

APPEL A PROJETS FEAMP 2017

MESURE 39 : Innovation liée à la conservation des ressources biologiques de la mer



Innovations pour diminuer les impacts des DCP sur les
écosystèmes marins

Projet porté par l'IRD – UMR MARBEC, Sète

Rapport final

30 septembre 2023



Informations générales :

- Titre : Innovations pour diminuer les impacts des DCP sur les écosystèmes marins
- Acronyme : INNOV-FAD
- Localisation : Sète, France
- Responsable : Laurent DAGORN (laurent.dagorn@ird.fr)
- Bénéficiaires : IRD, Orthongel
- Durée du projet : septembre 2018 à juin 2023
- Coût total du projet : 1.089.008,98 €

Résumé

INNOV-FAD avait pour objectif de développer des équipements et des pratiques afin de diminuer les impacts des Dispositifs de Concentration de Poissons (DCP) sur les écosystèmes marins. Plus précisément, le projet visait à trouver des moyens pour diminuer (i) la mortalité par pêche (thoniers senneurs) des requins et d'autres espèces accessoires, et (ii) les échouages de DCP sur des sites côtiers sensibles.

INNOV-FAD a quantifié qu'environ 20% des DCP s'échouent. Des restrictions sur les zones de déploiement des DCP ou encore des programmes de récupération des DCP lorsqu'ils passent près des côtes permettraient de réduire significativement ces échouages.

Le projet a également produit des résultats innovants pour aider les pêcheurs à réduire leurs impacts sur les espèces accessoires. (1) Un algorithme d'intelligence artificielle appliqué aux données transmises par les bouées sondeur équipant les DCP permet d'informer sur la présence ou non d'espèces accessoires. (2) Une nouvelle bouée prototype a été développée permettant de transmettre à distance le nombre de requins associés à un DCP. Si elle était utilisée par les pêcheurs, elle leur permettrait d'éviter de pêcher sur les DCP ayant un nombre trop élevé de requins, ou de se préparer à mettre en œuvre des méthodes pour relâcher les requins durant l'opération de pêche. Ces bouées fourniraient aussi des données précieuses aux scientifiques pour estimer l'abondance des requins. (3) Enfin, une méthode de relâchage des requins, lorsqu'ils sont encerclés dans la senne, a été mise au point et permet de réduire significativement le nombre de requins tués.

Mots clés : pêche à la senne, thons, DCP, requins, prises accessoires, habitats

1 Introduction

1.1 Enjeux écologiques de la pêche thonière tropicale à la senne

L'usage des objets flottants par les flottilles de thoniers senneurs tropicaux a toujours existé depuis le début de la pêche, mais a connu une véritable explosion avec le développement des DCP (Dispositifs de Concentration de Poissons) et des instruments qui y sont liés, depuis le début des années 2000 et encore plus ces dernières années. De manière indiscutable, les DCP représentent un outil de pêche très efficace. Cela a conduit les Organisations Régionales de Gestion de la Pêche (ORGP) thonières à s'inquiéter des conséquences négatives possibles de l'augmentation considérable du nombre de DCP utilisés par les navires, accompagnée d'innovations technologiques telles que les bouées sondeurs renseignant sur la quantité de poissons agrégés. Entre l'intérêt évident et logique des pêcheurs pour cette pratique et le souhait de certaines ONGs d'interdire l'usage de ces DCP, la solution est vers une utilisation raisonnable et contrôlée de ces DCP. C'est pourquoi les ORGP thonières ont clairement affiché comme priorités l'amélioration du suivi de ces pratiques, leur contrôle (notamment le nombre) et la recherche puis l'adoption de bonnes pratiques.

Les impacts des DCP sur les écosystèmes marins se répartissent en trois catégories (Dagorn et al. 2013) :

- Les impacts sur les espèces cibles, i.e. les thons tropicaux (listaos, albacores, patudos), en augmentant leur capturabilité ;
- Les impacts sur les espèces accessoires, e.g. autres poissons téléostéens et requins :
 - En augmentant leur capturabilité ;
 - En créant des situations de "pêche fantôme", lorsque les DCP ont des filets comme structures immergées, maillant accidentellement des requins (Filmlalter et al. 2013).
- Les modifications d'habitat :
 - Habitat pélagique, avec l'augmentation du nombre d'objets flottants, pouvant amener au risque de piège écologique, i.e. des effets négatifs (en termes de migrations ou de biologie) sur les espèces associées (thons, requins et autres) ;
 - Habitats récifaux (principalement coralliens), avec l'échouage de DCP pouvant causer des dégâts physiques ou des pêches fantôme ;
 - Une pollution de tous les habitats lorsque les DCP sont construits à base de matériaux non naturels (e.g. plastique).

Une des priorités reconnues internationalement est clairement de diminuer l'impact de la pêche sur DCP sur les requins soyeux. Cette espèce est listée dans l'annexe 2 de la CITES et fait l'objet de recommandations par les ORGPs (Tolotti et al. 2015).

Sous l'effet de campagnes parfois agressives de certaines ONG, les consommateurs ont pris conscience de la nécessité de produire des conserves de thons dans le respect des écosystèmes. Deux impacts de la pêche au thon sont particulièrement symboliques : la capture accidentelle des requins et la pollution des récifs coralliens.

Les deux dernières catégories d'impacts (listés ci-dessus) sont clairement dans l'objectif de la mesure 39 du FEAMP : diminuer les prises accessoires (en particulier les espèces sensibles comme les requins) et diminuer les impacts sur les habitats. Ils constituent ainsi les objectifs prioritaires d'INNOV-FAD.

L'objectif principal d'INNOVA-FAD est de développer des équipements et des pratiques afin de diminuer les prises accessoires (principalement requins) et les échouages sur des zones sensibles (e.g. récifs coralliens).

Cet objectif se découpe en deux volets :

Volet 1 :

- Développement et test d'une bouée prototype permettant de compter le nombre de requins et d'estimer les espèces accessoires autour d'un DCP.
- Développement de DCP contrôlable (dont la trajectoire est contrôlable)

Volet 2 :

- Méthode pour estimer la quantité de prises accessoires à partir de l'analyse de données de bouées sondeur utilisées par les pêcheurs ;
- Méthode(s) pour séparer les espèces autour des DCP (avant un coup de pêche) ;
- Méthode(s) pour éviter de capturer des requins lors d'une opération de pêche ;
- Méthode(s) pour réduire les échouages de DCP sur des zones sensibles.

INNOV-FAD repose sur le développement de deux équipements destinés à aider les pêcheurs - savoir combien de requins sont sous leur DCP et contrôler la dérive des DCP - ainsi que le développement de pratiques innovantes pour estimer et diminuer les prises accessoires, avec une priorité affichée sur les requins. Ces objectifs sont ambitieux, mais cette pêcherie a démontré qu'elle avait régulièrement investi dans l'innovation pour augmenter leurs captures tels que radars oiseaux, bouées satellites, puis bouées sondeur satellites. L'innovation dans cette pêcherie doit maintenant être tournée vers le respect des écosystèmes, afin de diminuer des impacts sur les espèces accessoires ou les habitats, comme cela a été fait avec les DCP non maillants.

1.2 Bilan des livrables prévus dans le projet

Tableau 1. Livrables prévus dans le projet INNOV-FAD et leur état d'avancement. Code couleur : vert = finalisée, jaune = finalisée partiellement, orange = non réalisée.

	DELIVRABLES	COMMENTAIRES
D1.1 à D1.4	Rapport des réunions	Après chaque réunion du consortium, un rapport de synthèse décrivant la période passée a été produit. Les réunions ont eu lieu au mois d'octobre des années 2018, 2019, 2020 et 2021.
D1.5	Rapport final	Rendu en septembre 2023
D2.1	Guide de bonne pratiques	Rendu en septembre 2023
D2.2	Films sur le projet	Rendus en juin 2023 : • Objectifs : youtu.be/wpEU8Od666g • Échouages : youtu.be/AgwrSKxWLto • Requins : youtu.be/FyxrHUaDpOs • Conclusions : youtu.be/O00k-HVhc9w
D2.3	Articles scientifiques	Plusieurs articles issus du projet ont été publiés dans des revues à comité de lecture, ainsi que présentés lors de réunions des groupes de travail des ORGP (liste complète dans la section 2.2).
D2.4	Réunion de fin de projet	Réalisée en juin 2023 à Concarneau avec la présence du consortium et des pêcheurs.
D3.1	Bouée requins	Le prototype de bouée autonome capable de compter le nombre des requins autour des DCP a été finalisé et testé en conditions réelles lors de la campagne scientifique au large des Seychelles, réalisée en avril 2022.
D3.2	DCP contrôlable	Le développement du prototype de DCP contrôlable a subi plusieurs retards (voir détails dans la section 2.3). Sa livraison n'a pu être faite qu'en juin 2023 (date de fin du projet), ce qui a empêché la réalisation du test en conditions réelles lors d'une campagne à bord d'un thonier senneur.
D4.1	Méthode d'estimation de la quantité de prises accessoires à partir des bouées sondeur	Finalisée avec la publication d'un article scientifique : 1. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109004 (2021)
D4.2	Évaluation DCP double pour ségréger naturellement des espèces	Non réalisée. Ce livrable dépendait de la livraison du DCP contrôlable en février 2023 pour permettre la réalisation d'une campagne en mer à bord d'un

		thonier senneur, où l'hypothèse du DCP double aurait dû être testée. Le DCP contrôlable n'a pu être livré qu'en juin 2023 (date de fin du projet).
D4.3	Méthode(s) pour éviter d'encercler les requins ou de les relâcher vivants depuis le filet	Action finalisée lors de la campagne à bord du thonier Talenduic réalisée en novembre 2018.
D4.4	Zones de hotspots de requins soyeux dans l'océan Indien	Finalisée avec la publication de deux articles scientifiques : 2. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01393 (2020) 3. https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-022-02432-1 (2022)
D5.1	Cartes de risque d'échouage des DCP	Finalisée avec la publication de deux articles scientifiques : 4. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108939 (2021) 5. https://www.nature.com/articles/s41893-022-00883-y (2022)
D5.2	Évaluation DCP contrôlable pour éviter l'échouage	Non réalisée. Ce livrable dépendait de la livraison du DCP contrôlable en février 2023 pour permettre la réalisation d'une campagne en mer à bord d'un thonier senneur, où les tests en conditions réelles auraient dû être fait. Le DCP contrôlable n'a pu être livré qu'en juin 2023 (date de fin du projet).

2 Résultats par working package (WP)

2.1 WP1. Management et coordination

Les objectifs du WP1 étaient d'assurer la coordination du projet, son suivi et la production des livrables.

WP1.1 Réunions du consortium

Entre septembre 2018 et juin 2023, la coordination a organisé 6 rencontres formelles, y compris la réunion de lancement et la réunion finale (Table 2). Ces rencontres ont permis d'échanger sur les réalisations de la période écoulée (sauf pour la réunion de lancement) et l'élaboration éventuelle de stratégies d'adaptation et de changement de calendrier en cas d'imprévus ou de difficultés rencontrés. Des rapports annuels synthétiques ont été produits (livrables D1.1 à D1.5).

Tableau 2. Réunions formelles de projet.

	Date	Lieu
Réunion de lancement	28 septembre 2018	Sète
Réunion du consortium 1	15 octobre 2018	Concarneau
Réunion du consortium 2	07 octobre 2019	Concarneau
Réunion du consortium 3	09 octobre 2020	Sète et visioconférence
Réunion du consortium 4	20 octobre 2021	Visioconférence
Réunion finale	22 juin 2023	Concarneau

WP1.2 et WP1.3 Suivi scientifique administratif et financier

Le suivi scientifique a été assuré par le coordinateur du projet (L. Dagorn) à travers des réunions opérationnelles fréquentes avec les responsables des WP, scientifiques collaborateurs et prestataires responsables des développements technologiques.

Le suivi administratif et financier du projet a été assuré par le chef de projet (M. Tolotti) et par le département financier de l'IRD. Des points d'étape périodiques avec le coordinateur du projet ont été effectués.

2.2 WP2. Dissémination des résultats

Le WP2 avait pour objectif la dissémination des enjeux, des activités et des résultats du projet à différentes communautés : pêcheurs et armateurs, ORGP thonières, et communauté scientifique.

WP2.1 Réunions avec les pêcheurs

Trois ateliers de discussion avec les pêcheurs ont été organisés à Concarneau. L'objectif général de ces réunions était de favoriser les échanges entre les pêcheurs, le personnel des armements thoniers senneurs français et les scientifiques concernant les enjeux, les activités et les résultats du projet (Figure 1).



Figure 1. Ateliers de discussions avec les pêcheurs réalisés à Concarneau.

Les deux premières réunions ont été juxtaposées à celles du consortium (Tableau 2), et ont eu lieu le 15 octobre 2018 et le 07 octobre 2019. Plus spécifiquement, au cours de ces premières réunions, nous avons engagé des discussions collectives sur les méthodes à développer et tester visant à éviter l'encerclement des requins ou leur

relâchement vivants depuis les filets (voir Figure 2). Les idées proposées par les pêcheurs ont ensuite été mises à l'épreuve, et les résultats des tests ont été réexaminés. Cette démarche participative nous a permis de construire des solutions de manière collective. Le troisième et dernier atelier a eu lieu lors de la réunion finale du projet, le 22 juin 2023, au cours de laquelle les résultats issus du projet ont été présentés et discutés.

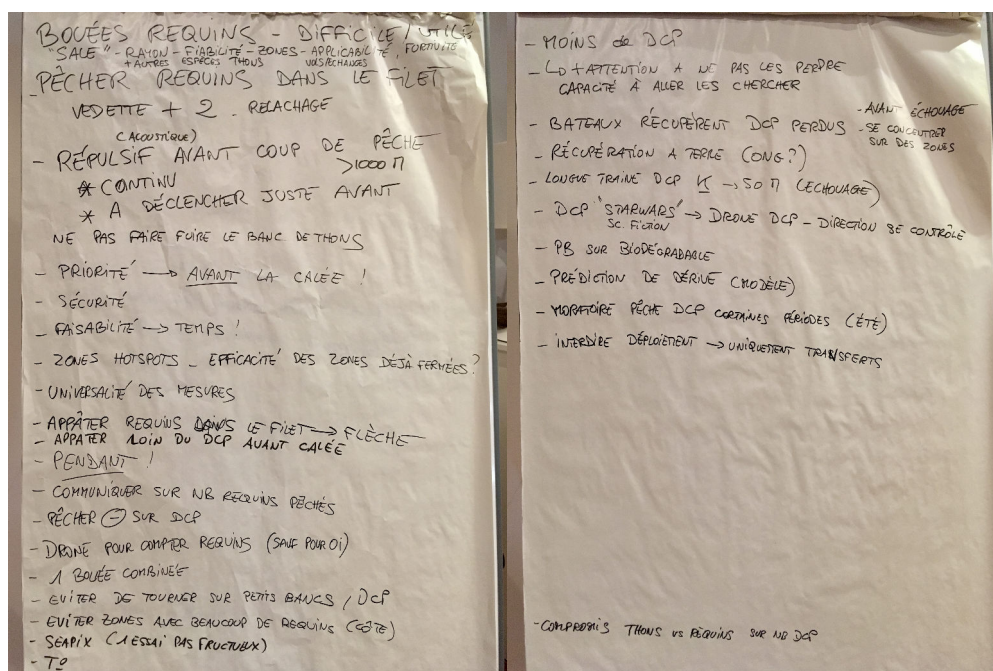


Figure 2. Idées proposées lors des ateliers de discussions avec les pêcheurs réalisés à Concarneau pour diminuer les impacts des DCP sur les requins et prises accessoires.

WP2.2 Guides de bonnes pratiques

Un guide de bonnes pratiques, élaboré à partir des résultats des WP scientifiques, visant à réduire les impacts de l'utilisation des DCP sur les écosystèmes, a été créé (Annex I). Il sera largement diffusé au sein de la flottille française ainsi qu'au sein des Organisations Régionales de Gestion de la Pêche Thonière (ORGP thonières).

WP2.3 Film

Quatre courts métrages ont été produits afin de diffuser à un public large les enjeux, les activités et les résultats du projet :

1. Les objectifs du programme INNOV-FAD • <https://youtu.be/nL--0IKqneE>
2. Limiter les échouages des DCP • <https://youtu.be/2a2PlpSkk5s>
3. Limiter la capture des requins • <https://youtu.be/vzyfcxdWlw8>
4. Le temps de l'appropriation • <https://youtu.be/ARAAmZkDM4I>

WP2.4 Articles

Jusqu'à présent cinq articles issus directement des résultats du projet ont été publiés dans des revues scientifiques internationales de Rang A :

1. Mannocci, L., Forget, F., Tolotti, M.T., Bach, P., Bez, N., Demarcq, H., Kaplan, D., Sabarros, P., Simier, M., Capello, M. and Dagorn, L., 2020. Predicting bycatch hotspots in tropical tuna purse seine fisheries at the basin scale. *Global Ecology and Conservation*, 24, p.e01393. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01393>
2. Imzilen, T., Lett, C., Chassot, E. and Kaplan, D.M., 2021. Spatial management can significantly reduce dFAD beachings in Indian and Atlantic Ocean tropical tuna purse seine fisheries. *Bio. Conser.*, 254, p.108939. doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108939
3. Mannocci, L., Baidai, Y., Forget, F., Tolotti, M.T., Dagorn, L. and Capello, M., 2021. Machine learning to detect bycatch risk: Novel application to echosounder buoys data in tuna purse seine fisheries. *Biological Conservation*, 255, p.109004. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109004>
4. Tolotti, M., Guillotreau, P., Forget, F., Capello, M. and Dagorn, L., 2022. Unintended effects of single-species fisheries management. *Environment, Development and Sustainability*, pp.1-24. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-022-02432-1>
5. Imzilen, T., Lett, C., Chassot, E. et al. Recovery at sea of abandoned, lost or discarded drifting fish aggregating devices. *Nat Sustain* 5, 593–602 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00883-y>

Les résultats du projet ont également été communiqués aux groupes de travaux des commissions thonières et à d'autres forums sur la pêche :

1. **Troisième Adhoc Working Group on FADs (WGFAD03) de la Commission des Thons de l'Océan Indien (CTOI), Octobre 2022** : Tolotti, M.T., Guillotreau, P., Forget, F., Capello, M., Dagorn, L. Unintended effects of single-species fisheries management. IOTC-2022-WGFAD03-08.
2. **Webimer partenariat scientifiques - pêcheur, organisé par France Filière Pêche (FFP), Novembre 2022** : Des engins innovants, pour une pêche moins impactante Tolotti, M.T. Innovation pour diminuer les impacts des DCP.
3. **Journées MARBEC, Mai 2022** : Fabien Forget : Développement et essais d'une bouée pour compter automatiquement les requins.
4. **Deuxième Adhoc Working Group on FADs (WGFAD02) de la CTOI, Octobre 2021** : Imzilen, T., Lett, C., Chassot, E. Kaplan, D.M., 2021. Spatial management can significantly reduce dFAD beachings in Indian and Atlantic Ocean tropical tuna purse seine fisheries. IOTC-2021-WGFAD02-07
5. **Blue Day salon ITECHMER, Octobre 2021** : Tolotti, M.T. Objective zéro plastique : Diminuer les pertes des DCP et leur échouage.
6. **Réunion Conjointe des ORGP Thonières sur les Prises Accessoires, Décembre 2019** : Mannocci L., Forget F., Tolotti M.T., Bach P., Bez N., Demarcq H., Kaplan D., Sabarros P., Simier M., Capello M., Dagorn L. Predicting hotspots of the main bycatch species of tuna purse seine fisheries in the Atlantic and Indian oceans. Joint tuna-RFMO bycatch working group. BYC-022/2019.

WP2.5 Réunion finale (resp : L. Dagorn, MARBEC-IRD)

La réunion finale du projet a eu lieu le 22 juin 2023 à Concarneau, avec 22 participants comprenant pêcheurs, personnels des armements de pêche et scientifiques. Les résultats du projet ont été présentés sous forme de discussion ouverte avec l'ensemble des participants. Les échanges ont été structurés en deux parties selon les deux questions clés abordées au cours du projet : Comment réduire les pertes de DCP et leurs échouages ? Comment diminuer les captures de requins et d'autres espèces accessoires ? Les principaux messages à retenir sont indiqués dans le Tableau 3.

Table 3. Messages clés discutés lors de la réunion finale du projet.

Réduire les pertes de DCP et leurs échouages
• Possibilité réelle de réduire les échouages en mettant en place des fermetures spatio-temporelles pour les déploiements. • Tenir en compte que les zones proposées pour les fermetures de déploiement diffèrent lorsque l'on concentre les analyses exclusivement sur les récifs coralliens. • On a également observé que les fermetures de déploiement protégeraient certaines zones plus que d'autres. • Une part importante des DCP quitte la zone de pêche et se retrouve échouée ou perdue. • Des nombreux DCP passent à proximité de grands ports, ce qui indique un potentiel élevé de réduction des échouages ou des pertes de DCP en mettant en œuvre un programme de récupération en mer. • Les programmes de récupération des DCP en mer pourraient être des mesures complémentaires utiles.
Diminuer les prises accessoires
• Possible de discriminer entre faibles et forts niveaux de prises accessoires en utilisant les bouées echosondeurs. • Approche prometteuse pour détecter la présence de prises accessoires avant le coup de pêche. • Performance des algorithmes doit encore être améliorée pour conduire à un outil potentiellement opérationnel. • Hotspots de plusieurs espèces identifiés dans le nord de la zone de pêche et la mer d'Arabie, indiquant que les prises accessoires peuvent être réduites en évitant ces zones. • Un changement de stratégie de pêche, caractérisé par une augmentation du nombre de calées sur DCP et une expansion de l'effort vers la zone nord, s'est traduit par une augmentation significative des prises accessoires de requins soyeux. Ce changement a été principalement induit par la mise en œuvre du quota d'albacore. • La bouée autonome capable de compter le nombre de requins autour des DCP est fiable et peut être utilisée pour sélectionner en temps réel les zones et les agrégations avec moins de requins. • La capture de requins dans la senne et leur libération à l'extérieur du filet est une méthode efficace pour diminuer jusqu'à 35% la mortalité des requins capturés.

2.3 WP3. Développements technologiques

WP3.1 Bouée autonome

L'objectif de ce WP consistait à développer une bouée capable d'informer les pêcheurs sur la quantité de requins présents autour des DCP. Deux grandes étapes ont structuré ce développement technologique : le *software* (logiciel) puis le *hardware* (matériel) (Figure 3). La bouée a été développée par la société montpelliéraine NOPIBOTIC avec l'assistance scientifique de l'équipe de chercheurs du projet et de l'UMR LIRMM (laboratoire d'informatique, de robotique et de microélectronique de Montpellier). Les travaux ont été impactés par la crise sanitaire COVID, notamment par le manque d'approvisionnement en pièces informatiques. Malgré ces délais imprévus, le développement de la bouée a pu être finalisé avec des tests en conditions réelles lors d'une campagne en mer au large des Seychelles.

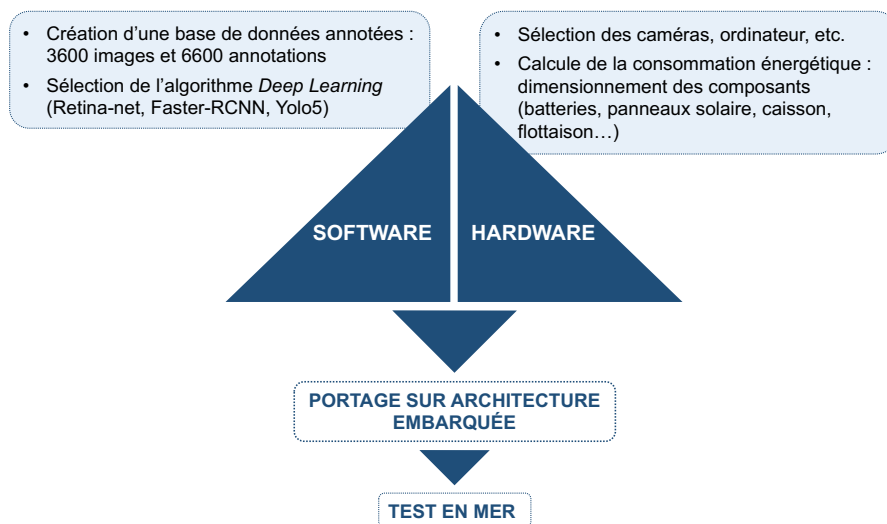


Figure 3. Organigramme des étapes de développement de la bouée autonome.

Algorithme *Deep Learning* : Le but de l'algorithme est de détecter dans une séquence vidéo tous les requins présents à proximité de la bouée (donc du DCP). Le jeu de données était composé de 3618 images extraites de 64 vidéos, capturées avec une caméra GoPro par des plongeurs autour des DCP (données déjà acquises avant le début du projet). Pour chaque image, des experts en écologie marine ont délimité manuellement un cadre autour de chaque animal observé, contenant une étiquette de classe (Figure 4). Au total, 6623 annotations ont été faites. Ensuite, plusieurs algorithmes ont été testés et comparés (Faster R-CNN, Yolo v3, Retina-Net et Yolo v5). Les résultats ont révélé que Yolo v5 est le réseau le plus efficace pour la détection des poissons et des requins. Il avait également un temps de traitement plus rapide. Ainsi, Yolo v5 a été le réseau sélectionné pour le système.

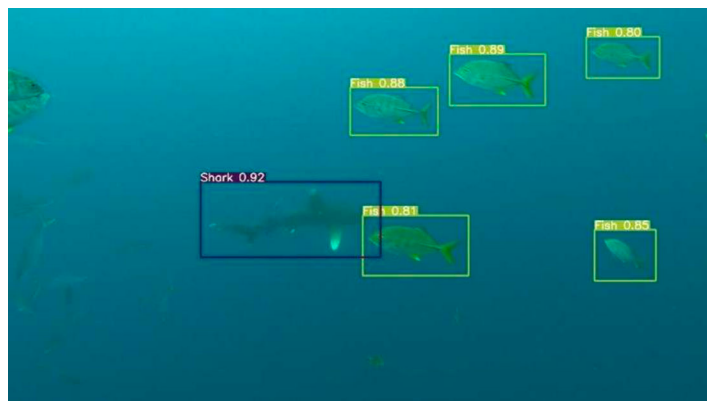


Figure 4. Cadres de délimitation dans une image, annotés manuellement en tant que requin ou poisson.

Tests : Le premier prototype de la bouée autonome a d'abord été testé à l'aquarium de Montpellier en juin 2021. L'objectif principal de cette expérience était essentiellement d'évaluer la conception du système et son comportement dans l'eau. Cela a également permis d'évaluer la consommation énergétique du module de détection. Après cette phase, le prototype était prêt à être testé en conditions réelles. Pour cela, une campagne scientifique a été organisée à bord du MV Thethys dans l'océan Indien. La campagne a eu lieu entre le 12 et le 28 avril 2022, dans le Bassin des Amirantes au large des Seychelles (Figure 5). Le protocole de test comprenait 3 étapes : 1) comptage du nombre de requins par des plongeurs appliquant un protocole de recensement visuel, 2) comptage du nombre de requins par la bouée autonome sur une période de 2 à 5 heures, et 3) comparaison entre les comptages. La bouée a été capable de détecter 50 % des requins présents et le taux de détection était stable sur tous les tests (Figure 6), quel que soit le nombre de requins. Ce résultat indique que la bouée produit un indicateur fiable du nombre de requins autour des DCP.

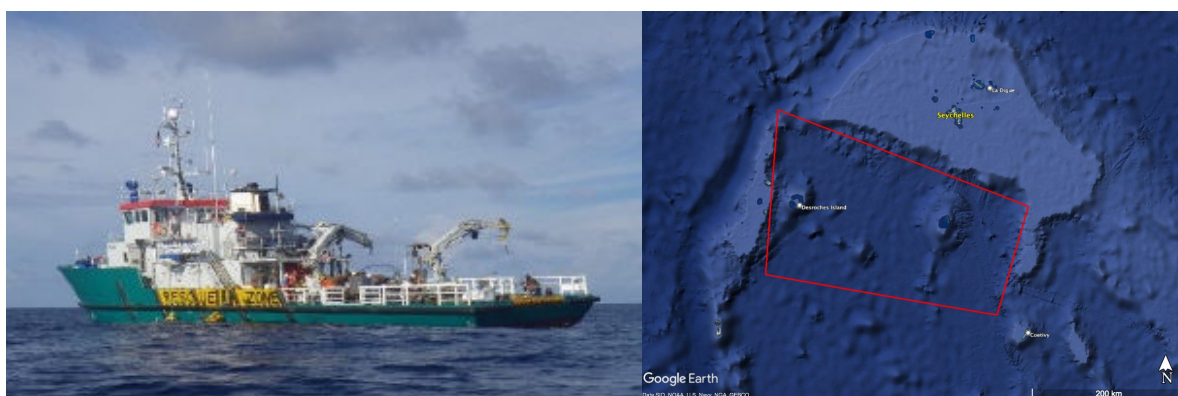


Figure 5. Bateau et zone de la campagne scientifique pour tester la bouée autonome.

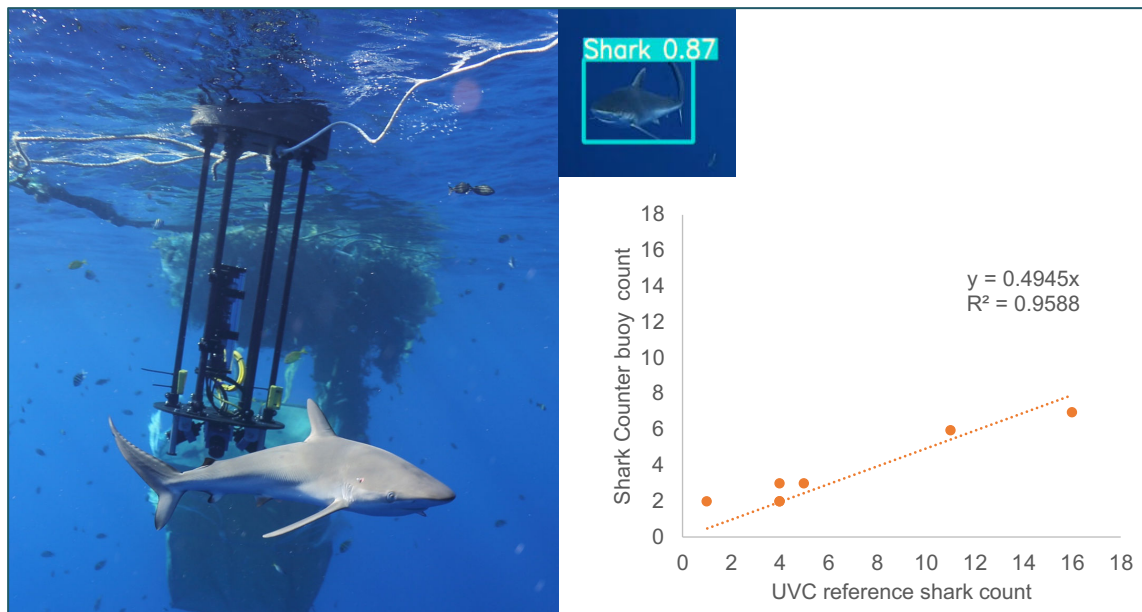


Figure 6. Tests en conditions réelles de la bouée autonome capable de compter des requins.

WP3.2 DCP contrôlable

Certains problèmes actuels générés par les DCP, comme les échouages sur des zones sensibles, pourraient être évités si une partie de la trajectoire des DCP pouvait être contrôlable. En développant un DCP dont la trajectoire peut être contrôlée, l'idée est que lorsqu'un DCP s'éloigne de la zone de pêche ou s'approche d'une zone sensible, le pêcheur puisse changer la trajectoire du DCP afin qu'il reste dans la zone pêche ou d'éviter la zone sensible.

Des contraintes (en particulier approvisionnement de matériaux) n'ont pas permis la livraison du prototype à temps pour organiser la campagne prévue dans l'océan Indien à bord d'un thonier senneur. Le prototype a bien été livré avant la fin du projet, mais au dernier mois de celui-ci (juin 2023).

Ce prototype est construit à partir d'une base flottante sur laquelle sont positionnés un système de propulsion (moteurs électriques), un boîtier de télécommande contrôlant ce système (par Iridium), et un emplacement pour accueillir une bouée sondeur (identique à celle utilisée par les thoniers senneurs pour équiper leurs DCP). Ce prototype a fait l'objet d'essais dans la lagune de Thau, en Occitanie, permettant de valider les fonctionnalités de téléguidage.

Il resterait donc à réaliser les tests en conditions d'opérations réelles, afin de :

- Vérifier qu'un tel DCP contrôlable attire bien du thon (afin qu'il puisse être utilisé par les pêcheurs)
- Vérifier si le système de téléguidage fonctionne correctement en conditions réelles (commandes envoyées par le thonier senneur, distance du DCP, etc.)
- Mesurer les consommations énergétiques du prototype

- Tester si le prototype peut réellement être guidé pour éviter une zone d'échouage



Figure 7 : Prototype de DCP contrôlable

2.4 WP4. Réduire les prises accessoires

WP4.1 Estimation de la quantité de prises accessoires

À partir des données de bouées électroniques attachées aux DCP, ce WP avait pour objectif le développement d'une méthode pour estimer la quantité d'espèces accessoires (autres que thons) autour des DCP. L'apprentissage automatique pour détecter les prises accessoires a été la méthode choisie. Les travaux sont décrits dans la publication scientifique intitulée « Apprentissage automatique pour détecter les risques de prises accessoires : nouvelle application aux données des bouées échosondeurs dans les pêcheries de thon à la senne coulissante » (<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109004>).

Résumé : L'avènement du big data et de l'apprentissage automatique offre de grandes promesses pour aborder les questions de conservation et de gestion des océans. Cependant, peu d'applications d'apprentissage automatique existent pour atténuer la surexploitation des ressources marines. La pêche thonière tropicale à la senne est répartie dans le monde entier et représente les deux tiers des captures mondiales de thon. Dans ces pêcheries, l'utilisation de dispositifs de concentration de poissons dérivants (DCPD) – des objets flottants fabriqués et déployés massivement par les pêcheurs pour augmenter leurs captures de thon – entraîne des captures

accidentelles d'espèces non ciblées, appelées prises accessoires. Nous avons exploré la possibilité d'appliquer l'apprentissage automatique aux bouées échosondeurs attachées aux DCPD, représentant une source inédite de big data, pour identifier les zones à haut risque de prises accessoires autour des DCPD. Nous avons formé des algorithmes de forêts aléatoires pour différencier les occurrences d'espèces accessoires élevées et faibles en se basant sur les données concordantes des échosondeurs et des captures, estimées par les observateurs à bord, pour les mêmes DCPD (représentant des échantillons de 838 et 2144 dans l'océan Atlantique et l'océan Indien, respectivement). Les algorithmes ont montré de meilleures performances dans l'océan Atlantique (précision de 0,66 contre 0,58 dans l'océan Indien) et ont été les plus efficaces pour détecter la classe d'occurrence des « prises accessoires élevées ». Ces résultats révèlent le potentiel de l'apprentissage automatique appliqué aux données des bouées échosondeur des pêcheurs pour informer les pêcheurs de la présence de prises accessoires et améliorer la sélectivité dans l'une des plus grandes pêcheries au monde.

WP4.2 DCP Doubles

L'objectif était de tester une pratique de pêche innovante pour naturellement ségréger les espèces présentes autour d'un DCP. L'idée vient du fait que deux points attractifs proches peuvent entrer en compétition pour attirer les espèces présentes et naturellement conduire à une ségrégation des espèces. Ce principe a été pré-testé à deux reprises en 2011 dans l'océan Indien lors d'une campagne financée par l'ISSF, avec des résultats prometteurs. Néanmoins, ce type d'expérimentations est très difficile car il faut que les 2 DCP "compétiteurs" (ou DCP doubles) restent à une distance proche (de 500 m à 2-3 kilomètres), ce qui est rarement le cas avec des DCP dérivant librement au gré des courants.

L'expérimentation prévue devait utiliser les DCP contrôlables (WP3.2). Malheureusement, ces prototypes n'ont pas pu être livrés à temps et n'ont donc pas permis la réalisation de ce WP.

WP4.3 Eviter d'encercler les requins ou de les relâcher vivants depuis le filet

Des études précédentes ont montré que 60% des requins arrivant sur le pont d'un thonier senneur sont déjà morts (en particulier par la compression dans la dernière poche du filet). Il est alors nécessaire de trouver une méthode avant qu'ils arrivent à bord : soit les relâcher depuis le filet, soit avant qu'ils soient encerclés. Différentes options pour diminuer la mortalité de requins au moment du coup de pêche ont été discutées pendant le premier atelier avec les pêcheurs réalisé par le projet (Concarneau, 15 octobre 2018). Deux idées, paraissant les plus prometteuses, ont ensuite été testées lors d'une campagne de pêche à bord du thonier senneur Talenduic au large des Seychelles, entre le 28 octobre et le 20 novembre 2018 (Figure 7). Deux scientifiques ont embarqué afin de tester ces méthodes.



Figure 8. Le thonier senneur français Talenduic et la zone d'opération de la campagne (les croix indiquent l'emplacement des calées de pêche).

Pêcher et relâcher les requins hors du filet : Cette idée avait déjà été testée par l'ISSF dans l'océan Atlantique à bord d'un navire espagnol et avait montré un potentiel très intéressant. Il s'agissait de tester cette méthode lors d'une nouvelle campagne, dans un autre océan à bord d'un navire français. Une fois le filet fermé et le DCP retiré du filet, les scientifiques sont montés à bord de la vedette avec un membre d'équipage pour commencer la pêche aux requins l'intérieur du filet. Dans cette première partie du protocole, les scientifiques ont pêché les requins et les ont marqués avec des miniPAT avant de les relâcher pour évaluer leur survie. Pour évaluer la faisabilité de relâcher les requins du filet dans le cadre d'une opération de pêche commerciale, la deuxième partie du protocole a été menée par deux membres d'équipage et un scientifique (en tant qu'observateur). L'objectif était d'observer et d'évaluer si l'équipage pouvait capturer et relâcher les requins en toute sécurité et de documenter les difficultés rencontrées (Figure 8). Le taux de survie des requins relâchés était très élevé (95%) et jusqu'à 35% des requins encerclés à l'intérieur du filet ont pu être relâchés. Cette méthode s'est révélée relativement facile, réalisable et peu dangereuse pour l'équipage. Il n'y a pas de coûts additionnels ni de perte de temps pendant la calée. Cependant, la méthode monopolise la vedette et deux marins et peut être difficile lorsque les conditions de mer sont mauvaises.



Figure 9. (gauche) Équipage pêchant des requins à l'intérieur du filet avec des lignes à main et (droite) requin soyeux juvénile relâché hors du filet.

Nasse à requin : L'idée, proposée par un patron de pêche lors de l'atelier à Concarneau, était d'étudier la faisabilité de piéger les requins passivement à l'aide d'un piège à l'intérieur du filet. Les requins piégés pourraient ensuite être relâchés,

une fois les thons sécurisés dans le filet, en ouvrant le piège à l'extérieur du filet. Cette nasse devait être suffisamment grande pour que les requins puissent nager à l'intérieur et robuste pour pouvoir la tracter et la faire passer au dessus du liège. Une nasse de 2 m de longueur, 1,5 m de largeur et 1,5 m de hauteur a été construit par l'équipage et testé pendant une calée (Figure 9). La grande structure générait trop de traînée, provoquant un effet d'ancre flottante et en empêchant son déplacement dans le filet. Il était également très difficile d'enlever la nasse de la senne. Manœuvrer cette cage dans l'eau s'est révélé trop dangereux. Ce test a donc permis d'éliminer cette hypothèse de travail.



Figure 10. Nasse à requins en construction et déployée dans le filet depuis la vedette.

WP4.4 Zones de hotspots de requins soyeux dans l'océan Indien

À partir des données d'observateurs embarqués à bord des thoniers senneurs ce WP avait pour objectif la définition des zones d'abondance élevées de requins et d'autres espèces accessoires dans l'océan Indien. Les données de pêche ont été associées à des données environnementales provenant de la télédétection dans le cadre d'une approche de modélisation environnementale. Les travaux sont décrits dans la publication scientifique intitulée « Prédiction des zones de hotspot de prises accessoires dans les pêcheries de thon tropical à la senne à l'échelle du bassin océanique » (<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01393>).

Résumé : Les programmes d'observateurs des pêches représentent le moyen le plus fiable de collecter des données sur les prises accessoires des pêcheries. Cependant, leur couverture limitée entraîne d'importantes lacunes dans les données qui empêchent l'atténuation des prises accessoires à l'échelle du bassin. Les modèles d'habitat développés à partir des programmes d'observation des pêcheries disponibles offrent une solution potentielle pour combler ces lacunes. Nous nous concentrons sur les pêcheries tropicales de thon à la senne (TTPSF) qui s'étendent à travers les tropiques et dépendent largement des objets flottants (FOB) pour capturer les bancs de thon, conduisant à la capture accessoire d'autres espèces associées à ces objets. Les prises accessoires sous les objets flottants sont dominées par cinq

espèces, dont le requin soyeux *Carcharhinus falciformis* et quatre poissons osseux (le baliste océanique *Canthidermis maculata*, le coureur arc-en-ciel *Elagatis bipinnulata*, le thazard *Acanthocybium solandri* et la coryphène *Coryphaena hippurus*). Notre objectif était de prédire les éventuels hotspot de prises accessoires associés aux FOB pour ces cinq espèces dans deux océans tropicaux. Nous avons utilisé les données de prises accessoires collectées lors de programmes d'observateurs à bord de senneurs dans les océans Atlantique et Indien. Nous avons développé un modèle additif généralisé par espèce et par océan reliant les prises accessoires à un ensemble de covariables environnementales (profondeur, concentration de chlorophylle-a, température de surface de la mer, profondeur de la couche mélangée, salinité de surface, énergie cinétique totale et densité des objets flottants) et temporelles (année et mois). Nous avons extrapolé les relations modélisées à travers chaque océan dans la plage de covariables environnementales associées aux données de prises accessoires et en avons dérivé des prévisions trimestrielles. Nous avons ensuite détecté les hotspots de prises accessoires comme constituant le 90ème percentile des prévisions. Dans l'océan Atlantique, des hotspots de prises accessoires ont été prévus dans les eaux tropicales et subtropicales, avec peu de chevauchement entre les espèces. En revanche, dans l'océan Indien, des hotspots majeurs se chevauchant ont été prévus dans la mer d'Oman pendant la majeure partie de l'année pour quatre espèces, dont le requin soyeux (Figure 10). Notre approche de modélisation fournit une nouvelle méthode analytique pour combler les lacunes en matière de données sur les prises accessoires des pêcheries. Même avec le manque d'évaluation inhérent aux extrapolations, notre effort de modélisation représente la première étape pour contribuer à l'atténuation des prises accessoires dans la TTPSF et est applicable au-delà de ces pêcheries.

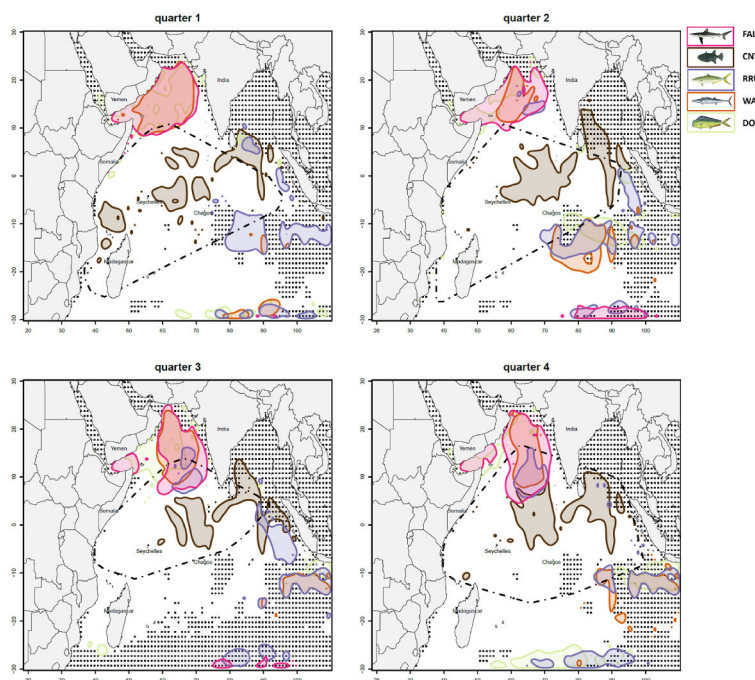


Figure 11. Hotspots prévus des prises accessoires associés aux DCP dans l'océan Indien pour les cinq espèces : requin soyeux, baliste océanique, coureur arc-en-ciel, wahoo et coryphène.

Dans le contexte de zones de hotspots, une deuxième étude a émergé à partir des discussions avec les pêcheurs lors de l'atelier du 07 octobre 2019 à Concarneau. Il avait été évoqué que l'implémentation d'un quota pour l'albacore dans l'Océan Indien en 2017 a causé une augmentation du nombre de calées sur objets flottants et l'expansion de l'effort de pêche vers la zone identifiée comme un hotspot de requin soyeux. Les scientifiques du projet ont alors considéré cette hypothèse de travail avancée par les pêcheurs, et ont examiné s'il y avait eu des captures de requins plus importantes depuis l'instauration du quota d'albacores. Les travaux sont décrits dans la publication scientifique intitulée « Effets involontaires de la gestion des pêcheries monospécifiques » ([10.1007/s10668-022-02432-1](https://doi.org/10.1007/s10668-022-02432-1)).

Résumé : La gestion écosystémique est largement reconnue comme la voie à suivre pour parvenir à la durabilité des services écosystémiques. Les organisations de gestion des pêcheries de thon ont intégré une approche écosystémique dans leur mandat, mais leur processus décisionnel repose essentiellement sur des évaluations de stocks individuels. Cette étude examine les éventuelles conséquences involontaires de mesures de gestion qui se concentrent principalement sur une seule espèce cible. En 2016, la Commission des thons de l'océan Indien (CTOI) a adopté un plan de reconstitution du stock d'albacore. Nous avons examiné les impacts que cette mesure aurait pu avoir sur la stratégie de pêche des flottilles de senneurs et sur la mortalité des requins soyeux, leurs principales prises accessoires d'élasmobranches. La dimension économique de cet éventuel impact écologique a également été explorée. Après la mise en œuvre de la mesure, une augmentation du nombre de calées sur DCP et une expansion de l'effort de pêche ont été observées (Figure 11). Celles-ci se sont traduites par une augmentation de 35 % des prises accessoires de requins soyeux pour la flotte française et de 18 % pour toutes les flottes confondues. Sur la base des captures estimées, la valeur moyenne de consommation des prises accessoires de requins soyeux a été évaluée à 1,6 million de dollars américains. En tenant compte de la valeur de conservation, le coût social de ce service écosystémique perdu pourrait atteindre 14 millions de dollars. Ce travail est une première exploration de la dimension socio-économique des compromis entre l'utilisation des DCP dans les pêcheries de thon à la senne coulissante et les prises accessoires de requins et peut être appliqué à d'autres espèces associées aux DCP.

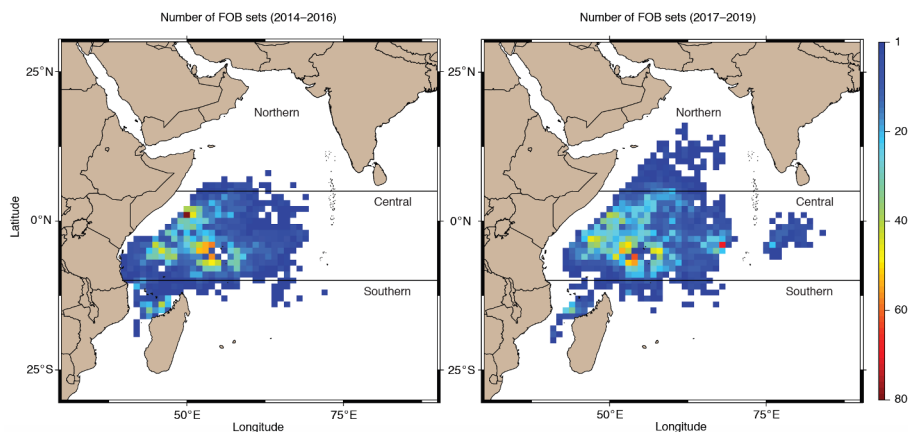


Figure 12. Nombre de calées sur DCP de la flotte française avant et après le quota d'albacore.

2.5 WP5. Eviter la perte de DCP et les échouages

WP5.1 Estimer la probabilité d'échouage

L'objectif de ce WP était de produire des cartes de risques d'échouages associés aux déploiements des DCP, ainsi que les risques de dériver vers des zones éloignées où les DCP sont perdus. Les travaux sont décrits dans la publication scientifique intitulée « La gestion spatiale peut réduire considérablement les échouages de DCP dans les pêcheries de thons tropicaux à la senne dans les océans Indien et Atlantique » (doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108939).

Résumé : Les débris provenant des pêcheries constituent une menace importante pour les écosystèmes marins côtiers du monde entier. La pêche de thons tropicaux à la senne contribue à ce problème par la construction et le déploiement de milliers de dispositifs de concentration de poissons dérivants (DCP) fabriqués chaque année, dont beaucoup finissent par s'échouer dans les zones côtières. Ici, nous avons analysé environ 40 000 trajectoires de DCP dans l'océan Indien et 12 000 trajectoires de DCP dans l'océan Atlantique déployés au cours de la décennie 2008-2017 pour identifier où et quand les échouages se produisent. Nous constatons qu'il est extrêmement prometteur de réduire les événements d'échouage en interdisant les déploiements dans les zones les plus susceptibles de conduire à un échouage. Par exemple, nos résultats indiquent que 21 à 40 % (selon la redistribution de l'effort après fermeture) des échouages peuvent être évités si les déploiements sont interdits dans les zones situées au sud de 8°S de latitude, dans la zone Somalie en hiver et à l'ouest des Maldives en été pour l'océan Indien, et dans une bande allongée de zones adjacentes à la côte ouest de l'Afrique pour l'océan Atlantique (Figure 12). Dans les deux océans, les zones d'échouage les plus risquées ne coïncident pas avec les zones de forte activité de déploiement de DCP, ce qui suggère que ces fermetures pourraient être mises en œuvre avec un impact relativement minimal sur la pêche. En outre, l'existence de hotspots évidents de la probabilité d'échouage et les taux élevés de récupération présumée des bouées par les pêcheurs artisanaux dans certaines zones

suggèrent que des systèmes d'alerte précoce et des programmes de récupération des DCP peuvent être efficaces dans les zones qui ne peuvent pas être protégées par des fermetures. Des incitations peuvent être offertes aux partenaires locaux pour participer à ces programmes.

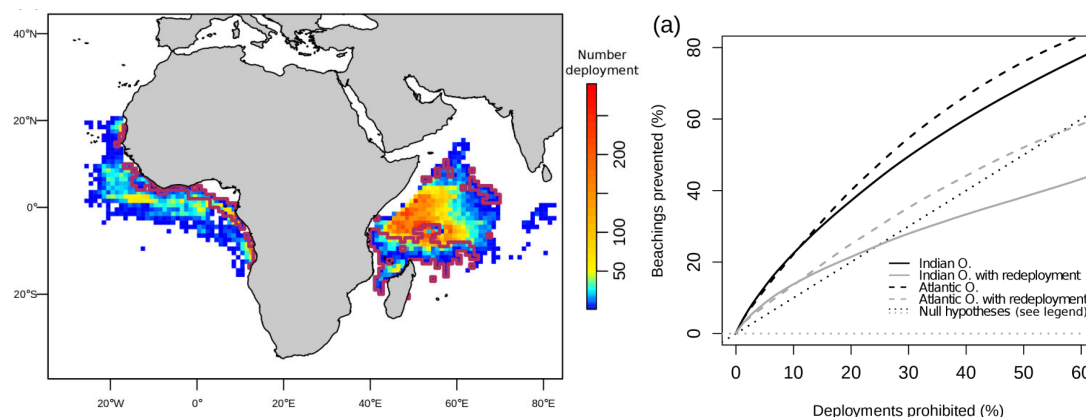


Figure 13. Zones des déploiements les plus susceptibles de produire un échouage et réduction du taux d'échouage prévue en fonction des zones fermées aux déploiements.

Une étude a également été menée pour étudier la possibilité de récupérer les DCP en mer avant leur échouage. Les travaux sont décrits dans la publication scientifique intitulée « Récupération en mer des dispositifs de concentration de poissons dérivants abandonnés, perdus ou rejetés » (<https://doi.org/10.1038/s41893-022-00883-y>).

Résumé : La pêche thonière tropicale à la senne contribue aux engins de pêche abandonnés, perdus ou rejetés (ALD) en déployant un grand nombre de dispositifs de concentration de poissons dérivants (DCP). Nous avons analysé plus de 80000 trajectoires de DCP (56 263 bouées de suivi) dans les océans Indien et Atlantique de 2012 à 2018. Nous avons constaté que plus de 40 % des trajectoires de DCP se sont finalement éloignées des zones de pêche, devenant ainsi des ALD. Environ 20 % de ces DCP perdus sont passés à moins de 50 km des principaux ports, ce qui indique que les programmes portuaires pourraient être efficaces pour collecter en mer les DCP devenant ALD (Figure 13). Nous avons également identifié des régions dans les zones de pêche d'où sortent la plupart des DCP et où la récupération en haute mer pourrait être utile. Par exemple, la plupart des DCP quittant les zones de pêche de l'océan Indien le long de leur frontière orientale à $\sim 70^\circ$ E, en particulier en octobre-décembre, ne retournent pas sur les zones de pêche. Malgré des défis logistiques considérables, la récupération en mer des DCP offre des options prometteuses pour réduire l'empreinte écologique des pêcheries à la senne coulissante.

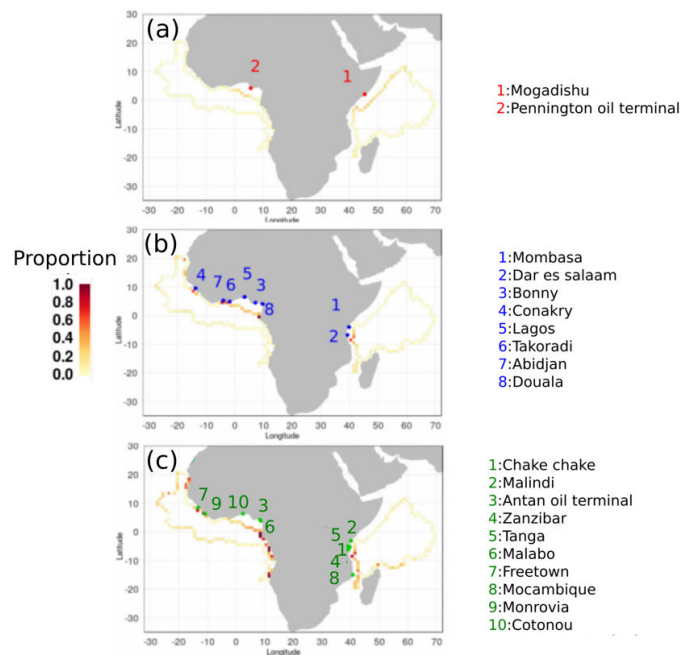


Figure 14. Des DCP en bordure de zones de pêche qui leur quittent définitivement et passent à proximité des ports.

WP5.2 Utilisation de DCP contrôlables pour éviter des zones sensibles

L'objectif était de tester le prototype du DCP contrôlable (WP3) pour éviter des échouages. Malheureusement, ce prototype n'a pas pu être livré à temps pour pouvoir réaliser ce WP.

3 Conclusion et perspectives

Le projet INNOV-FAD a permis des avancées significatives dans la recherche de solutions pour diminuer les impacts de l'usage des DCP sur les écosystèmes marins. Ces objets flottants, fabriqués par les pêcheurs, qui les équipent de bouées leur permettant de les localiser et d'estimer la présence de thons, ont révolutionné la pêche à la senne depuis une vingtaine d'années. Dans le monde, près de 60% des captures des thoniers senneurs sont réalisées en pêchant à l'aide de ces DCP (ISSF, 2023).

Comme toute pratique de pêche, la priorité est de quantifier les impacts et les contrôler. Cela passe par des mesures de gestion adaptées et/ou des nouvelles pratiques de pêche. Le projet INNOV-FAD s'inscrivait dans cette dynamique, pour trouver des solutions et ainsi proposer aux pêcheurs et aux gestionnaires des outils et méthodes pour une utilisation plus durable des DCP.

Le projet INNOV-FAD a permis de quantifier qu'environ 20% des DCP s'échouent. Des restrictions sur les zones de déploiement des DCP ou encore des programmes de récupération des DCP lorsqu'ils passent près des côtes permettraient de réduire significativement ces échouages.

Le projet a également produit des résultats innovants pour aider les pêcheurs à réduire leurs impacts sur les espèces accessoires. (1) Un algorithme d'intelligence artificielle appliqué aux données transmises par les bouées sondeur équipant les DCP permet d'informer sur la présence ou non d'espèces accessoires. (2) Une nouvelle bouée prototype a été développée permettant de transmettre à distance le nombre de requins associés à un DCP. Si elle était utilisée par les pêcheurs, elle leur permettrait d'élaborer d'éviter de pêcher sur les DCP ayant un nombre trop élevé de requins, ou de se préparer à mettre en œuvre des méthodes pour relâcher les requins durant l'opération de pêche. Ces bouées fourniraient aussi des données précieuses aux scientifiques pour estimer l'abondance des requins. (3) Enfin, une méthode de relâchage des requins, lorsqu'ils sont encerclés dans la senne, a été mise au point et permet de réduire significativement le nombre de requins tués.

Malheureusement, pour différentes contraintes dont celles d'approvisionnement de matériaux en période COVID, le prototype de DCP contrôlable n'a pu être livré que le dernier mois du projet. Les essais en mer, à bord d'un thonier senneur français, pour voir si le DCP attire bien du thon, qu'il peut être contrôlé à distance par le patron de pêche pour éviter qu'il s'échoue lorsqu'il approche de zones côtières, ou encore s'il peut être utilisé en paire avec un autre DCP pour séparer les espèces associées aux DCP et éviter de capturer des requins, n'ont pu être réalisés. Le consortium va ainsi rechercher les moyens pour mener ces essais.

La collaboration entre scientifiques, pêcheurs, armements et association d'armements (ORTHONGEL) a parfaitement fonctionné. Les ateliers d'échanges ont ainsi permis de réfléchir tous ensemble à des idées innovantes pour réduire les échouages ou les captures de requins. Certaines de ces idées, co-construites, ont ensuite été testées en mer, pour en éliminer certaines ou au contraire, en valider d'autres. Ce processus associant scientifiques et professionnels s'est révélé particulièrement riche.

Nous tenons également à remercier l'ISSF (International Seafood Sustainability Foundation) qui a été associé au projet et y a apporté son soutien. L'ISSF joue un rôle majeur auprès des ORGP de tous les océans pour rechercher des solutions visant à une meilleure durabilité des pêcheries thonières, en se basant sur les avancées scientifiques.