

Rapport du Programme annuel sur l'espadon (SWOYP)

Contexte et objectifs du programme

Depuis 2018, le Groupe d'espèces sur l'espadon mène un programme de recherche qui vise à dissiper les principales incertitudes importantes pour l'amélioration de l'avis scientifique pour la gestion de cette espèce. Le programme de recherche englobe les trois stocks d'espadon de l'ICCAT et a été modifié chaque année pour répondre aux nouvelles connaissances, priorités et estimations des coûts. Ce programme vise à améliorer les connaissances sur la distribution du stock, l'âge et le sexe des captures, les taux de croissance, l'âge à la maturité, le taux de maturité, la saison et le lieu de frai, les délimitations et le mélange des stocks, contribuant ainsi à la prochaine avancée majeure dans l'évaluation de l'état de l'espadon. Le SWOYP comprend également une étude de marquage électronique visant à mieux comprendre le cycle vital de l'espadon et son utilisation de l'habitat, ainsi qu'une évaluation de la stratégie de gestion (MSE) du stock de l'Atlantique Nord, afin de suivre le calendrier de la MSE convenu par la Commission. Collectivement, ces projets devraient se traduire par un avis plus fiable sur l'état des stocks de cette ressource gérée de manière internationale et collective. Le Groupe d'espèces sur l'espadon a estimé que ces travaux étaient hautement prioritaires et qu'ils permettraient de combler les lacunes importantes dans notre compréhension de la dynamique de la population et de l'écologie des stocks. Le programme, qui fonctionne sur une base contractuelle à court terme depuis 2018, a été officialisé en tant que programme de recherche de l'ICCAT en 2022.

Aperçu des activités

Le Groupe d'espèces sur l'espadon a donné la priorité aux domaines de recherche suivants : une étude sur la détermination de l'âge et la croissance afin d'améliorer les connaissances sur les schémas de croissance des stocks ; une étude sur la biologie de la reproduction afin d'améliorer les connaissances sur la maturité et la fécondité ; une étude génétique afin de mieux définir les délimitations des stocks et d'estimer les taux de mélange entre les stocks ; une étude sur le marquage électronique afin de mieux comprendre le cycle vital et l'utilisation de l'habitat, et la MSE afin de suivre le calendrier de la MSE convenu par la Commission. Ces projets sont supervisés par un consortium dirigé par le Canada (Dr Kyle Gillespie et Dr Alex Hanke ; Pêches et Océans Canada) et administré par la *Nova Scotia Swordfishermen's Association*. Chacun des trois domaines de recherche est supervisé par des chefs de projet : détermination de l'âge et croissance (Dr Rui Coelho et Mme Daniela Rosa, *Instituto Português do Mar e da Atmosfera* (IPMA)) ; reproduction (Dr David Macías (*Instituto Español de Oceanografía* (IEO))) ; et génétique (Dre Oliana Carnevali et Dre Giorgia Gioacchini (*Università Politecnica delle Marche*) (UNIVPM)). Au total, 21 institutions de 14 CPC de l'ICCAT participent à la collecte et à l'analyse des échantillons. Quatre ateliers de biologie du SWOYP ont été organisés : le premier, en 2019, pour affiner et standardiser les méthodes d'échantillonnage et le traitement des échantillons ; le deuxième, en 2021, pour examiner les résultats de l'étude et créer des ensembles de référence de détermination de l'âge et d'histologie et examiner les résultats d'un premier exercice de calibrage ; un troisième, en 2023, pour faire progresser les protocoles de détermination de l'âge, le calibrage de l'âge, la validation de l'âge et le développement d'un ensemble de référence ; et un quatrième, en 2024, pour élaborer un plan de recherche stratégique à plus long terme pour le SWOYP. Les marques électroniques ont été utilisées pour soutenir les études sur les mouvements et l'utilisation de l'habitat dans l'Atlantique Nord-Ouest et dans une éventuelle zone de mélange dans l'Atlantique Nord-Est. La MSE pour l'Atlantique Nord, initiée en 2018, est menée par une équipe technique principale et un prestataire externe. Une procédure de gestion (MP) a été sélectionnée par la Commission en 2024 et l'équipe technique poursuivra les travaux techniques sur un protocole de circonstances exceptionnelles et des tests de robustesse liés au changement climatique et aux limites de taille minimale. En 2024, les efforts se sont largement concentrés sur le traitement des échantillons. Les scientifiques des CPC qui fournissent régulièrement des échantillons se sont principalement attachés à rattraper le retard dans le traitement d'échantillons et l'analyse des matériaux collectés dans le cadre du SWOYP les années précédentes. Un traitement des échantillons supplémentaire par carbone bombe radioactif a été mené à bien au cours cette phase du projet.

Collecte et couverture des échantillons

Au cours de toutes les phases de ce programme, 4.712 échantillons ont été prélevés, couvrant les trois stocks. La majorité des échantillons collectés consistent en une épine de la nageoire anale pour la détermination de l'âge, un morceau de tissu pour l'analyse génétique, et comprennent des données sur la taille, le sexe, le lieu et la date de capture du poisson. Un sous-ensemble d'échantillons comprend des otolithes aux fins de la détermination de l'âge et/ou un morceau de gonade pour l'analyse de la reproduction.

Au cours de toutes les phases du SWOYP, des échantillons ont été prélevés dans un grand nombre des principales zones de pêche de l'Atlantique Nord et Sud et de la Méditerranée. L'échantillonnage dans l'Atlantique Nord s'est concentré dans trois zones : le plateau néo-écossais, dans l'Atlantique Ouest ; le long du parallèle 39°N, dans l'Atlantique Est ; et au large de la côte occidentale du Maroc, dans l'Atlantique Est. Ces trois zones sont des zones importantes pour la capture de l'espadon. Les échantillons obtenus près du détroit de Gibraltar seront particulièrement importants pour les futures analyses génétiques visant à comprendre le mélange entre les stocks de l'Atlantique et de la Méditerranée. Dans le cadre de la phase 3 du programme, un nombre important d'échantillons a été obtenu sur la côte Est des États-Unis (zone d'échantillonnage des istiophoridés 92), mais des lacunes subsistent dans le golfe du Mexique (BIL91) et dans les Caraïbes (BIL93). Des échantillons provenant des eaux côtières du Venezuela ont également été ajoutés. Dans le cas du golfe du Mexique et des Caraïbes, les prises d'espadon sont relativement faibles, mais nous prévoyons que les futurs efforts d'échantillonnage incluront des données provenant de ces zones. Le consortium s'efforce d'établir des partenariats avec des instituts dans ces zones afin d'accroître la couverture spatiale.

Depuis 2018, l'échantillonnage dans l'Atlantique Sud a eu lieu entre 5°N et 6°S, s'étendant de la côte du Brésil au golfe de Guinée. Plus de la moitié des échantillons ont été obtenus dans cette zone qui recouvre deux zones d'échantillonnage d'istiophoridés (BIL 96 et 97). Il s'agit d'une zone de capture importante d'espadons par les flottilles de pêche en eaux lointaines. Il s'agit également d'une zone de mélange présumée pour les stocks de l'Atlantique Nord et de l'Atlantique Sud. En outre, des échantillons ont été collectés dans les eaux du sud du Brésil et au large des côtes de l'Afrique du Sud et de la Namibie. La côte sud du Brésil, qui s'étend à l'est le long du parallèle 30°S, est une zone importante pour les captures d'espadon, mais elle n'a pas été échantillonnée dans le cadre de ce programme. Les CPC dont les flottilles pêchent dans cette zone ont été contactées par le SWOYP afin d'obtenir des échantillons de cette zone. Ces CPC ont refusé de soutenir les efforts d'échantillonnage. Au cours de la phase 6, 51 échantillons de tissus musculaires d'espadon ont été fournis à des fins d'analyse génétique. Ces échantillons ont été collectés entre 2016 et 2019 et aideront grandement à comprendre la dynamique spatiale du stock d'espadon de l'Atlantique Sud.

L'échantillonnage en Méditerranée a eu lieu dans trois régions jusqu'à présent dans le cadre du SWOYP : la mer des Baléares, en Méditerranée occidentale, la mer Tyrrhénienne et la mer Adriatique, en Méditerranée centrale, et les îles grecques. La couverture d'échantillonnage de ces mers semble assez représentative des captures. Des échantillons supplémentaires sont nécessaires dans la région très occidentale de la Méditerranée, dans la mer d'Alboran et à proximité du détroit de Gibraltar, où l'on soupçonne un mélange entre les stocks de l'Atlantique Nord et de la Méditerranée. Un échantillonnage supplémentaire est nécessaire en Méditerranée orientale, dans les mers Ionienne et Égée. Les CPC qui pêchent dans ces zones ont été contactées et ont jusqu'à présent refusé de soutenir les efforts d'échantillonnage.

Biologie de la reproduction de l'espadon dans l'Atlantique et en Méditerranée

L'étude de la biologie de la reproduction poursuit les objectifs suivants : (a) améliorer les connaissances sur la reproduction et la maturité de l'espadon de l'Atlantique et de la Méditerranée, (b) obtenir des ogives de maturité spécifiques au sexe, (c) identifier les zones de reproduction spatiales et temporelles et (d) estimer L_{50} et la fécondité liée à la taille/l'âge.

Le sexe des poissons a été déterminé par observation macroscopique et par analyse histologique. 86,5% des échantillons ont été évalués pour identifier le sexe, tandis que dans les 13,5% d'échantillons restants, les gonades n'étaient pas disponibles pour l'évaluation ou étaient dans un état où le sexe était ambigu. Les données sur le sexe ne sont généralement pas recueillies dans le cadre des programmes d'échantillonnage nationaux, et ces données ne sont pas non plus requises dans la déclaration à l'ICCAT, ce qui rend difficile l'évaluation de la représentativité de ces données. Dans toutes les régions, les femelles sont plus nombreuses

que les mâles dans l'échantillon. La différence la plus extrême dans le ratio des sexes a été observée en Méditerranée, où seulement 30% des poissons ont été évalués comme mâles. Cette région présentait également le plus haut niveau d'incertitude, le sexe étant inconnu pour environ 30% des poissons. Le déséquilibre des ratios des sexes pourrait être le résultat d'une zonification spatiale inhérente entre les sexes ou du fait que les mâles sont classés comme « inconnus » à des taux plus élevés que les femelles. Par exemple, une grande partie des poissons échantillonnés proviennent d'eaux plus septentrionales où l'on sait que les espadons femelles sont plus abondants.

La maturité a été évaluée sur une échelle de six points. Près d'un tiers des poissons échantillonnés présentaient des états de maturité étiquetés comme « indéterminés » et ces données nécessitent une vérification supplémentaire. Dans de nombreux cas, des données histologiques sont disponibles pour les échantillons et dans ces cas, les évaluations macroscopiques des gonades seront comparées aux données histologiques.

Une analyse préliminaire de L_{50} comparant les données macroscopiques et microscopiques a été réalisée en 2020 (Saber *et al.*, 2020). Au total, 2.434 données sur le sexe et la maturité macroscopique d'espadons de l'Atlantique Nord et de l'Atlantique Sud, et de la Méditerranée ont été collectées, couvrant une large gamme de tailles (58 à 261 cm LJFL). Environ 768 échantillons de gonades ont été collectés dans l'Atlantique Nord et la Méditerranée. Une analyse plus approfondie sera menée une fois que la taille de l'échantillon aura augmenté. Il convient de se référer au document de Saber *et al.* (2020) qui comprend une analyse préliminaire des échantillons collectés à ce jour, et des recommandations sur les prochaines étapes de collecte de données et d'échantillons. Les descriptions des fréquences de taille par mois/saison et par stock de l'espadon échantillonné pour les données de maturité sont également fournies.

Les poissons ont été classés comme immatures (stade 1) ou matures (stades 2 à 5). La L_{50} a été estimée en utilisant les données de maturité macroscopique. Les échantillons de gonades ont été envoyés au coordinateur des études sur la reproduction à l'IEO-Málaga (Espagne). La détermination de la maturité microscopique des gonades reposait sur une modification des critères de Schaefer (2001) et de Farley *et al.* (2013).

Comme prévu, l'analyse du ratio des sexes a montré que les femelles étaient plus abondantes que les mâles, mais des travaux supplémentaires sont nécessaires pour vérifier si le programme d'échantillonnage prend en compte les deux sexes. La L_{50} estimée dans l'analyse préliminaire pour les trois stocks était systématiquement inférieure à celle adoptée par le SCRS. Cependant, il convient de remarquer que le nombre important de sections histologiques d'ovaires examinées a montré que les femelles classées microscopiquement comme immatures étaient souvent incorrectement classées comme étant en développement (stade 2, mature) lorsqu'on utilisait les critères macroscopiques. En 2023, 42 échantillons supplémentaires du Taipei chinois et 247 échantillons de l'UE-Portugal ont été traités. L'analyse histologique de ces échantillons est en cours.

D'autres calibrages et exercices sont nécessaires pour accroître la capacité du Groupe à analyser les échantillons de gonades. De plus, des échantillons sont nécessaires dans les zones de frai supposées de la mer des Sargasses et du golfe de Guinée.

L'augmentation de l'échantillonnage de l'espadon dans la mer Méditerranée et l'océan Atlantique est nécessaire pour collecter suffisamment de données pour une estimation fiable de la maturité et d'autres caractéristiques de la reproduction, tout comme la validation des données macroscopiques de maturité par l'examen histologique des gonades.

Détermination de l'âge et croissance de l'espadon de l'Atlantique et de la Méditerranée

Les objectifs de l'étude sur la détermination de l'âge et la croissance sont : a) développer une méthodologie standardisée pour déterminer l'âge des épines et des otolithes, b) valider les âges par des procédures telles que le carbone radioactif, et c) mettre à jour les formules de croissance spécifiques au sexe en utilisant de nouvelles données d'échantillons et des techniques de modélisation.

Au total, 3.542 échantillons d'otolithes (1.396 mâles, 1.783 femelles, 365 spécimens de sexe indéterminé) ont été collectés pour cette étude dans l'Atlantique Nord, Sud et la Méditerranée. Au total, 1.359 échantillons d'otolithes (583 mâles, 731 femelles, 38 spécimens de sexe indéterminé) ont été collectés pour cette étude dans l'Atlantique Nord, Sud et la Méditerranée.

À partir des échantillons d'épines et d'otolithes collectés, 1.093 épines, 288 otolithes pour la détermination de l'âge annuel et 56 otolithes pour la détermination de l'âge quotidien ont été traités pour l'Atlantique Nord. Pour l'Atlantique Sud, 979 épines, 500 otolithes pour la détermination de l'âge annuel et 11 otolithes pour la détermination de l'âge quotidien ont été traités. Pour la Méditerranée, 173 épines, 44 otolithes pour la détermination de l'âge annuel et 6 otolithes pour la détermination de l'âge quotidien ont été traités.

Le sectionnement des épines et des otolithes est effectué au Fish Ageing Services (Service de détermination de l'âge des poissons) (FAS) (Australie). La préparation des épines suit la méthode de Quelle *et al.* (2014). La deuxième épine de la nageoire anale est incrustée individuellement dans de la résine pour être sectionnée, deux sections d'environ 0,5 mm ont été réalisées à une distance de la largeur du condyle (1D) et à la moitié de la largeur du condyle (0,5D). Les épines plus petites ont été sectionnées à l'aide d'une machine à tailler les pierres précieuses modifiée et équipée d'une scie à grande vitesse, avec un seul disque de diamant Pro Slicer, tandis que les épines plus grandes ont été sectionnées à l'aide d'une Isomet avec un disque à gaufrer de diamant. Les sections de l'épîne ont été conservées dans une résine de moulage transparente orthophtalique en polyester et photographiées sous un microscope à dissection avec une caméra numérique.

Avant le traitement, les otolithes entiers ont été mesurés pour obtenir leur longueur et leur largeur et photographiés à l'aide d'un appareil Leica M80 avec la lumière transmise et un grossissement x5. Les otolithes ont été préparés pour des lectures d'âge annuelles et quotidiennes dans de fines sections transversales en meulant l'otolithe dans un processus en 3 étapes. Tout d'abord, l'otolithe a été fixé sur le bord (extrémité) d'une lame à l'aide d'un support de montage thermoplastique (Crystalbond 509), la face antérieure de l'otolithe dépassant du bord. On a veillé à ce que le primordium se trouve juste à l'intérieur du bord du verre. L'otolithe a ensuite été meulé jusqu'au bord avec du papier de verre humide et sec de 400 et 800 grains. La lame a ensuite été réchauffée et l'otolithe a été retiré et placé (côté meulé vers le bas) sur une autre lame et le Crystalbond a été mis de côté pour se refroidir. Une fois refroidie, la section de l'otolithe a été meulée horizontalement sur la surface de meulage en utilisant différents degrés (400, 800 et 1500 grains) de papier de verre humide et sec et enfin un film couvrant de 5 µm. Au cours de ce processus, l'épaisseur appropriée de la préparation de l'otolithe a été vérifiée en permanence (220 µm - 250 µm pour les lectures annuelles ou 50 µ - 80 µm pour les lectures quotidiennes). Les sections de l'otolithe ont été conservées dans une résine de moulage transparente orthophtalique en polyester et photographiées à un grossissement de x40 à l'aide d'un microscope à dissection Leica M80 éclairé en lumière transmise.

En 2022, une analyse préliminaire d'une lecture d'âge pour le stock de l'Atlantique Nord a été réalisée. Plusieurs lecteurs ont lu les épines et les otolithes et des biais ont été constatés entre les lecteurs pour ces deux structures. L'âge modal maximum dans les épines était de 7 ans et de 5 ans dans les otolithes. La taille par âge moyenne des épines était similaire aux tailles par âge moyennes provenant de l'étude d'Arocha *et al.* (2003). L'échantillonnage, le traitement et les lectures d'âge se poursuivront dans le cadre du programme, ce qui contribuera au développement de nouveaux modèles de croissance spécifiques au sexe pour les trois stocks.

Au cours de la phase 5 du SWOYP, un atelier conjoint pour l'espadon (SWOYP), les istiophoridés (Programme de recherche intensive sur les istiophoridés - EPBR) et les thonidés mineurs (Programme annuel sur les thonidés mineurs) a été organisé dans le but de renforcer l'expertise des scientifiques de l'ICCAT en partageant les connaissances, en standardisant les méthodologies, en examinant le travail déjà réalisé et en élaborant des plans pour les prochaines étapes de ces programmes de recherche.

Un domaine de projet du SWOYP sur la détermination de l'âge et la croissance en 2023 était la validation de l'âge par le biais de l'analyse du carbone radioactif. L'objectif de cette composante de l'âge et de la croissance est d'utiliser un système de référence bien développé pour la validation de l'âge de l'espadon afin de fournir des protocoles valides de lecture de l'âge des otolithes et des caractéristiques du cycle de vie qui sont essentiels pour la gestion durable des pêcheries. Une méthode de pointe utilisée pour répondre à ces préoccupations - connue sous le nom de datation au carbone bombe radioactif (^{14}C) - a été perfectionnée au cours des 30 dernières années. Les améliorations technologiques, associées à la compréhension de la

propagation du signal du carbone 14 carbone bombe radioactif dans les écosystèmes aquatiques, sont maintenant disponibles pour résoudre les problèmes d'estimation de l'âge de certains poissons dont l'âge est difficile à estimer, et en particulier des poissons pélagiques récemment collectés et à croissance rapide.

Dans cette étude, une chronologie bien connue du carbone 14 de l'Atlantique Nord a été utilisée pour tester la validité des estimations de l'âge de l'espadon en comparant les valeurs de ^{14}C - mesurées au moyen d'une nouvelle technologie de spectrométrie de masse par accélérateur de gaz (AMS) à l'ETH Zürich - à partir d'otolithes de poissons âgés avec des références régionales de carbone 14. L'alignement ou le désalignement des valeurs de carbone 14 dans le temps, calculées comme des dates d'éclosion à partir de chaque estimation de lecture de l'âge des otolithes, a été utilisé pour établir ou affiner les protocoles. Dans certains cas, le décalage de certaines valeurs de carbone 14 des otolithes par rapport à la chronologie de référence a été utilisé comme base pour réexaminer la section d'otolithes en vue de scénarios alternatifs d'interprétation de l'âge, ce qui a souvent été associé à l'utilisation de la masse des otolithes et de la longueur des poissons (pour les poissons plus petits) pour élucider les problèmes liés aux interprétations de l'âge dans les sections d'otolithes. Pour de nombreuses estimations d'âge initiales, les années d'éclosion calculées ont conduit à un positionnement temporel de la valeur de carbone 14 mesurée (à partir du noyau de l'otolithe) dans la gamme escomptée des valeurs de référence de carbone 14. Les principales sources d'erreur étaient les suivantes : (1) des zones de croissance mal définies dans les sections d'otolithes, (2) un protocole de comptage cohérent incluant la croissance la plus précoce (premier anneau), (3) des problèmes possibles avec certaines extractions d'échantillons et (4) l'alignement des valeurs provenant de dates de collecte plus anciennes. L'extraction du matériel otolithique a été difficile et s'est approchée des limites de ce qui peut être évalué à partir du gaz-AMS, mais surtout parce que le contrôle de la cible d'extraction était difficile et qu'il s'agissait d'un travail en cours qui s'est amélioré avec le temps. Dans l'ensemble, la datation au carbone 14 après le pic des bombes a permis de déterminer l'âge de l'espadon depuis le milieu ou à la fin de la puberté, bien que les protocoles de lecture de l'âge doivent manifestement être affinés pour les sections d'otolithes difficiles à lire, ainsi que pour déterminer l'emplacement du premier anneau utilisé pour commencer le comptage servant à estimer l'âge.

Les résultats de cette étude fournissent une base validée pour l'utilisation continue du comptage de la zone de croissance annuelle dans les otolithes en coupe fine, avec une marge d'amélioration pour l'espadon de l'Atlantique Nord. L'alignement de nombreux échantillons mesurés a permis d'obtenir une bonne concordance avec ce qui était attendu de la chronologie au carbone 14 de l'Atlantique Nord, mais certains ne se sont pas alignés et ont donné lieu à une série d'observations qui ont été attribuées à des complications expérimentales ou environnementales - contrôle cohérent des extractions d'échantillons centraux de très petits otolithes et différences possibles dans les niveaux de carbone 14 de la source pour la croissance des otolithes la plus précoce. Sur la base de l'analyse de l'espadon dans cette étude, une série de suivi de 20 mesures est actuellement réalisée sur des échantillons supplémentaires fournis par l'IPMA à l'ICCAT afin d'approfondir les estimations de l'âge. Ces échantillons couvrent une gamme similaire à l'ensemble des données existantes en termes de taille des poissons, de masse des otolithes et d'âge estimé, afin de mieux comprendre le schéma d'absorption du carbone 14 du matériel des otolithes de l'année d'éclosion au fil du temps. En outre, une analyse de l'incrément quotidien de la croissance la plus précoce a été réalisée afin de fournir une base solide pour la localisation du premier anneau, qui sera associée à des résultats récents permettant d'attribuer un âge décimal en raison de la structure de la zone de croissance de l'otolithe. Les résultats présentés ici sont provisoires en raison du perfectionnement nécessaire des protocoles de lecture des âges et seront ajustés en fonction des besoins lorsque de plus amples informations auront été acquises, ce qui permettra de disposer d'une base validée par l'âge pour un document publiable.

Génétique, délimitation des stocks et mélange de l'espadon de l'Atlantique et de la Méditerranée

La différenciation des stocks, l'identification des limites et les taux de mélange entre les trois stocks d'espadon (NATL, SATL et MED) constituent une incertitude critique pour la science et la gestion de l'espadon de l'Atlantique. Le SWOYP a utilisé une variété de techniques génétiques nextGen pour clarifier certaines des incertitudes liées aux connaissances de ce groupe d'espèces. Au cours des phases précédentes du projet, le couplage des résultats obtenus par l'analyse de 635 échantillons utilisant des variants nucléotidiques simples (évalués par séquençage de l'ADN associé au site de restriction à double digestion (ddRADseq)) et 30 échantillons utilisant des variants structurels (évalués au moyen du séquençage du génome entier (WGS)) a permis de déterminer la différenciation des stocks (en termes de structure et de diversité génétique, de condition physique et de potentiel évolutif et d'identifier les limites des stocks et les mélanges génétiques entre les stocks de l'Atlantique Nord, de l'Atlantique Sud et de la Méditerranée). Dans

cette phase du projet (6), le couplage des analyses ddRAD et WGS a permis d'identifier, à partir des 32.459 SNP utilisés pour l'analyse génétique des populations, un ensemble minimum de variants (SNP) nécessaires pour différencier les stocks de la Méditerranée et de l'Atlantique et les stocks de l'Atlantique Nord et de l'Atlantique Sud. Deux modèles d'apprentissage automatique ont été développés pour différencier les stocks.

Le premier modèle a été créé pour différencier le stock de la Méditerranée du stock de l'Atlantique. À cette fin, le génotypage obtenu à partir du modèle de structure avec deux populations ancestrales (K=2, G1 représentant l'espadon de l'Atlantique G2 représentant l'espadon de la Méditerranée) a été utilisé. Le second modèle a été créé pour différencier le stock de l'Atlantique Nord du stock de l'Atlantique Sud. Pour ce faire, le génotypage obtenu à partir du modèle de structure avec trois populations ancestrales (K=3, G1, G2 et G3) (de la phase 5 du projet) a été utilisé. Les échantillons provenant des zones de mélange et de la Méditerranée (G3) ont été exclus. Pour créer ces deux modèles d'apprentissage automatique, les FST par paire dans les deux ensembles de données ont été calculés, en ne sélectionnant que les SNP ayant l'indice FST le plus élevé.

Pour différencier le stock de la Méditerranée du stock de l'Atlantique, l'indice FST a été calculé par paire de tous les échantillons, puis 18 SNP ayant un score FST supérieur à 0,65 ont été sélectionnés. Pour différencier le stock de l'Atlantique Nord du stock de l'Atlantique Sud, l'indice FST a été calculé par paire des échantillons inclus dans le deuxième modèle, puis 14 SNP ayant un score FST supérieur à 0,55 ont été sélectionnés.

Les deux ensembles de données ont été divisés en données de formation et de test et les différents algorithmes d'apprentissage automatique ont été testés pour prédire l'origine des échantillons d'espadon : analyse discriminante linéaire, arbres de classification et de régression, voisins k les plus proches, machines à vecteurs de support avec un noyau linéaire et forêt aléatoire. Les deux modèles ont donné de très bons résultats, une précision de 100 % ayant été obtenue avec les échantillons utilisés pour le test.

Étude exploratoire sur la détermination épigénétique de l'âge

La détermination de l'âge et les analyses de la croissance de l'espadon sont confrontées à de nombreuses difficultés en raison de la petite taille des otolithes, des difficultés d'obtention des otolithes et de la vascularisation des épines des nageoires qui pourraient fournir des indications sur l'âge. De nouvelles techniques épigénétiques ont permis de progresser dans l'estimation de l'âge en examinant le niveau de méthylation dans le matériel génétique. L'objectif de cette composante du projet était de poursuivre l'étude pilote commencée au cours de la phase 5 afin d'évaluer la viabilité de ces techniques pour l'espadon. À cette fin, l'ADN total a été extrait de 40 échantillons appartenant au stock de l'Atlantique et a été analysé par l'approche du séquençage au bisulfite à représentation réduite (RRBS). En particulier, ces échantillons ont été séquencés et dès que les résultats seront disponibles et après un contrôle de qualité, ils seront utilisés pour développer des BAM qui seront mis en correspondance avec le génome. À cette fin, des fichiers BEDGRAPH avec les valeurs de méthylation, des graphiques avec le profil de méthylation à travers les gènes/TSS/promoteurs ou des régions spécifiques d'intérêt seront réalisés. Enfin, les mCpG associés à la détermination de l'âge seront également identifiés à l'aide d'une analyse préliminaire menée sur le poisson zèbre et en se concentrant sur les mCpG déjà sélectionnés dans la phase 5 du projet.

Marquage

L'objectif de l'étude sur le marquage de l'espadon vise à analyser l'utilisation verticale de l'habitat et les schémas de déplacements de l'espadon et à contribuer à la délimitation des stocks et au taux de mélange d'espadon entre la mer Méditerranée et l'Atlantique Nord et Sud. En 2024, 20 marques ont été déployées lors de deux campagnes de marquage dans le cadre du SWOYP : 10 dans l'Atlantique Nord-Ouest et 10 autres dans l'Atlantique Nord-Est. Des zones prioritaires pour de nouveaux déploiements de marques ont été identifiées pour 2025 : l'Atlantique Sud, le golfe de Guinée et l'Atlantique Nord-Est dans une zone de mélange des stocks potentielle.

Évaluation de la stratégie de gestion (MSE) dans l'Atlantique Nord

Après plusieurs années de développement technique, la Commission a adopté une procédure de gestion (MP) en 2024 (*Recommandation de l'ICCAT sur des mesures de conservation et de gestion, incluant une procédure de gestion, pour l'espadon de l'Atlantique Nord - Rec. 24-10*).

Planification et activités pour 2025

Échantillonnage

Les chefs de projet du SWOYP ont identifié les lieux prioritaires et les classes de taille nécessitant un échantillonnage supplémentaire. Des CPC et instituts additionnels sont les bienvenus et sont encouragés à soutenir la collecte et l'analyse des échantillons.

Biologie de la reproduction

La composante de la biologie de la reproduction du SWOYP se poursuivra en 2025 avec le traitement et l'imagerie des gonades. Prévoyant une capacité accrue au sein du Groupe pour évaluer le stade de maturité, nous supposons que les ogives de maturité préliminaires développées lors des phases précédentes du projet seront actualisées pour les stocks de l'Atlantique Nord et de la Méditerranée en 2025. Des échantillons supplémentaires sont requis avant de pouvoir lancer ces travaux pour l'Atlantique Sud. Des travaux préliminaires débiteront en 2025 en vue d'estimer la fécondité par stock.

Détermination de l'âge et croissance

La composante de détermination de l'âge et croissance du SWOYP s'articulera autour de ces axes en 2025 : la poursuite des lectures des âges d'après les épines et les otolithes, la modélisation de la croissance et la validation des âges par le biais de l'analyse du carbone bombe radioactif. Une équipe centrale de lecteurs des âges a préparé un jeu de référence d'épines de nageoires et d'otolithes et a procédé à un exercice de calibrage initial. Ce groupe poursuivra ses lectures afin d'accroître le nombre d'échantillons inclus dans la modélisation de la croissance. L'analyse du carbone bombe radioactif, commencée en 2023, se poursuivra. Cette analyse permettra de valider les lectures des âges et soutiendra les travaux sur la détermination de l'âge épigénétique.

Génétique

En 2025, les travaux de génétique poursuivront l'analyse des populations d'après les échantillons tissulaires provenant de nouvelles zones (Afrique du Sud, Brésil, océan Atlantique Centre Nord, détroit de Gibraltar, côte d'Afrique du Nord) pour l'analyse de la différenciation des stocks. En 2023, l'équipe sur la génétique a mené une étude pilote sur la détermination de l'âge épigénétique pour la corrélérer avec les otolithes, les épines et l'étude sur le carbone bombe radioactif. Ces travaux devraient se poursuivre en 2025.

Marquage

Les travaux de marquage se poursuivront en 2025 dans les zones prioritaires (Atlantique Sud, zones de mélange de stocks dans le Nord-Est et dans le golfe de Guinée). Ces travaux se poursuivront à l'appui des études sur la distribution, les déplacements et l'utilisation de l'habitat de l'espadon. Ces données soutiendront également les travaux en cours sur le modèle de distribution de l'espadon.

Évaluation de la stratégie de gestion (MSE)

Après l'adoption d'une MP, en 2025, les travaux se poursuivront, principalement en ce qui concerne l'élaboration d'un protocole sur les circonstances exceptionnelles et la poursuite du développement des tests de robustesse. Le Groupe d'espèces continuera également une étude de simulation préliminaire visant à étudier la pertinence de la MSE pour le stock de l'Atlantique Sud.

Bibliographie

- Arocha F., Moreno, C., Beerkircher, L., Lee, D.W., Marcano, L. 2003. Update on growth estimates for swordfish, *Xiphias gladius*, in the Northwestern Atlantic. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 55(4), pp.1416-1429.
- Farley J.H., Williams A.J., Hoyle S.D., Davies C.R., Nicol S.J. 2013. Reproductive dynamics and potential annual fecundity of South Pacific albacore tuna (*Thunnus alalunga*). PloS ONE 8 (4), e60577. doi: 10.1371/journal.pone.0060577.
- Quelle P., González F., Ruiz M., Valeiras X., Gutierrez O., Rodriguez-Marin E., Mejuto J. 2014. An approach to age and growth of South Atlantic swordfish. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 70(4): 1927-1944.
- Saber S., Ortiz de Urbina J., Gillespie K., Poisson F., Coelho R., Rosa D., Puerto M.A., Macías D. 2020b. A preliminary analysis of the maturity of ICCAT swordfish stocks. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 77(3): 537-551.
- Schaefer K.M. 2001. Reproductive biology of tunas. In: Tuna: Physiology, Ecology and Evolution, eds. Block B.A., Stevens E.D. Academic Press, San Diego, California, pp. 225–270.