

Appendice 11

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 répondre aux principales incertitudes qui sont 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. Les objectifs de ce programme consistent 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. Conjointement, 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 la 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 thèmes de recherche suivants : une étude sur la détermination de l'âge et la croissance afin d'améliorer les connaissances sur les schémas de croissance entre les 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 l'évaluation de la stratégie de gestion 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 de l'Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA)) ; reproduction (Dr David Macias, de l'Instituto Español de Oceanografía (IEO)) ; et génétique (Dre Oliana Carnevali et Dre Giorgia Gioacchini de l'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. Trois ateliers sur la biologie ont été organisés dans le cadre du SWOYP : le premier, en 2019, visait à affiner et standardiser les méthodes d'échantillonnage et le traitement des échantillons, le second, en 2021, visait à examiner les résultats de l'étude, créer des jeux de référence en matière de détermination de l'âge et d'histologie et examiner les résultats d'un premier exercice de calibration et le troisième en 2023 visait à faire progresser les protocoles de détermination de l'âge, le calibrage et la validation de l'âge, et le développement d'un ensemble de référence. Les marques électroniques ont été utilisées pour soutenir les études sur les mouvements et l'utilisation de l'habitat dans les régions où les données sont limitées. La MSE pour l'Atlantique Nord, initiée en 2018, est menée par une équipe technique principale et un prestataire externe. Le Groupe de travail sur l'espadon devrait présenter un ensemble final de CMP à la Commission en 2023.

Collecte et couverture des échantillons

Dans toutes les phases de ce programme, 4.647 échantillons ont été collectés auprès des pêcheries palangrières, couvrant les trois stocks. La majorité des échantillons collectés consistent en une épine de la nageoire anale pour la détermination de l'âge et un morceau de tissu pour l'analyse génétique. Des données recueillies incluent également 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 ou un morceau de gonade pour l'analyse de la reproduction.

Les échantillons ont été collectés dans plusieurs des principales zones de pêche de l'Atlantique Nord et Sud et de la Méditerranée. Au cours des premières phases du projet dans l'Atlantique Nord, l'échantillonnage 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 sont particulièrement importants pour comprendre le mélange entre les stocks de l'Atlantique et de la Méditerranée. Dans les phases ultérieures 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 ont également été ajoutés à partir des eaux côtières du Venezuela. 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.

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 couvre deux zones d'échantillonnage d'istiophoridés (BIL96 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 Brésil et au large des côtes de l'Afrique du Sud et de la Namibie. La côte Sud du Brésil et de l'Uruguay, qui s'étend vers l'Est le long du parallèle 30°S, est une zone importante pour la capture de l'espadon, mais jusqu'à présent, cette région n'a contribué que de manière limitée à l'échantillonnage dans le cadre ce programme.

L'échantillonnage en Méditerranée a eu lieu dans trois régions : la mer des Baléares, en Méditerranée occidentale, la mer Tyrrhénienne et la mer Adriatique, en Méditerranée centrale, et les îles grecques. La couverture de l'échantillonnage de ces mers semble quelque peu représentative des schémas spatio-temporels de la capture. Des échantillons supplémentaires sont nécessaires dans la région très occidentale de la Méditerranée, dans la mer d'Alboran et à l'approche 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 également nécessaire en Méditerranée orientale, dans les mers Ionienne et Égée.

Biologie de la reproduction de l'espadon dans l'Atlantique et la 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 aux sexes, 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, les gonades n'étaient pas disponibles pour l'évaluation pour 13,5% des échantillons restants 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 empêche d'évaluer à quel point ces données sont représentatives de la région. 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 abondantes.

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 certains 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.*, 2020b). Au total, 2.434 échantillons contenant des 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 collectés, 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. Une analyse préliminaire des échantillons collectés à ce jour, et des recommandations sur les prochaines étapes de collecte de données et d'échantillons, sont disponibles dans Saber *et al.* (2020b). Les descriptions des fréquences de longueurs par mois/saison et par stock d'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 de reproduction à l'IEO-Málaga (Espagne). L'état de la maturité microscopique des gonades a été basée 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 noter qu'un nombre important des 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 augmenter la capacité du Groupe à analyser les échantillons de gonades. En outre, 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, 3.535 échantillons d'épines (1.396 mâles, 1.774 femelles, 365 spécimens de sexe indéterminé) ont été collectés pour cette étude dans l'Atlantique Nord, l'Atlantique Sud et la Méditerranée. Au total, 1.352 échantillons d'otolithes (583 mâles, 731 femelles, 38 spécimens de sexe indéterminé) ont été collectés pour cette étude dans l'Atlantique Nord, l'Atlantique Sud et la Méditerranée.

Parmi les échantillons d'épines et d'otolithes collectés, 1.093 épines, 288 otolithes pour les lectures annuelles de l'âge et 56 otolithes pour les lectures quotidiennes de l'Atlantique Nord ont été traités. En ce qui concerne l'Atlantique Sud, 979 épines, 500 otolithes pour les lectures annuelles et 11 otolithes pour les lectures quotidiennes de la Méditerranée ont été traités. En ce qui concerne la Méditerranée, 173 épines, 44 otolithes pour les lectures annuelles et 6 otolithes pour les lectures quotidiennes de la Méditerranée 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 Quelle *et al.* (2014). La deuxième épine de la nageoire anale est incrustée individuellement dans 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'épine 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 Leica M80 avec la lumière transmise et un grossissement de 5x. 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 de 400 et 800 grains à l'état humide et sec. 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 laissé 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 μ m. Au cours de ce processus, l'épaisseur appropriée de la préparation de l'otolithe a été vérifiée en permanence (220 μ m - 250 μ m pour les lectures annuelles ou 50 μ -80 μ m 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 40x à l'aide d'un microscope à dissection Leica M80 éclairé en lumière transmise.

En 2022, une analyse préliminaire des lectures 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 (EPBR) et les thonidés mineurs (SMTYP) 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 nouveau 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 radioactif (14C) - a été perfectionnée au cours des 30 dernières années. Les améliorations technologiques, associées à la compréhension de la propagation du signal de 14C dans les écosystèmes aquatiques, sont maintenant disponibles pour résoudre les problèmes d'estimation de l'âge de certains poissons difficiles à estimer, et en particulier des poissons pélagiques récemment collectés et à croissance rapide.

Des otolithes d'espadon dont l'âge a été déterminé ont été sélectionnés parmi les spécimens archivés dans le cadre du SWOYP (IPMA) et par la *National Oceanic and Atmospheric Administration - Southeast Fisheries Science Center* (NOAA-SEFSC), couvrant les collections réalisées dans les années 1980 et 1990 jusqu'aux années 2010 et 2020. Sur plus de 1.000 otolithes archivés dans le cadre du SWOYP (IPMA), une série de tailles et d'âges d'espadon ont été sélectionnés pour une analyse de la masse de l'otolithe en tant qu'approximation possible de l'âge qui pourrait élucider les âges maximums. Cela a permis d'obtenir 30 spécimens d'espadon qui avaient les deux otolithes sagittaux (un spécimen dont l'âge a été déterminé ou à déterminer et un spécimen intact à soumettre à l'analyse du carbone radioactif). Ces spécimens mesuraient entre 88 et 258 cm de longueur maxillaire inférieur-fourche (LJFL) avec des masses d'otolithes de 0,234 - 4,267 mg. Les sélections se sont concentrées sur les années de collecte 2018-2019 afin de couvrir le plus grand nombre de tailles disponibles et d'utiliser au mieux le déclin du carbone radioactif après le pic. Les poissons jeunes à vieux provenant d'une courte période de collecte (1-2 ans) traceraient progressivement des niveaux de carbone 14 plus élevés à mesure que les années de frai calculées (dérivées de la lecture de l'âge des otolithes) régressent dans le temps, vers le pic du carbone 14. Par conséquent, le taux de variation du 14C enregistré dans le noyau de l'otolithe des poissons dont l'âge a été déterminé correspondrait au taux de variation du 14C dans l'environnement. Ces travaux devraient se poursuivre au cours des prochaines phases du projet.

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

Les objectifs de l'étude génétique sont les suivants : a) séquencer le génome de l'espadon et identifier les marqueurs génétiques permettant de différencier les trois stocks, b) évaluer les délimitations des stocks et c) identifier les zones de mélange des stocks.

L'assemblage du génome de l'espadon a été réalisé à l'aide d'une stratégie de séquençage combinant les technologies d'Oxford Nanopore ((MinION) et Illumina (NovaSeq 6000) suivant une analyse standard dans un flux de travail bioinformatique bien établi.

La comparaison du génome de l'espadon avec celui de 19 autres espèces de poissons a permis d'identifier le pourcentage de gènes spécifiques à l'espadon et le pourcentage de gènes partagés. Une analyse d'enrichissement de l'ontologie génétique (GOEA) a été réalisée sur plusieurs groupes orthologues spécifiques à l'espadon afin de mettre en évidence leur implication dans différents processus biologiques, les fonctions moléculaires et les composants cellulaires. Enfin, le nouveau génome assemblé a été utilisé comme génome de référence pour guider l'analyse de séquençage de l'ADN associé au site de restriction à double digestion (ddRAD). Par conséquent, la justification de cette stratégie était fondée sur : 1) les meilleures performances (c'est-à-dire la précision) du génotypage lorsqu'il est guidé par un génome de référence, et 2) l'échelle de résolution plus fine et l'ensemble élargi de questions biologiques qui peuvent être abordées lorsqu'un génome de référence est disponible.

La technologie de séquençage de l'ADN associé au site de restriction à double digestion (ddRAD) a été appliquée pour obtenir plus de 40.000 SNP pour l'analyse des différences génétiques entre 672 échantillons collectés dans les stocks de l'Atlantique Nord, de l'Atlantique Sud et de la Méditerranée. Un total de 322 échantillons de l'Atlantique Nord ont été analysés, dont 54 échantillons de BIL92, 12 échantillons de BIL93, 44 échantillons de BIL94A, 182 échantillons de BIL94B et 30 échantillons de BIL94C. Un total de 105 échantillons de l'Atlantique Sud a été analysé, dont 11 provenaient de BIL96 et 94 de BIL97. Enfin, 243 échantillons de la Méditerranée ont été analysés, dont plus de 100 provenaient des îles Baléares. Les échantillons ont été sélectionnés de manière homogène non seulement sur la base de la zone de capture mais aussi sur la base du sexe, de la maturité des gonades, de la longueur/poids et de la période de la capture.

Pour analyser la différenciation génétique entre les échantillons, plusieurs analyses statistiques ont été appliquées, notamment l'analyse en composantes principales (PCA), l'analyse discriminante de la composante principale (DAPC), les distances génétiques par paires (matrice de carte thermique) et le cladogramme NEIGHBOR-JOINING. Des valeurs ont été calculées pour l'indice de fixation (FST), l'hétérozygotie (observée et attendue), l'hétérozygotie observée liée à des gènes codificateurs uniques, le coefficient de consanguinité (FIS) et la richesse allélique (moyenne et totale). La structure génétique a été évaluée en quantifiant les clusters de fréquences alléliques et leur distribution parmi les échantillons. Deux populations ont été clairement identifiées et des preuves considérables de la présence de sous-populations au sein de ces deux populations ont émergé des 288 échantillons analysés. En 2022, 672 échantillons supplémentaires ont été analysés.

En 2022 également, une analyse de séquençage du génome entier (WGS) a été réalisée sur 30 échantillons de chaque stock afin d'identifier un ensemble de SNP pouvant être utilisé pour attribuer un échantillon inconnu à l'un des stocks et d'identifier des régions spécifiques au sexe pour attribuer le sexe à un échantillon inconnu.

Le couplage des analyses de SNP et WGS et d'un assemblage du génome a montré ce qui suit : 1) le stock de la Méditerranée est fortement différencié, du point de vue génétique, des deux stocks de l'Atlantique ; 2) les stocks de l'Atlantique Nord et de l'Atlantique Sud sont légèrement différenciés et leur différenciation n'est détectable qu'avec quelques tests statistiques ; 3) le couplage de l'analyse des SNP de l'ensemble du génome et d'un assemblage du génome de la richesse allélique est l'indice de diversité génétique optimal pour suivre ces stocks ; 4) le stock de la Méditerranée perd la richesse allélique de gènes importants associés à la détoxification, à la réponse immunitaire, à l'absorption de vitamines et à la signalisation du métabolisme et de la sérotonine ; 5) une zone de mélange des trois stocks a été constatée dans l'Atlantique Nord-Est et la présence de ces spécimens doit être prise en compte lors du suivi de la variabilité génétique dans cette zone et 6) aucun spécimen appartenant au stock de l'Atlantique Nord n'a été observé en mer Méditerranée.

Sur la base des travaux qui ont permis d'identifier des marqueurs génétiques pour la différenciation des stocks, 200 échantillons ont été analysés en 2023. Les travaux génétiques antérieurs du SWOYP ont identifié une zone dans l'Atlantique Nord-Est comme une zone de mélange des stocks potentiellement importante. Les échantillons provenaient de 150 espadons capturés dans la zone de l'Atlantique Nord-Est dans laquelle les trois stocks (NA, SA et MD) ont été échantillonnés, en plus de 50 échantillons provenant de la zone MD. Ces nouveaux échantillons seront analysés et comparés aux échantillons séquencés lors des phases précédentes du projet, en utilisant une analyse génétique supplémentaire pour établir des « statistiques F3 ». Cette analyse statistique représente un moyen alternatif de mesurer les corrélations de fréquence des allèles et la relation entre les trois stocks (NA, SA et MD) afin de mieux évaluer l'existence d'un mélange. L'intégration de l'analyse déjà réalisée à l'aide de la technique génétique « Structure » apportera un soutien statistique supplémentaire à l'analyse.

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 mener une étude pilote pour évaluer la viabilité de ces techniques chez l'espadon. Pour développer une étude pilote sur la détermination de l'âge épigénétique, nous identifions 1.311 sites CpG qui se sont avérés avoir des niveaux de méthylation appropriés. Ces sites ont été identifiés comme ayant une corrélation significative avec l'âge du poisson dans d'autres taxons de poissons (par exemple le poisson zèbre), et sont donc prometteurs pour l'analyse de l'âge de l'espadon que le SWOYP aimerait développer. La disponibilité de l'expertise en séquençage du génome entier au sein du SWOYP permettra à ce programme d'identifier les sites CpG conservés liés à la détermination de l'âge des stocks d'espadon.

Cette première étape a fourni au SWOYP un ensemble de données sur les sites CpG liés à l'âge qui sera utilisé pour définir les horloges épigénétiques de l'espadon par séquençage au bisulfite de représentation réduite (RRBS). Lors de la prochaine phase du projet SWOYP, dix espadons d'âges différents, préalablement déterminés par l'analyse des otolithes et confirmés par l'analyse du radiocarbone, seront analysés par RRBS.

Marquage

Les objectifs de l'étude sur le marquage d'espadon visent 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. Cinquante marques financées par l'ICCAT ont été acquises depuis 2018 lors de la mise en œuvre du programme de marquage. Un total de 35 marques miniPAT (12 marques fournies par la NOAA) a été déployé jusqu'à présent dans l'Atlantique Nord (n=19) et Sud (n=12) et en mer Méditerranée (n=4). En outre, 5 marques X-Tag ont été déployées dans l'Atlantique Nord. Les données provenant de 10 marques, avec des déploiements de 67 à 240 jours, indiquent que les espadons se sont déplacés dans plusieurs directions, parcourant de grandes distances tant dans l'océan Atlantique Nord que dans l'océan Atlantique Sud, alors que les déplacements étaient plus réduits en mer Méditerranée. En ce qui concerne l'utilisation verticale de l'habitat, les espadons ont passé la plupart du temps dans des eaux plus profondes/froides le jour et étaient plus proches de la surface la nuit, essentiellement entre la surface et 50 mètres de profondeur. Les efforts visant à inclure dans l'analyse les marques historiques déployées par la NOAA et la DFO ont commencé en 2023. Des informations actualisées sur ces travaux sont régulièrement soumises au Groupe d'espèces sur l'espadon du SCRS et la dernière actualisation a été présentée dans Rosa *et al.* (2022). Une sortie dédiée au marquage a été effectuée dans l'Atlantique Nord-Ouest en 2023. Malheureusement, cette sortie n'a pas été couronnée de succès. Environ 20 marques électroniques sont disponibles pour un déploiement en 2024.

Évaluation de la stratégie de gestion dans l'Atlantique Nord

La Commission devrait adopter une procédure de gestion en 2023.

Faisant suite à des révisions mineures des valeurs de la grille des OM en 2023, l'équipe technique a consulté la Sous-commission 4 de l'ICCAT en ce qui concerne les principaux éléments du cadre de MSE. La sélection d'une procédure de gestion nécessite une évaluation des procédures de gestion potentielles (CMP) par rapport à des objectifs de gestion prédéterminés. L'équipe technique a travaillé avec la Sous-commission 4 en vue de mieux définir les mesures de performance, les valeurs des probabilités acceptables pour ces objectifs de gestion et les périodes sur lesquelles ces probabilités devraient être calculées. Une diversité de CMP basées sur un modèle et de CMP empiriques ont été développées, calibrées puis évaluées en ce qui

concerne leur performance. Des outils interactifs ont été élaborés pour montrer les compromis entre les CMP. Un ensemble de consultations avec la Sous-commission 4, ainsi que les sessions de communications des ambassadeurs ont jeté les bases pour que les gestionnaires et les parties prenantes comprennent les incertitudes de la MSE et fournissent ensuite une orientation à l'équipe technique sur la MSE sur les priorités de gestion ainsi que sur les priorités pour les tests de robustesse.

En se fondant sur l'orientation de la Sous-commission 4, au mois de septembre 2023, l'équipe technique se consacrant au N-SWO a élaboré une liste restreinte de CMP pour examen de la Sous-commission à des fins d'adoption. Cette liste comprend une variété de règles de contrôle de l'exploitation, chacune couvrant l'espace de compromis des performances. Un protocole relatif aux circonstances exceptionnelles doit être développé en collaboration avec la Sous-commission 4.

Ce nouveau cadre de MSE est un virage majeur dans la façon dont le SCRS et la Commission interagissent pour la formulation de l'avis de gestion. Il faut s'attendre à ce que l'examen de ce processus et le postulat utilisé pour modéliser la dynamique du stock soient régulièrement revus. En 2023, la Sous-commission 4 et l'équipe technique ont élaboré un calendrier qui définit à quel moment les évaluations du stock et les autres contrôles seront utilisés pour évaluer la performance de la MSE. Ce processus en collaboration entre les scientifiques et les gestionnaires de l'ICCAT nécessitera un dialogue continu entre le SCRS et la Commission ces prochaines années.

Dépenses en 2022 et 2023

Les budgets totaux dans le cadre du SWOYP en 2018, 2019, 2020 et 2021 s'élevaient à 199.000 euros, 373.700 euros, 280.614 euros et 343.480 euros, respectivement. Les dépenses réelles pour cette période étaient de 149.895 euros, 312.434 euros, 194.734 euros et 292.134,47 euros, respectivement.

En 2022 et 2023, afin de mettre en œuvre les principales activités prévues dans le cadre du SWOYP, le budget total débloqué par l'ICCAT s'élevait à 170.000 euros et 250.000 euros, respectivement.

Le tableau ci-dessous présente les fonds détaillés disponibles pour le SWOYP en 2022 et 2023 et les dépenses respectives en date du 11 septembre 2023.

Année	2022		2023	
	Budget (€)	Dépense (€)	Budget (€)	Dépense (€)
Composante				
Marquage	10.000	2.640,25	20.000	-
Études biologiques	15.000	6.000	5.000	-
Génétique	70.000	28.000	80.000	-
Âge et croissance	45.000	18.000	25.000	-
Collecte et expédition d'échantillons	10.000	4.462,43	5.000	-
MSE			100.000	45.000
Ateliers	20.000	22.642,89	15.000	
TOTAL	170.000	81.745,57	250.000	45.000

Planification et activités pour 2024

Échantillonnage

L'objectif du SWOYP a largement évolué vers l'analyse des échantillons déjà recueillis par le programme mais l'échantillonnage se poursuivra en 2024, en ciblant des insuffisances spatiales de l'échantillonnage, comme le golfe du Mexique, la mer des Caraïbes, le détroit de Gibraltar, la Méditerranée extrême-orientale, le milieu de l'Atlantique Nord, le sud du Brésil et la zone s'étendant à l'est le long du parallèle 30°S. Des efforts supplémentaires seront investis dans la collecte des gonades et des otolithes étant donné que ces matériaux sont plus difficiles à obtenir. En outre, des paires d'otolithes-épines de plus grands poissons seront collectés à l'appui de la modélisation de la courbe de croissance. 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 biologie de la reproduction du SWOYP se poursuivra en 2024 avec le traitement et l'imagerie des gonades. En 2024, un atelier sur la reproduction, la détermination de l'âge, la croissance et la génétique portera sur la création d'un jeu de référence d'images histologiques et les scientifiques des CPC participant à l'étude s'attacheront à standardiser leurs méthodes pour déterminer le stade de maturité. 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 2024. Des échantillons supplémentaires sont requis avant de pouvoir lancer ces travaux pour l'Atlantique Sud. Des travaux préliminaires débiteront en 2024 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 inclura en 2024 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 par radiocarbone. 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 de radiocarbone, commencée en 2023, se poursuivra. Cette analyse permettra de valider les lectures des âges et viendra étayer le travail de détermination de l'âge épigénétique.

Génétique

En 2024, 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 l'étude sur les otolithes, les épines et le radiocarbone. Ces travaux devraient se poursuivre en 2024.

Marquage

Les travaux sur le marquage se poursuivront en 2024 avec le déploiement de marques déjà disponibles. Ces travaux se poursuivront à l'appui des études sur la répartition, les déplacements et l'utilisation de l'habitat de l'espadon. Ces données soutiendront également les travaux en cours sur le modèle de répartition de l'espadon.

Évaluation de la stratégie de gestion

Il est prévu que le Groupe d'espèces sur l'espadon soumette un jeu final de CMP à la Commission d'ici la fin 2023 à des fins d'utilisation dans l'avis de gestion pour 2024. En 2024, les travaux se poursuivront, essentiellement liés au développement du protocole de circonstances exceptionnelles et à la poursuite du développement des tests de robustesse. Le Groupe d'espèces poursuivra également une étude de simulation préliminaire visant à étudier la pertinence de la MSE pour le stock de l'Atlantique Sud.