

**EVALUATION DE LA STRUCTURE DU STOCK  
D'ESPADON (*Xiphias gladius*) DANS L'OCEAN INDIEN  
A L'AIDE D'UNE APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE**

C. Jean, J. Bourjea, D. Miossec, M. Taquet<sup>1</sup>

SUMMARY

*The Indian Ocean swordfish (*Xiphias gladius*) fisheries have undergone considerable development in the last 15 years. However, since 1988, the total longline catches have decreased in spite of an increase in effort during this period. The lack of knowledge on the stock structure and the migratory behavior of swordfish hamper the implementation of sustainable management of this shared resource. In this context, a preliminary study has been carried out on 90 swordfish samples collected in 4 areas of the southwestern Indian Ocean. From the analysis of the mitochondrial DNA control region and six micro-satellite loci, a strong heterogeneity was noted within the stock, which suggests the existence of a unique stock in this region of the Indian Ocean. Notwithstanding, the geographic scale and the size of the sample are probably insufficient to permit the observation of significant differences among the four areas studied. Following the results obtained, a new study is contemplated in the entire Indian Ocean. This study will include a higher number of samples and sites. It will be based on four complementary approaches: genetics, microchemistry of otoliths, reproduction and mercury concentrations in the fish caught.*

RESUME

*Les pêcheries d'espadon (*Xiphias gladius*) de l'océan Indien ont connu un fort développement au cours des 15 dernières années. Cependant, depuis 1998, les captures totales des palangriers ont diminué malgré une augmentation de l'effort durant cette période. Le manque de connaissances sur la structure de stock et le comportement migratoire de l'espadon constitue un frein à la mise en oeuvre d'une gestion durable de cette ressource partagée. Dans ce cadre, une étude préliminaire a été réalisée sur 90 échantillons d'espadon collectés dans 4 zones du sud-ouest de l'océan Indien. L'analyse de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial et de 6 loci microsatellites a permis de mettre en évidence une forte hétérogénéité intra-population suggérant l'existence d'un stock unique dans cette région de l'océan Indien. Cependant, l'échelle géographique et la taille de l'échantillonnage sont probablement insuffisantes pour permettre d'observer des différences significatives entre les 4 zones étudiées. Suite aux résultats obtenus, nous envisageons de conduire une nouvelle étude sur l'ensemble de l'océan Indien. Cette étude inclura un nombre plus important d'échantillons et de sites. Elle sera basée sur 4 approches complémentaires : la génétique, la microchimie des otolithes, la reproduction, et les concentrations de mercure dans les individus capturés.*

RESUMEN

*Las pesquerías de pez espada (*Xiphias gladius*) del océano Índico han experimentado un gran desarrollo en los últimos 15 años. Sin embargo, desde 1998, las capturas totales de los palangreros han disminuido a pesar de haberse producido un aumento del esfuerzo durante este periodo. La falta de conocimientos sobre la estructura del stock y el comportamiento migratorio del pez espada constituye un freno a la implementación de una ordenación duradera de este recurso compartido. En este contexto, se ha realizado un estudio preliminar sobre 90 muestras de pez espada recopiladas en 4 zonas del sudoeste del océano Índico. El análisis de la región de control del ADN mitocondrial y de 6 loci microsatélites ha permitido resaltar una fuerte heterogeneidad dentro de la población, lo que sugiere la existencia de un stock único en esta región del océano Índico. Sin embargo, la escala geográfica y el tamaño de la muestra son probablemente insuficientes para permitir la observación de diferencias significativas entre las 4 zonas estudiadas. Tras los resultados obtenidos, se contempla llevar a cabo un nuevo estudio en todo el océano Índico. Este estudio incluirá un número más importante de muestras y de*

---

<sup>1</sup> Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER (IFREMER), La Réunion, France. E-mail : Claire.Jean@ifremer.fr

*sitios. Se basará en 4 enfoques complementarios: la genética, la microquímica de otolitos, la reproducción y las concentraciones de mercurio en los individuos capturados.*

#### KEYWORDS

*Swordfish, population structure, genetics, otoliths, animal reproductive organs, mercury*

## 1. Exploitation de l'espadon (*Xiphias gladius*) dans l'océan Indien et à La Réunion

### 1.1 Situation de la pêche d'espadon dans l'océan Indien

L'espadon est une espèce cible ou accessoire des pêcheries palangrières de l'océan Indien. Cette ressource est suivie dans cet océan par la Commission des Thons de l'Océan Indien (CTOI). Les premières captures enregistrées dans cette région remontent au début des années 50 chez les palangriers japonais ciblant le thon et pêchant accessoirement l'espadon. Durant les 30 années qui ont suivi, les captures d'espadon ont augmenté lentement avec l'accroissement de l'effort de pêche des pays côtiers et non riverains ciblant le thon dans cette région. Dans les années 90, un certain nombre d'états côtiers ou insulaires, notamment l'Australie, la France (La Réunion), les Seychelles et l'Afrique du sud, ont développé des pêcheries palangrières ciblant l'espadon (**Figure 1**) qui ont très rapidement connu un important essor. Depuis les années 90, les pêcheries taiwanaises sont au premier rang des flottilles pêchant l'espadon dans l'océan Indien (40% des captures totales en 2004 ; **Figure 2**), et travaillent principalement dans les zones sud-ouest et ouest-équatoriale de cet océan (**Figure 1**).

Après avoir culminé à 35 000 tonnes (t) en 1998 (**Figure 2**), les captures d'espadon ont commencé à chuter malgré un accroissement constant de l'effort effectif. Ce constat suggère que le déclin des captures totales est le résultat d'une diminution de la biomasse d'espadon affectant particulièrement la zone ouest de l'océan Indien. En 2004, les captures totales d'espadon s'élevaient à plus de 31 000 t. Le dernier comité scientifique de la CTOI a mis en avant le fait que ce niveau de captures n'était pas durable pour le stock d'espadon de l'océan Indien, mais que l'évaluation de ce stock était dans une phase préliminaire et que des conclusions fiables sur son état réel ne pouvaient être émises qu'avec un accroissement aussi bien du nombre que de la qualité des données relatives à l'exploitation et aux caractéristiques biologiques de cette espèce.

### 1.2 Situation de la pêche palangrière à La Réunion

Après une rapide augmentation au début des années 90, les prises d'espadon n'ont cessé de diminuer entre 1998 et 2003 (**Figure 3**). Avec 33 navires palangriers d'une longueur moyenne de 13,9 mètres exerçant leur métier dans la zone sud-ouest de l'océan Indien, les captures d'espadon des pêcheries palangrières réunionnaises ne représentaient que 3 % des captures totales de l'espèce dans l'océan Indien en 2004 (**Figure 2**). A cette date, le total des captures d'espadon atteignait plus de 900 t et représentait 44 % des prises des palangriers réunionnais.

Comme pour la plupart des pêcheries palangrières de l'océan Indien, on observe depuis 1998 une diminution des captures d'espadon. Ce constat indique également que le niveau de pleine exploitation a été atteint dans la zone fréquentée par les pêcheurs réunionnais (FAO 51 : sous-zones 6 et 7). Compte tenu de l'importance économique de cette pêche pour La Réunion, il apparaît indispensable d'appliquer rapidement des mesures de gestion pérenne à cette ressource, afin de maintenir l'activité sur du long terme. La mise en place de telles mesures de gestion nécessite un accroissement des connaissances sur les caractéristiques biologiques de l'espadon, notamment une meilleure vision de la structure et de la dynamique du stock de cette espèce dans l'océan Indien.

## 2. Etude préliminaire sur la structure génétique de l'espadon dans le sud-ouest de l'océan Indien

Le développement de marqueurs moléculaires a permis d'accroître les connaissances sur les structures de populations et les échanges entre régions. Les études récentes de différents auteurs sur l'ADN mitochondrial (ADNmt) (Kotoulas *et al.* 1995, Alvarado-Bremer *et al.* 1996, Rosel et Block 1996, Chow *et al.* 1997, Reeb *et al.* 2000, Alvarado-Bremer *et al.* 2005) et l'ADN nucléaire (Chow et Takeyama 2000, Kotoulas *et al.* 2003, Reeb *et al.* 2003) ont révélé l'existence de 4 stocks majeurs d'espadon dans le monde : Méditerranée, Atlantique nord, Atlantique sud, et Indo-Pacifique. Une structure particulière, correspondant aux routes migratoires de l'espèce, a pu être observée dans le Pacifique par Reeb *et al.* (2000).

Jusqu'à présent, aucune étude génétique n'a pu révéler de différence significative entre des populations du Pacifique et de l'océan Indien. Cependant, peu d'études ont été conduites dans ce dernier océan, et elles ne permettent pas à ce jour de valider ou de rejeter l'hypothèse d'un stock unique dans cette région du globe. Avant de démarrer un projet ambitieux sur le sujet, nous avons mené une étude préliminaire sur une région restreinte de l'océan Indien (sud-ouest) basée sur l'analyse de l'ADNmt et de plusieurs loci microsatellites.

## 2.1 Présentation de l'étude préliminaire

Un total de 90 échantillons a été prélevé entre février et mars 2005 sur des espadons pêchés au niveau de quatre zones du sud-ouest de l'océan Indien : les Seychelles (N=20), la Réunion (N=20), le sud (N=30) et le sud-ouest (N=20) de Madagascar (Figure 4). Les tissus musculaires ont été conservés dans de l'éthanol 90% ou du DMSO 20% (Dimethyl Sulfoxyde). L'ADN total a été extrait à partir d'une solution de Chelex 10% ou de kit d'extraction pour tissu animal (Qiagen). La technique de PCR-RFLP (Polymerase Chain Reaction - Restriction Fragment Length Polymorphism) employée par Chow et al. (1997) a été utilisée pour analyser la région de contrôle (*D-Loop*) de l'ADNmt, mais seules 2 endonucléases – *RsaI*, *AluI* – ont été utilisées pour cette étude. Parallèlement, six loci microsatellites définis par Reeb et al. (2003) – *Xg-55*, *Xg-56*, *Xg-66*, *Xg-75*, *Xg-144*, *Xg-166* – ont été amplifiés puis séparés sur génotypeur.

Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le logiciel Arlequin, v.2.0. (Schneider *et al.* 2000). Les probabilités d'équilibre de Hardy-Weinberg ont été testées sur les microsatellites. Pour les deux types de marqueurs génomiques, la différenciation par paires de populations a été calculée à partir de l'index de fixation (*F<sub>st</sub>*) de Wright (Wright 1951). La structure génétique des populations a été étudiée en utilisant une AMOVA (Approche de l'Analyse Moléculaire de Variance) décrite dans Excoffier et al. (1992) et en testant différents groupes de populations.

## 2.2 Résultats obtenus et conclusions

### 2.2.1 ADNmt

L'amplification de 86 échantillons a été réalisée. Les digestions par *AluI* et *RsaI* ont conduit respectivement à l'obtention de 4 et 7 haplotypes. Leur combinaison a permis d'obtenir 16 profils différents, dont 5 sont apparus majoritaires pour l'ensemble des individus (**Figure 4**). La diversité génétique intra-population est très élevée ( $>0.79$ ) dans les quatre sites. Par ailleurs, la répartition des fréquences haplotypiques dans les zones d'échantillonnage s'est révélée complexe, avec des haplotypes absents dans certains sites et d'autres fortement représentés. Malgré ces divergences observées, l'AMOVA n'a révélé aucune différence significative entre les quatre populations, et a montré que l'essentiel de la variabilité haplotypique était dû à la diversité intra-population. La comparaison par paires de populations a conduit à des valeurs de *F<sub>st</sub>* très faibles (0.0017 à 0.02) avec des probabilités non significatives ( $P>0.197$ ; Table1), indiquant qu'il n'existe pas de différence significative entre les populations étudiées. Dans notre cas et à partir du marqueur ADNmt, l'hypothèse d'un stock unique dans cette zone apparaît la plus adaptée.

### 2.2.2 Microsatellites

L'amplification des 6 microsatellites a pu être effectuée sur 71 échantillons. Un nombre important d'allèles par locus a été obtenu. Ce nombre est très variable d'un microsatellite à l'autre, et relativement important pour *Xg-55* et *Xg-75*. Cependant, le nombre de génotypes est souvent égal ou très proche du nombre d'individus analysés. Le test d'équilibre de Hardy-Weinberg a pu être vérifié sur 4 loci ( $P>0.05$ ) sauf pour *Xg-55* et *Xg-75* ( $P<0.01$ ). Ces premiers résultats permettent de mettre en évidence que l'échantillonnage utilisé pour cette technique est trop faible pour tirer des conclusions fiables. Par contre, à l'exception de *Xg-66*, la gamme de taille des microsatellites varie d'une population à l'autre, indiquant que ces microsatellites sont adaptés pour discriminer des populations d'espadon dans cette zone. Comme pour l'ADNmt, une comparaison par paires de populations a été réalisée et n'a révélé aucune différence significative ( $F_{st}=[-0.002 ; 0.0008]$ ,  $P>0.14$ ; **Table 1**) entre ces populations.

## 3. Projet multidisciplinaire

Aujourd'hui menacée dans certaines régions de l'océan Indien, il est plus que nécessaire d'accroître les connaissances sur cette ressource partagée dans la perspective de la mise en place d'un plan de gestion régional.

C'est dans ce cadre que l'IFREMER de La Réunion prépare actuellement un projet international d'étude de la structure et des caractéristiques du stock d'espadon dans l'océan Indien. Ce projet scientifique pluriannuel (3 ans) regroupera plusieurs partenaires des pays riverains ou pêcheurs de cet océan. Motivé par les premiers résultats sur la caractérisation génétique du stock d'espadon dans le sud ouest de l'océan Indien, ce programme scientifique comportera 4 volets d'études complémentaires.

### **3.1 L'analyse génétique de pièces musculaires**

L'étude de faisabilité réalisée par l'IFREMER de La Réunion au cours de l'année 2005 a permis de mettre en évidence au niveau du sud-ouest de l'océan Indien l'absence de structuration géographique des populations dans cette zone. Cependant, la faible taille de l'échantillonnage associée à la forte variabilité génétique observée au sein de chaque population limitent considérablement les analyses statistiques ainsi que l'interprétation des résultats obtenus. Ces résultats encouragent par contre fortement à poursuivre l'étude i) en augmentant la taille de l'échantillonnage, ii) en étendant la zone de l'étude à l'ensemble de l'océan Indien, iii) en intégrant des données biologiques et saisonnières. Cette nouvelle étude devrait fortement contribuer à valider ou réfuter l'hypothèse d'un stock unique dans l'océan Indien.

### **3.2 L'analyse microchimique de pièces osseuses**

Afin de compléter et conforter les résultats obtenus par la génétique et afin de mieux comprendre la structure et la dynamique spatiale du ou des stocks d'espadon dans l'océan Indien, une analyse microchimique des otolithes peut être effectuée en complément de la génétique. Les otolithes sont des marqueurs biologiques retraçant la qualité des milieux fréquentés par les poissons au cours de leur vie et ont ainsi été qualifiés dans la littérature comme enregistreurs permanents de l'exposition à l'environnement (Campana *et al.* 1997). L'application principale de l'étude de la microchimie des otolithes concerne la discrimination des stocks (Campana 1999, Tresher 1999, Campana *et al.* 2000). Elle a ainsi déjà été utilisée dans des études d'identification et de discrimination de stocks pour des espèces ayant occupé divers types d'habitats (Edmonds *et al.* 1989, Northcote *et al.* 1992, Thresher *et al.* 1994, Campana et Gagné 1995, Campana 1999, De Pontual *et al.* 2000, Eldson and Gillanders 2003, Bergenius *et al.* 2004, Patterson *et al.* 2004). Dans le cas de l'espadon, cette étude pourra permettre (i) d'analyser les variabilités de composition chimique des otolithes appartenant à des lots différents, et (ii) d'apporter des éléments complémentaires aux résultats de la génétique pour comprendre la structure globale et la dynamique du stock dans l'océan Indien.

### **3.3 L'analyse du taux de contamination par le mercure**

La contamination des poissons par les métaux lourds et en particulier par le mercure est un phénomène croissant rencontré dans toutes les pêcheries du monde (De Sylva *et al.* 2000, Konstantogianni *et al.* 2003, Campbell *et al.* 2005, Morrissey *et al.* 2005). Cette contamination est de type accumulative, les prédateurs situés au sommet de la chaîne alimentaire étant les plus contaminés. Les grands pélagiques et l'espadon en particulier sont concernés par ce phénomène qui peut avoir des conséquences sur leur commercialisation et donc des répercussions sur les activités de pêche. Compte tenu de l'importance de la pêche aux grands pélagiques dans l'océan Indien et des contraintes déjà rencontrées par certains pays ACP (Afrique, Caraïbes et Pacifique) pour commercialiser ces espèces, il nous paraît très important d'obtenir une description à la fois la plus globale et la plus détaillée possible pour appréhender la situation actuelle et pour mieux comprendre les relations entre les taux de contamination et les paramètres biologiques et géographiques. A ce jour de nombreux pays ont établi des normes sanitaires relatives à ces espèces et à ces contaminants (Canada, USA, EU, etc...), et des discriminations ont été pratiquées en fonction des espèces. L'absence de données structurées couvrant une zone géographique importante à l'échelle de l'océan Indien, ne permet pas, à ce jour, d'envisager une discussion constructive et étayée pour réviser le statut sanitaire de l'espadon. L'intégration de ce volet au sein du projet permettra également d'apporter des éléments sur la structure du stock d'espadon. En effet, les métaux lourds, comme le mercure, représentent des indicateurs de la qualité du milieu et peuvent permettre, au même titre que la génétique ou la microchimie des otolithes, de contribuer à l'étude de la structuration du stock d'espadon dans l'océan Indien.

### **3.4 L'analyse biologique d'organes de reproduction**

La connaissance des différents aspects de la biologie de reproduction de l'espadon est essentielle pour la compréhension de la dynamique de cette espèce et sa gestion rationnelle. Le stock ne peut se reproduire que si la biomasse féconde est suffisante pour compenser les prélèvements effectués par les pêcheries. Les connaissances de la fécondité et du sex-ratio sont nécessaires pour calculer la dimension du stock. Une revue bibliographique

montre que de nombreuses études ont été réalisées dans diverses régions du monde (Nakano et Bayliff 1992, Arocha et Lee 1995, De la Serna *et al.* 1996, DeMartini *et al.* 2000). En revanche, le sujet est faiblement documenté sur l'espadon dans l'océan Indien. Poisson *et al.* (2001) ont mis en évidence que le sud-ouest de l'océan Indien constitue une importante aire de reproduction des espadons durant l'été austral (d'octobre à avril) et que la composition en taille des individus et le sex-ratio sont fonction de la latitude dans cette zone. Une extension des études sur la biologie de reproduction de l'espadon à l'échelle de l'ensemble de l'océan Indien semble indispensable pour avoir une vision globale de la reproduction de cette espèce à l'échelle régionale, ce qui permettra aux scientifiques de réaliser des évaluations de stock réalistes et aux gestionnaires d'assurer une gestion durable et soutenue de l'espadon. De plus, couplés aux données des autres volets de ce programme, les paramètres biologiques récoltés pourront certainement apporter des éléments fondamentaux pour l'étude de la dynamique du stock d'espadon de l'océan Indien.

### 3.5 Réalisation du projet

Ce projet international est à un stade préliminaire. Il est maintenant indispensable de réunir les différents partenaires potentiels du projet. Dans un premier temps, l'objectif sera de définir les protocoles scientifiques liés aux différents volets du projet, mais surtout de mettre en place le plan d'échantillonnage régional indispensable à la réalisation de ce projet. Dans un second temps, il s'agira de définir l'implication de chaque organisme et les moyens pouvant être fournis par les différents partenaires.

### Références

- ALVARADO-BREMER, J.R., J. Mejuto, T.W. Greig and B. Ely. 1996. Global population structure of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) as revealed by analysis of the mitochondrial DNA control region. *J. Exptl. Mar. Biol. Ecol.* 197: 295-310.
- ALVARADO-BREMER, J.R., J. Mejuto, J. Gomez-Marquez, F. Boan, P. Carpintero, J.M. Rodriguez, J. Viñas, T.W. Greig, B. Ely. 2005. Hierarchical analyses of genetic variation samples from breeding and feeding grounds confirm the genetic partitioning of northwest Atlantic and South Atlantic populations of swordfish (*Xiphias gladius* L.). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 327:167-182.
- ARROCHA, F. and D.W. Lee. 1995. The spawning of the swordfish from the Northwest Atlantic. *ICCAT, Coll. Vol. Sci. Pap.* 44(3):179-186.
- BERGENIUS, M.A.J., B.D. Mapstone, G.A. Begg and C.D. Murchie. 2005. The use of otolith chemistry to determine stock structure of three epinepheline serranid coral reef fishes on the Great Barrier Reef, Australia. *Fish. Res.* 72:253-270.
- CAMPANA, S.E. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog Ser.* 188:263-297.
- CAMPANA, S.E. and J. Gagné. 1995. Cod stock discrimination using ICPMS elemental assays of otoliths. *In: Secor, D., J. Dean and S. Campana, Eds. Recent development in Fish Otolith Research.* University of south Carolina Press., Columbia, SC. 671-691.
- CAMPANA, S., G. Chouinard, J. Hanson, A. Fréchet and J. Bratney. 2000. Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fish. Res.* 46:343-357.
- CAMPANA, S., S. Thorrold, C. Jones, D. Gunther, M. Tubrett, H. Longerich, S. Jackson, N. Halden, J. Kalish, P. Piccoli, H. De Pontual, H. Troadec, J. Panfili, D. Secor, K. Severin, S.S. Sie, R. Thresher, W. Teesdale and J. Campbell. 1997. Comparison of accuracy, precision, and sensitivity in elemental assays of fish otoliths using the electron microprobe, proton-induced X-ray emission, and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54:2068-2079.
- CAMPBELL, LM, A.T. Fisk, X. Wang, G. Kock and D.C.G. Muir. 2005. Evidence for biomagnification of rubidium in freshwater and marine food webs. *Can. J. Fish. Aquat. Sci./J. Can. Sci. Halieut. Aquat.* 62(5):1161-1167.
- CHOW, S. and H. Takeyama. 2000. Nuclear and mitochondrial DNA analyses reveal four genetically separated breeding units of the swordfish. *J. Fish Biol.* 56:1087-1098.
- CHOW, S., H. Okamoto, Y. Uozumi, Y. Takeuchi and H. Takeyama. 1997. Genetic stock structure of the swordfish (*Xiphias gladius*) inferred by PCR-RFLP analysis of the mitochondrial DNA control region. *Mar. Biol.* 127:359-367.

- DE LA SERNA, J.M., J.M. Ortiz de Urbina and D. Macias. 1996. Observations on sex-ratio, maturity and fecundity by length-class for swordfish (*Xiphias gladius*) captured with surface longline in the western Mediterranean. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 45(1): 115-139.
- DEMARTINI, E.E., J.H. Ushiyama and H.A. Williams. 2000. Sexual maturity, sex-ratio, and size composition of swordfish, *Xiphias gladius*, caught by the Hawaii-based pelagic longline fishery. Fish. Bull. 98:489-506.
- DE PONTUAL, H, F. Lagardère, H. Troadec, A. Batel, Y. Désaunay and C. Koutsikopoulos. 2000. Otoliths imprinting of sole (*Solea solea*) from the Bay of Biscay : a tool to discriminate individuals from nursery origins ? Oceanologica acta. 23:497-513.
- DE SYLVA, D. P., W. J. Richards, T. R. Capo, and J. E. Serafy. 2000. Potential effects of human activities on billfishes (Istiophoridae and Xiphiidae) in the western Atlantic Ocean. Bull. Mar. Sci. 66:187-198.
- EDMONDS, J.S., M. Moran, N. Caputi and M. Morita. 1989. Trace element analysis of fish sagittae as an aid to stock identification : Pink Snapper (*Chrysophrys auratus*) in western Australian waters. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:50-54.
- ELSDON, T.S. and B.M. Gillanders. 2003. Reconstructing migratory patterns of fish based on environmental influences on otolith chemistry. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 13:219-235.
- EXCOFFIER, L., P. Smouse and J. Quattro. 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes : application to human mitochondrial DNA restriction data. Genetics. 131:479-491.
- KONSTANTOGIANNI, M, P. Megalofonou, E. Stathopoulou and M. Dasenakis. 2003. Metal concentrations in three commercial fish (Swordfish, *Xiphias gladius*, little tunny, *Euthynnus alletteratus*, bonito, *Sarda sarda*) from the Eastern Mediterranean Sea. 7 Hell. Symp. Oceanogr. Fish. Abstr Greece, 6-9 May 2003. Perilipseis. p. 308.
- KOTOULAS, G., A. Magoulas, N. Tsimenides and E. Zouros. 1995. Marked mitochondrial DNA differences between Mediterranean and Atlantic populations of the swordfish, *Xiphias gladius*. Mol. Ecol. 4:473-481.
- KOTOULAS, G., J.Mejuto, G. Tserpes, B. Garcia-Cortes, P. Peristeraki, J.M. De la Serna and A. Magoulas. 2003. DNA microsatellite markers in service of swordfish stock structure analysis in the Atlantic and Mediterranean. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT. 55(4):1632-1639.
- MORRISSEY, M.T., R. Rasmussen and T. Okada. 2005. Mercury Content in Pacific Troll-Caught Albacore Tuna (*Thunnus alalunga*). J. Aquat. Food Prod. Technol. 13(4):41-52.
- NAKANO, H. and W.H. Bayliff. 1992. A review of the Japanese longline fishery for tuna and billfishes in the eastern Pacific Ocean. 1981-1987. ICCAT, Bull. 20(5).
- NORTHCOTE, T., C. Hendy, C. Nelson and J. Boubee. 1992. Tests for migratory history of the New-Zealand common smelt (*Retropinna retropinna*) using otolith isotopic composition. Ecol. Fresh. Fish. 1:61-72.
- PATTERSON, H.M., M.J. Kingsford and M.T. McCulloch. 2004. Elemental signatures of *Pomacentrus coelestis* otoliths at multiple spatial scales on the Great Barrier Reef, Australia. Mar. Ecol. Prog. Ser. 270:229-239.
- POISSON, F., C. Marjolet and C. Fauvel. 2001. Biologie de la reproduction de l'espadaon (*Xiphias gladius*). In : Poisson, F. and M. Taquet, Eds. L'espadaon, de la recherche à l'exploitation durable (Programme Palangre Réunionnais). Ifremer. 170-212.
- REEB, C.A., L. Arcangeli and B.A. Block. 2000. Structure and migration corridors in Pacific populations of the swordfish *Xiphias gladius*, as inferred through analysis of the mitochondrial DNA. Mar. Biol. 136:1123-1131.
- REEB, C.A., L. Arcangeli and B.A. Block. 2003. Development of 11 microsatellite loci for population studies in the swordfish, *Xiphias gladius* (Teleostei: Scombridae). Mol. Ecol. Notes.
- ROSEL, P.E. and B.A. Block. 1996. Mitochondrial control region variability and global population structure in the swordfish, *Xiphias gladius*. Mar. Biol. 125:11-22.
- SCHNEIDER, S., J.M. Kueffer, D. Roessli and L. Excoffier. 2000. Arlequin ver. 20.0 : a Software for Population Genetic Analysis. Genetics and Biometry Laboratory, University of Geneva, Switzerland. Taylor R.G. and Murphy M.D., 1992. Reproductive biology of the swordfish *Xiphias gladius* in the straits of Florida and adjacent waters. Fish. Bull. 90:809-816.

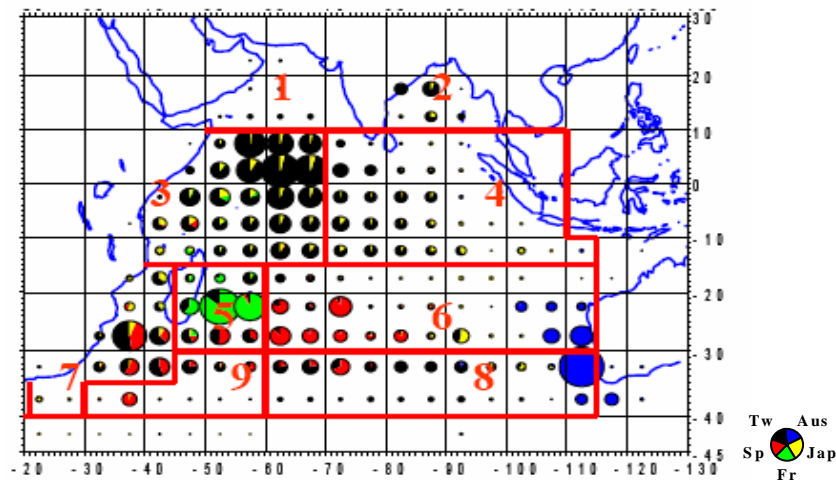
THRESHER, R.E. 1999. Elemental composition of otoliths as a stock delineator in fishes. *Fish. Res.* 43:165-204.

THRESHER, R., C. Proctor, J. Gunn and I. Harrowfield. 1994. An evaluation of electron probe microanalysis of otoliths for stock delineation and identification of nursery areas in a southern temperate groundfish, *Nemadactylus macropterus* (Cheilodactylidae). *Fish. Res.* 92:817-840.

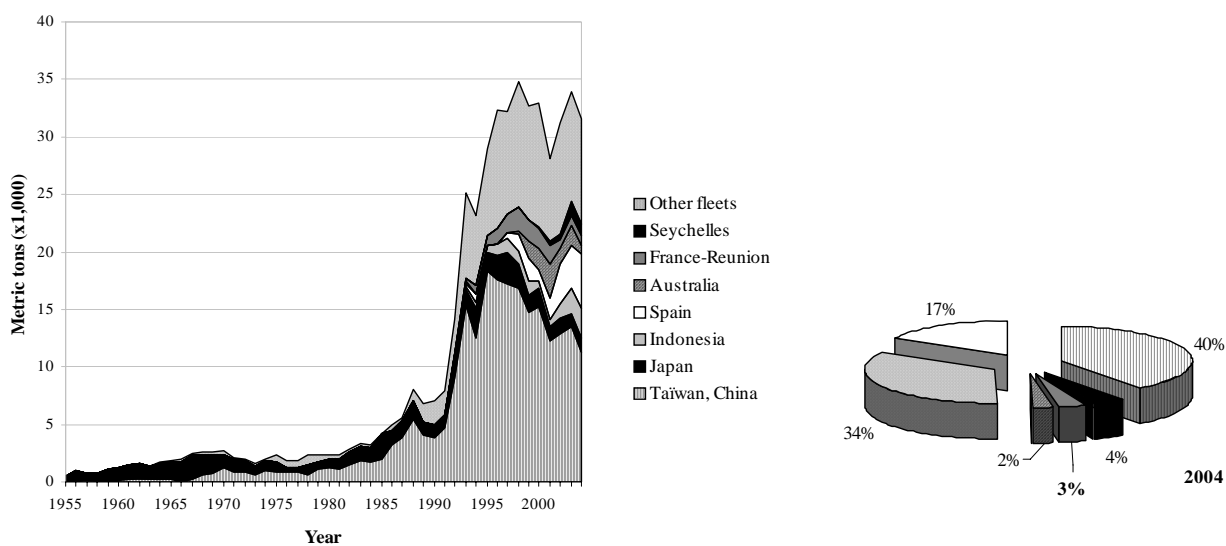
WRIGHT, S. 1951. The genetical structure of population. *Ann. Eugen.* 15:323-354.

**Table 1.** Comparaison par paire des 4 zones échantillonnées (Index de fixation ( $F_{st}$ ) sous la diagonale, Probabilité ( $P$ ) au-dessus de la diagonale).

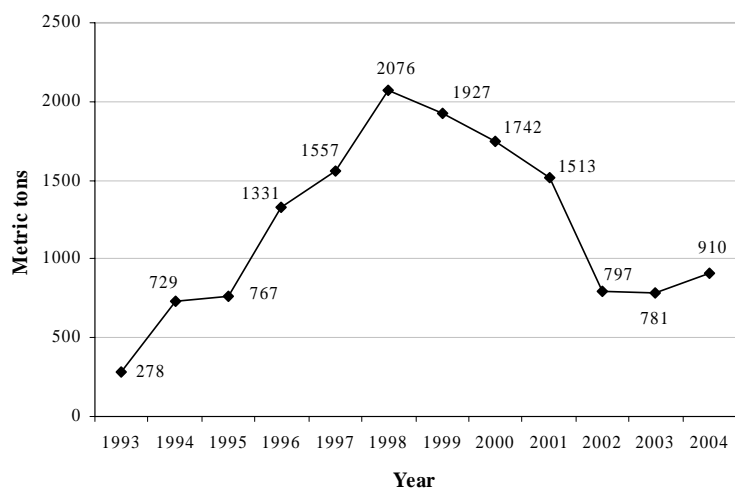
|                          | <i>Seychelles</i> | <i>La Reunion</i> | <i>South of Madagascar</i> | <i>South West of Madagascar</i> |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|---------------------------------|
| <b>mtDNA</b>             |                   |                   |                            |                                 |
| Seychelles               | *                 | 0.37488±0.0086    | 0.21785±0.0086             | 0.19702±0.0078                  |
| La Reunion               | 0.0017            | *                 | 0.34612±0.0085             | 0.29190±0.0073                  |
| South of Madagascar      | 0.01505           | 0.00423           | *                          | 0.23769±0.0083                  |
| South West of Madagascar | 0.02071           | 0.00818           | 0.01251                    | *                               |
| <b>Microsatellites</b>   |                   |                   |                            |                                 |
| Seychelles               | *                 | 0.99902±0.0002    | 0.99902±0.0002             | 0.54492±0.0158                  |
| La Reunion               | -0.00199          | *                 | 0.99902±0.0002             | 0.49609±0.0147                  |
| South of Madagascar      | 0.00000           | 0.00000           | *                          | 0.14844±0.0113                  |
| South West of Madagascar | 0.00082           | 0.00080           | 0.00078                    | *                               |



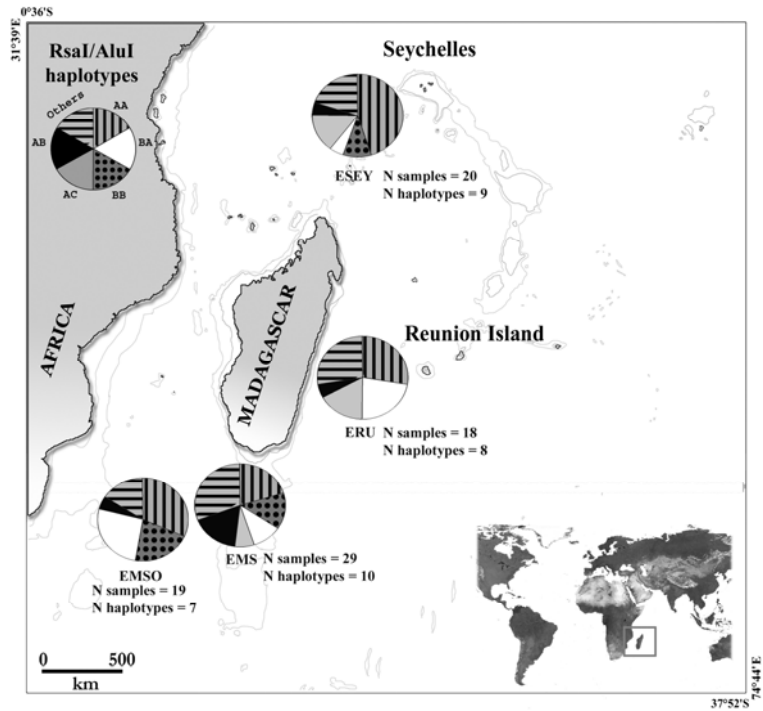
**Figure 1.** Carte des captures moyennes d'espadon dans l'océan Indien pour la période 2001-2002 (pour les principaux pays pêcheurs : Tw : Taïwan ; Jap : Japon ; Fr : France ; Sp : Espagne ; Aus : Australie) (Données CTOI).



**Figure 2.** Évolution des prises d'espadon par pays dans l'océan Indien entre 1955 et 2004 (à gauche), et répartition des captures d'espadon pour les principaux pays pêcheurs pour 2004 (à droite) (Données CTOI).



**Figure 3.** Evolution des captures d'espadon de la flottille palangrière réunionnaise entre 1993 et 2004 (en tonnes).



**Figure 4.** Répartition des fréquences d'haplotypes par zones d'échantillonnage (ESEY=Echantillons des Seychelles ; ERU=Echantillons de La Réunion ; EMS=Echantillon du Sud de Madagascar ; EMSO=Echantillons du Sud Ouest de Madagascar ; N=Nombre).