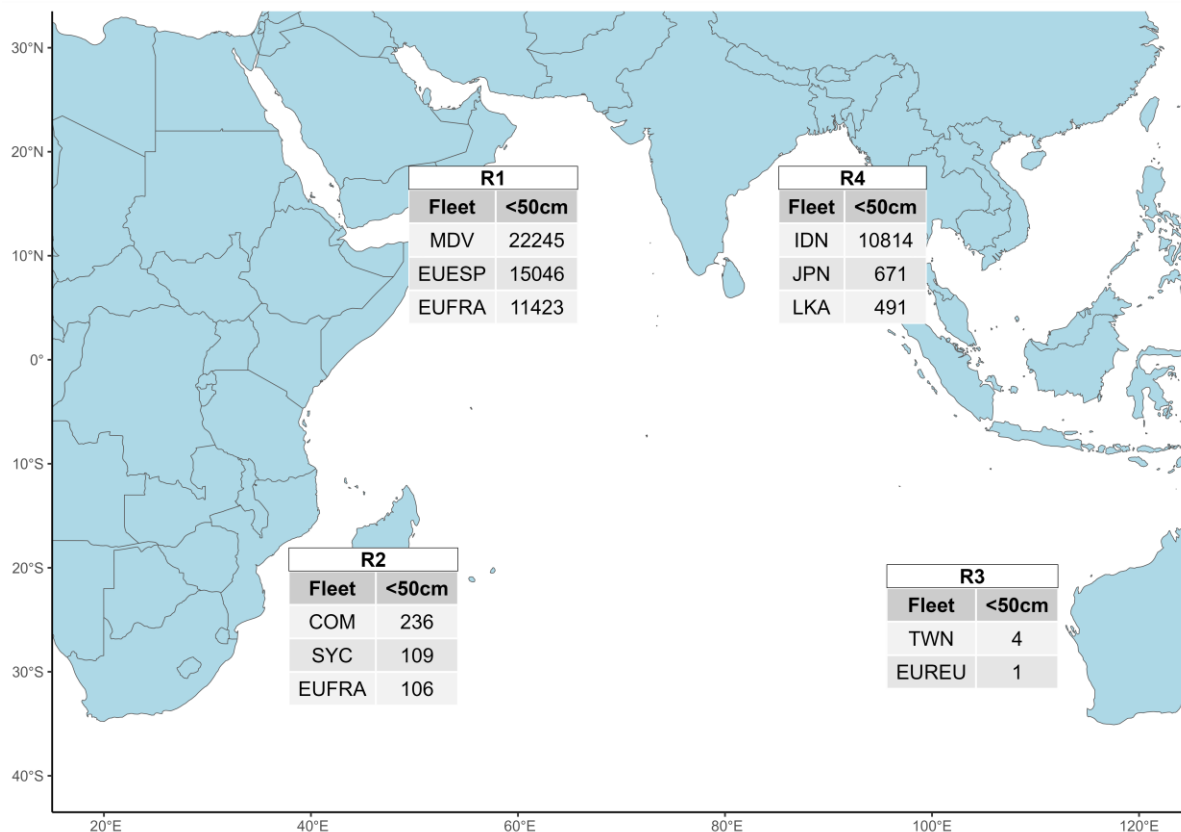


Figure 3. Nombre annuel moyen de mesures de la longueur des petits albacores (<50 cm FL) déclarées au cours des 5 années 2018-2022 dans chacune des quatre régions d'évaluation des stocks de l'océan Indien par les trois principales flottilles qui fournissent des données sur la longueur.

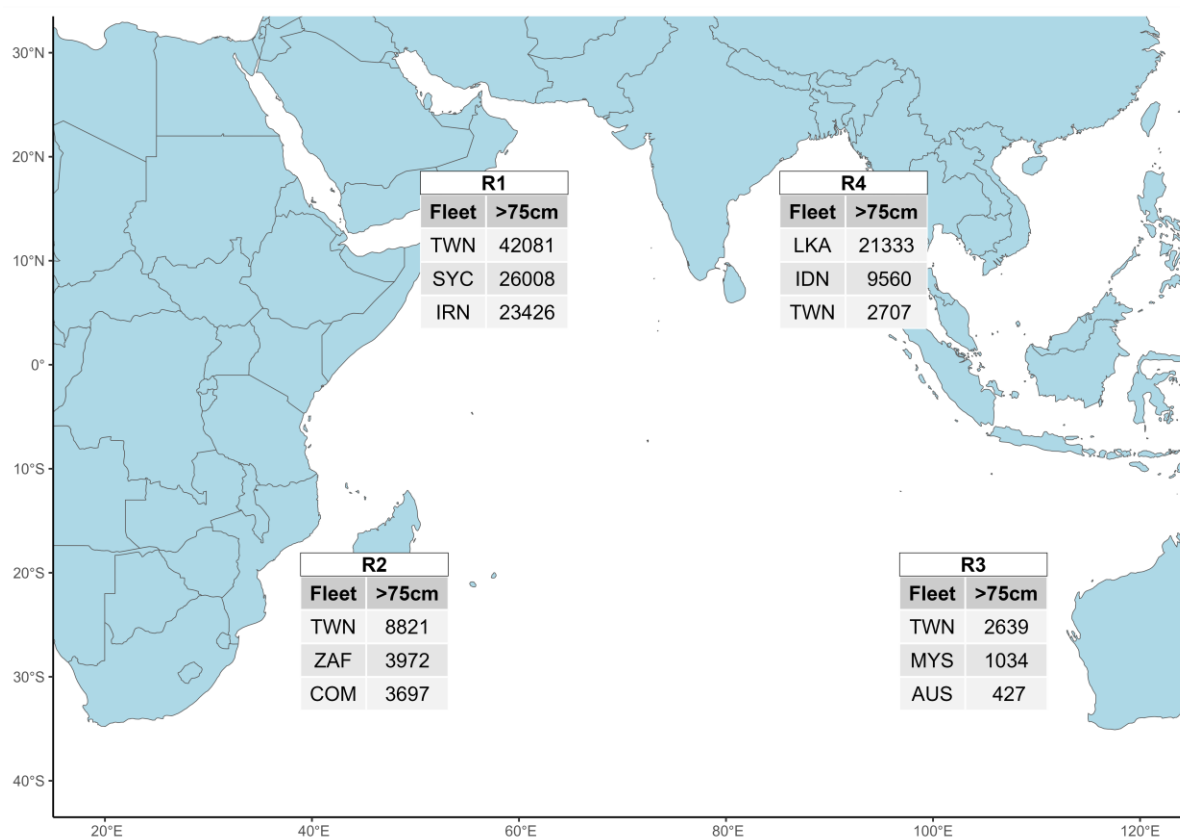


Figure 4. Nombre annuel moyen de mesures de la longueur des grands albacores (>75 cm FL) déclarées au cours des 5 années 2018-2022 dans chacune des quatre régions d'évaluation des stocks de l'océan Indien par les trois principales flottilles qui fournissent des données sur la longueur.

3.5 Collecte et traitement des échantillons

Le développement de procédures opérationnelles standard pour l'échantillonnage sera un produit important développé lors des ateliers proposés au cours de la première année du projet. Ces modes opératoires normalisés décriront les protocoles que les échantillonneurs devront utiliser pour identifier les espèces (les albacores juvéniles étant difficiles à différencier des patudos juvéniles), sélectionner les poissons à échantillonner, collecter les échantillons de tissus, enregistrer les données auxiliaires (y compris la mesure précise de la longueur), stocker les échantillons de tissus et expédier les échantillons au laboratoire pour l'extraction de l'ADN et le séquençage éventuel. Des procédures opérationnelles standard sont particulièrement importantes pour garantir que la contamination croisée de l'ADN soit minimisée, car la contamination augmente le taux de faux positifs dans le processus de recherche de parenté de la CKMR.

Les échantillons de tissus collectés au cours de la première année d'échantillonnage seront envoyés à un laboratoire du CSIRO à Hobart, en Australie, pour y être stockés. L'ADN sera extrait d'un sous-échantillon de 50 poissons prélevés dans chaque lieu d'échantillonnage principal et utilisé pour tester la contamination croisée. Le niveau de contamination croisée de l'ADN dans les échantillons sera examiné afin d'identifier les méthodes d'échantillonnage, les lieux ou les échantillonneurs pour lesquels la contamination pourrait être inacceptable. Si les niveaux de contamination s'avèrent élevés, des ajustements seront apportés aux méthodes d'échantillonnage pour les prochains échantillonnages.

Les échantillons de gonades et les données collectées au cours de projets biologiques antérieurs pour l'albacore de l'océan Indien, tels que le projet GERUNDIO (Zudaire et al. 2021), seront utilisés pour affiner le calendrier de maturité spécifique à l'âge et les estimations de fécondité à l'âge. Si les collectes d'échantillons existantes sont insuffisantes pour fournir des estimations robustes de ces paramètres, des échantillons de gonades supplémentaires seront collectés au cours de la première année d'échantillonnage de ce projet pilote.

Une horloge épigénétique a été développée pour l'albacore dans l'océan Pacifique, mais on ne sait pas s'il est approprié de l'appliquer à l'albacore de l'océan Indien. Par conséquent, au cours de la première année du projet, une horloge épigénétique sera développée en utilisant des données directes sur l'âge à partir d'otolithes et d'échantillons de tissus prélevés sur l'albacore de l'océan Indien au cours de projets antérieurs (par exemple Farley et al. 2023). Un échantillonnage ciblé d'otolithes et de tissus de poissons de grande taille (et potentiellement vieux) au cours de la première année d'échantillonnage sera également entrepris si nécessaire pour étendre la gamme d'âge de l'horloge épigénétique. L'horloge épigénétique sera alors disponible pour estimer l'âge de tous les échantillons collectés dans le cadre de la mise en œuvre complète de la CKMR pour l'albacore de l'océan Indien.

4 Discussion

Ce document détaille une proposition d'étude pilote visant à soutenir la mise en œuvre de méthodes de proches parents pour l'estimation non biaisée de l'abondance de la population et d'autres paramètres de gestion de l'albacore dans l'océan Indien. Il répond aux préoccupations du GTM et du GTTT selon lesquelles le nombre d'échantillons requis annuellement pourrait constituer un défi logistique.


L'approche décrite ici permettrait de mieux comprendre les obstacles logistiques à la collecte à grande échelle d'échantillons de tissus d'albacore dans l'océan Indien. Elle permettrait au GTM, au GTTT et au CS de prendre une décision éclairée lorsqu'ils évalueront s'il convient de poursuivre une étude complète de la CKMR. Si une étude complète de la CKMR devait être menée à la suite de l'étude pilote, les échantillons recueillis dans le cadre de cette étude pourraient constituer les échantillons requis pour les 1 à 2 premières années. Inversement, si le CS décide de ne pas soutenir une étude CKMR complète, ce projet aura fourni une horloge épigénétique calibrée pour faciliter la détermination de l'âge des spécimens d'albacore, des estimations affinées de la maturité et de la fécondité, ainsi qu'une capacité régionale renforcée pour l'échantillonnage à grande échelle de ce stock grâce à la formation, au développement de réseaux et à la documentation des opportunités d'échantillonnage. Compte tenu des problèmes persistants liés à la qualité des données fournies pour l'évaluation actuelle du stock, ces possibilités d'échantillonnage à grande échelle ont des applications qui vont au-delà de la CKMR.

A ce titre, les auteurs sollicitent le soutien et les commentaires du CS sur l'étude pilote proposée (en notant que le financement doit provenir de sources extérieures à la CTOI), ainsi que des expressions d'intérêt pour la collaboration dans le développement de réseaux internationaux afin de réaliser des échantillonnages à grande échelle pour l'albacore.

5 Références

- Bravington, M.V., Skaug, H.J., Anderson, E.C. 2016a. Close-Kin Mark-Recapture. *Statistical Science* 2016, Vol. 31(2), 259–274.
- Bravington, M.V., Grewe, P.M., Davies, C.R. 2016b. Absolute abundance of southern bluefin tuna estimated by close-kin mark-recapture. *Nature Communications* 7:13162.
- Farley, J., Krusic-Golub, K., Eveson, P., Luque, P.L., Fraile, I., Artetxe-Arrate, I, Zudaire, I., Romanov, E., Shahid, U., Razzaque, S.A., Parker, D., Clear, N., Murua, H., Marsac, F., Merino, G. 2023. Updating the estimation of age and growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Indian Ocean using otoliths. Working paper IOTC–2023–WPTT25–20 presented to the 25th Working Party on Tropical Tuna, San Sebastian, Spain 30 October – 4 November 2023.
- Fu, D., Ijurco, A.U., Cardinale, M., Methot, R., Hoyle, S. & Merino, M. 2021. Preliminary Indian Ocean yellowfin tuna stock assessment 1950-2020 (Stock Synthesis). Working paper IOTC–2021–WPTT23–12 presented to the 23rd Working Party on Tropical Tuna.
- Grewe, P., McDowell, J., Walter, J., Laretta, M., Gosslien, T., Bravington, M.V., Porch, C., Davies, C.R. 2018. Genomic tools demonstrate excellent potential for estimating a census estimate for Atlantic Bluefin Tuna spawning in the Gulf of Mexico. ICES ASC.
- Hillary, R., Preece, A., & Davies, C. 2019. Performance of a revised candidate MP using all 3 input data sources. Paper CCSBT-ESC/1909/16 prepared for the Extended Scientific Committee for the Twenty Fourth Meeting of the Scientific Committee. Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna.
- Hillary, R., Preece, A., & Davies, C. 2020. Summary of updated CKMR data and model performance in the Cape Town Procedure. Paper CCSBT-ESC/2008/BGD 07 prepared for the Extended Scientific Committee for the Twenty Fifth Meeting of the Scientific Committee. Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna.
- Hillary, R. M., Tremblay-Boyer, L., Williams, A.J., Hill, N.J., Preece, A.L. 2022. Indian Ocean yellowfin tuna close-kin mark-recapture design study. Working Paper prepared for the 13th IOTC Working Party on Methods, 19-21 October 2021.
- IOTC 2017. Report of the 20th Session of the IOTC Scientific Committee. 30 November – 4 December 2017. IOTC–2017–SC20–R[E], Seychelles.
- IOTC 2022a. Report of the 13th Session of the IOTC Working Party on Methods. Held by videoconference, 19 – 21 October 2022. IOTC–2022–WPM13–R.
- IOTC 2022b. Report of the 24th Session of the IOTC Working Party on Tropical Tunas. Held by videoconference, 24 – 29 October 2022. IOTC–2022–WPTT24–R.
- Maunder, M., Langley, A., Howell, D., Minte-Vera, C. 2023. Independent review of recent IOTC yellowfin tuna assessment. Working paper IOTC-2023-WPTT25-13 presented to the 25th Working Party on Tropical Tuna, San Sebastian, Spain 30 October – 4 November 2023.
- Mayne, B., Korbie, D., Kenchington, L., Ezzy, B., Berry, O. & Jarman, S. 2020. A DNA methylation age predictor for zebrafish. *Aging* (Albany NY), 12(24), 24817.

- Mayne, B., Espinoza, T., Roberts, D., Butler, G.L., Brooks, S., Korbie, D. & Jarman, S. 2021. Nonlethal age estimation of three threatened fish species using DNA methylation: Australian lungfish, Murray cod and Mary River cod. *Molecular Ecology Resources*, 21(7), 2324-2332.
- Mayne, B., Lloyd-Jones, L., Anderson, C., Bravington, M., Aulich, J., Potter P., Farley, J., Davies, C. 2023. Update on epigenetic ageing. Information paper prepared for the 14th IOTC Working Party on Methods, 26-28 October 2023.
- SPC-OFP and CSIRO. 2023. Progress towards a close-kin-mark-recapture application to South Pacific albacore (project 100c). Working Paper prepared for the 19th Session of the WCPFC Scientific Committee, 16-24 August 2023, Koror, Palau. WCPFC-SC19-2023/SA-WP-13.
- Zudaire, I., Artetxe-Arrate, I., Farley, J., Murua, H., Kukul, D., Vidot, A., Razzaque, S.A., Ahusan, M., Romanov, E., Eveson, P., Clear, N., Luque, P.L., Fraile, I., Bodin, N., Chassot, E., Govinden, R., Ebrahim, A., Shahid, U., Fily, T., Marsac, F., Merino, G. 2021. Preliminary estimates of sex ratio, spawning season, batch fecundity, length at maturity for Indian Ocean yellowfin tuna. Information paper IOTC-2021-SC24-INF01 submitted to the 24th Session of the IOTC Scientific Committee.



As Australia's national science agency and innovation catalyst, CSIRO is solving the greatest challenges through innovative science and technology.

CSIRO. Unlocking a better future for everyone.

Contact us

1300 363 400
+61 3 9545 2176
csiroenquiries@csiro.au
www.csiro.au

For further information

Environment
Ashley Williams
Ashley.williams@csiro.au