

**VINGT-CINQ ANS D'EVALUATION
DES RESSOURCES THONIÈRES DE L'ATLANTIQUE :
QUELQUES REFLEXIONS METHODOLOGIQUES**

Alain Fonteneau¹, Didier Gascuel² et Pilar Pallarés³

L'article examine et discute les particularités biologiques (en général et dans l'Atlantique) des thonidés (et espèces voisines) étudiées dans le cadre de l'ICCAT, ainsi que les particularités des pêcheries de thons, de surface et à la palangre. Certaines caractéristiques biologiques de ces espèces sont tout d'abord examinées, en particulier celles qui sont afférentes à la mortalité naturelle, aux migrations et à la distribution verticale des poissons. On montre que ces caractéristiques sont susceptibles d'introduire des biais majeurs dans les analyses scientifiques; ceci est vrai pour les évaluations s'appuyant sur les modèles globaux aussi bien que pour celles qui ont recours aux modèles analytiques. Les biais potentiels sont d'une nature variée, mais tendent le plus souvent à conclure à tort que les stocks sont pleinement exploités ou surexploités, alors qu'ils ne sont souvent que modérément exploités. La plupart des informations sur les ressources thonières sont issues des pêcheries commerciales, ce qui est source de biais fréquents dans les évaluations. En particulier, les schémas d'exploitation des pêcheries thonières sont le plus souvent très variables, ce qui pose notamment problème dans les analyses structurales. L'accroissement notable de l'efficacité des flottilles, de senneurs tropicaux en particulier, et l'aptitude de la plupart des flottilles à prélever localement des fractions importantes de la biomasse posent aussi de très sérieux problèmes en ce qui concerne l'interprétation des prises par unité d'effort (PUE) et l'évaluation de l'état des stocks de thons. Des recommandations sont présentées pour tenter d'obtenir des évaluations plus fiables des ressources thonières.

This paper reviews and discusses the biological characteristics (general and in the Atlantic) of tunas (and tuna-like species) under the competence of the ICCAT, as well as the characteristics of the surface and longline tuna fisheries. Certain biological characteristics of these species are also considered, particularly those that refer to natural mortality, migration and the vertical distribution of the fish. This paper shows how these characteristics could introduce major biases in the scientific analyses. This is applicable to assessments based on global models as well as to those that are carried out using analytical models. The potential biases are of a variable nature, but frequently tend to lead to the erroneous conclusion that the stocks are being exploited fully or are over-exploited, when in reality their exploitation is moderate. The major part of the information on the tuna resources comes from the commercial fisheries, which is often another source of biases in the assessments. In particular, fishing strategies of tuna fishermen are often very variable, which causes a marked problem in structural analyses. The marked increase in fleet efficiency, particularly that of the tropical purse seiners, and the ability of the majority of the fleets to catch large proportions of the biomass in the area are factors that pose very serious problems in interpreting the CPUEs and in evaluating the state of the tuna stocks. Some recommendations are made in order to obtain more reliable assessments of the tuna resources.

El documento examina y discute las características biológicas (generales y en el Atlántico) de los túnidos (y especies afines) que son competencia de ICCAT, así como las características de las pesquerías de túnidos, de superficie y de palangre. Se consideran también ciertas características biológicas de estas especies, en particular las que se refieren a la mortalidad natural, migración y distribución vertical de los peces. Se demuestra cómo estas características podrían introducir sesgos de importancia en los análisis científicos; esto es aplicable a las evaluaciones que se apoyan en modelos globales así como en las que recurren a modelos analíticos. Los sesgos potenciales son de naturaleza varia, pero tienden con frecuencia a dar la conclusión errónea que los

1 ORSTOM-HEA, B.P. 5045, 34032 Montpellier, France.

2 ENSAR département halieutique, 65 route de Saint Briec, 35042 Rennes, France.

3 IEO, Corazon de Maria 8, 28002 Madrid, Espagne.

stocks están siendo explotados al máximo o sobreexplotados, cuando en realidad a menudo su explotación es moderada. La mayor parte de la información sobre los recursos atuneros proceden de las pesquerías comerciales, lo cual es con frecuencia otra fuente de sesgos en las evaluaciones. En particular, los tipos de explotación de las pesquerías de túnidos son a menudo muy variables, lo cual plantea un problema en los análisis estructurales. El gran aumento de la eficacia de las flotas, en especial de cerqueros tropicales, y la aptitud de la mayoría de estas flotas para capturar localmente fracciones importantes de la biomasa, son factores que plantean también problemas muy serios a la hora de interpretar las CPUEs y evaluar la condición de los stocks de túnidos. Se hacen recomendaciones respecto a intentar obtener evaluaciones más fiables de los recursos de túnidos.

1. INTRODUCTION : L'EVALUATION DES STOCKS MIGRATEURS

Une évaluation fiable de l'état des stocks de thons doit logiquement reposer sur une analyse complète de tous les aspects pertinents à ces espèces et des pêcheries thonières qui les exploitent. Paradoxalement, peu de réflexions et de travaux ont été menés sur ces aspects.

Dans la présente étude, les principales caractéristiques biologiques des thons sont tout d'abord examinées, en particulier celles qui sont susceptibles de biaiser les évaluations de stocks. Une attention spéciale est ainsi portée aux caractéristiques de la distribution géographique et verticale des ressources thonières. Les particularités des pêcheries thonières sont ensuite présentées, en soulignant celles ayant un impact potentiel sur les évaluations de stocks. La modification de la capturabilité des thons aux divers engins fait notamment l'objet d'un examen. Les pêcheries thonières sont susceptibles d'exercer de forts taux de prélèvement locaux; les biais potentiels introduits par ces fortes mortalités locales dans la relation prise par unité d'effort (PUE) et abondance locale doivent donc être analysés. Enfin, quelques considérations sur l'application aux thonidés des modèles usuels de dynamique des populations, - modèles globaux et analytiques, sont développées, relativement aux caractéristiques biologiques et halieutiques des thonidés et des pêcheries qui exploitent ces ressources. On examinera aussi la sensibilité de ces deux types de modèle aux incertitudes sur l'abondance réelle des ressources thonières. L'objectif final de cet article est de proposer une base de réflexions sur des méthodes visant à obtenir des évaluations plus fiables.

2. LES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES DES RESSOURCES THONIERES

Les thonidés constituent indiscutablement un groupe très particulier au sein des ressources marines exploitées par la pêche. Quatre caractéristiques essentielles méritent d'être examinées ici :

- La première est assurément le caractère migrateur de ces espèces, avec toutefois des différences importantes entre espèces quant à leur potentiel de mouvement.
- La seconde est leur très large distribution géographique et verticale, qui conduit souvent à rendre peu vulnérables aux engins de pêche de larges fractions de biomasse.
- La troisième est la grande hétérogénéité de leur répartition spatiale à différentes échelles, ce qui tend à provoquer une

efficacité des pêcheurs très variable et très instable quand il s'agit de localiser et capturer les poissons.

- La quatrième est probablement, pour la plupart des espèces de thons, le fait que la variabilité de la mortalité naturelle en fonction de l'âge (paramètre M) est peut-être plus importante que pour beaucoup d'espèces.

Ces quatre caractéristiques sont présentées et discutées brièvement ci-après.

2.1 Les migrations des thons : une réalité très différente selon les espèces

Si les migrations constituent une caractéristique biologique bien connue chez les thons, le type et l'ampleur de ces déplacements géographiques semblent très différents selon les espèces. Ces différences reposent sur l'écologie, la biologie et la physiologie des diverses espèces. Ce point mérite quelques précisions du fait de son impact potentiel sur la plupart des évaluations de stocks.

En se basant sur les connaissances acquises sur les thons (dans l'Atlantique et dans les autres océans), à partir des données sur les pêcheries et l'environnement, des marques et des études physiologiques, on peut tenter de dresser une typologie de ces déplacements. Cette tentative fait intervenir les paramètres suivants :

- La taille des individus. La taille constitue un facteur très important. Les thons de grande taille (par exemple un thon rouge (*Thunnus thynnus*) de 500 kg ou un albacore (*T. albacares*) de 100 kg) sont capables de nager plus rapidement et d'effectuer des déplacements sur de plus grandes distances. Cette taille permet aussi une meilleure thermorégulation, donc une aptitude plus grande à se nourrir dans les eaux froides (en particulier celles des hautes latitudes) et à les coloniser.
- L'existence de migrations de ponte. Certaines espèces, par exemple le thon rouge, le germon (*T. alalunga*), et dans une large mesure l'albacore, font annuellement de grandes migrations transocéaniques pour pondre à un moment précis dans une zone donnée. D'autres thons, n'ont pas ce comportement; ils se reproduisent dans une large gamme de conditions environnementales. Le listao (*Katsuwonus pelamis*) en est un exemple; il est susceptible de pondre dès qu'il rencontre des eaux chaudes. Il apparaît, à l'examen de la distribution des zones de pêche

en fonction de l'environnement, que l'existence de strates de ponte de taille réduite est directement liée aux distances entre les zones de ponte et les zones trophiques. Ainsi, l'existence de zones trophiques très éloignées de la zone de ponte semble imposer à l'espèce des zones et périodes de ponte qui sont restreintes, et qui constituent donc pour la reproduction des adultes de nécessaires points de rencontre (cas du thon rouge par exemple).

- Le caractère diffusif ou advectif des mouvements. Le concept de migration ne devrait couvrir que les mouvements advectifs, c'est-à-dire des déplacements de fractions importantes des stocks, orientés dans des directions précises et ne s'arrêtant pas tant que l'objectif recherché n'a pas été atteint (par exemple la zone de reproduction, Dingle 1996). De tels mouvements advectifs et orientés semblent fréquents chez certaines espèces comme l'albacore, le germon et le thon rouge. Dans un certain nombre de cas toutefois, les déplacements des thons semblent essentiellement de caractère diffusif, c'est-à-dire des mouvements à relativement courte échelle géographique et sans direction privilégiée (mouvements visant à explorer le milieu environnant, en particulier pour y rechercher de la nourriture). Souvent ces mouvements ont une composante « orientée », par exemple dans le cas de déplacements saisonniers dus aux fluctuations de l'environnement. Il est probable que les thons ne visent alors pas explicitement un site géographique précis, mais qu'ils se déplacent seulement dans l'environnement qui leur est écologiquement favorable. En toute rigueur, bien que massifs et réguliers, ces déplacements ne devraient donc pas être considérés comme de véritables migrations.

2.2 Distribution géographique et en profondeur

2.2.1 Distribution géographique des thons, modèle de bassin et concept de viscosité

La plupart des thons appartiennent à la catégorie des « espèces migratrices » et la distribution géographique de chaque stock couvre de vastes bassins océaniques. Selon MacCall (1990), cette distribution peut être décrite par un « modèle de bassin », avec « des zones centrales écologi-

Il est fondamental de bien évaluer la typologie des mouvements des thons à l'intérieur de ces bassins, ceci pour chaque stock et selon les affinités écologiques de l'espèce. En retenant la typologie proposée par MacCall (1990), qui s'applique fort bien aux thons, il y a deux types de mouvements :

- Dans le schéma de faible viscosité (on pourrait qualifier ce type de stock de « fluide »), les mouvements des individus sont très rapides. Les captures réalisées par les différentes pêcheries ont alors le même effet sur toute la population présente dans le bassin, où qu'opèrent ces pêcheries.
- Dans le schéma opposé de forte viscosité, les captures faites dans une zone sont remplacées essentiellement par la croissance de la population locale, et très peu par l'immigration d'individus provenant d'autres secteurs.

Les juristes ayant élaboré la convention de Caracas (au début des années 80) ont qualifié les thonidés (et quelques autres espèces) comme étant des espèces « hautement migratrices ». Un sentiment alors implicitement admis derrière cette classification était probablement que la plupart des thons devaient être considérés comme des ressources à faible viscosité (« ressources fluides »). A l'inverse, beaucoup d'experts en ressources thonières tendent aujourd'hui à considérer que les migrations des thons, même si elles sont importantes, ne permettent finalement pas de classer les thons dans cette catégorie des « ressources fluides ». Ces doutes sont par exemple bien analysés pour le listao du Pacifique Ouest par Hilborn et Sibert (1986). La plupart des stocks de thons pourraient en fait être classés comme ayant une viscosité « intermédiaire » entre celle du stock « fluide » et celle du stock « visqueux ». Dans ce type de situation, on peut aisément observer une surexploitation locale accusée, sans nécessairement provoquer une réduction significative de la biomasse totale distribuée dans l'ensemble du bassin. Ce cas de « viscosité intermédiaire » des thons est, bien sûr, différent pour chaque espèce et stock, et dépend du type et de l'ampleur des migrations. Dans cette optique, il est essentiel, pour bien évaluer les stocks de thons et bien les gérer, d'évaluer la viscosité du stock en fonction de l'âge.

En règle générale, on peut estimer, en se basant sur les

fait que des fractions significatives de ces stocks peuvent potentiellement demeurer « cryptiques ».

Le concept de biomasse cryptique peut ainsi être défini, pour un stock thonier exploité par une combinaison donnée d'engins de pêche, comme étant la fraction de la biomasse totale qui survivra en situation d'équilibre si un effort de pêche très élevé (ou infini) est exercé par les engins existants, avec le diagramme d'exploitation actuel et dans les zones de pêche actuelles. Cette notion est assez voisine de celle de biomasse inaccessible, mais elle s'en distingue cependant nettement pour deux raisons :

- Premièrement, la biomasse cryptique se réfère à l'équilibre, donc au long terme, prenant en considération les déplacements des individus, alors que la biomasse inaccessible désigne une situation instantanée. On conçoit bien qu'après un changement de zone exploitée, la nouvelle biomasse inaccessible ne tendra que progressivement vers sa situation d'équilibre, c'est à dire de biomasse cryptique.
- Deuxièmement, et en reprenant la distinction de Lauret et Le Guen (1981) sur les points de vue du poisson et du pêcheur, la biomasse inaccessible se rapporte essentiellement au poisson : c'est la combinaison de la biologie, de l'écologie et du comportement du poisson qui font que le pêcheur peut capturer ou pas la ressource avec les engins disponibles. La biomasse cryptique, elle, est le plus souvent parfaitement accessible au pêcheur, pour peu qu'il en fasse le choix (et que ce choix soit économiquement viable).

L'existence d'une « biomasse cryptique » semble ainsi caractéristique de nombreuses ressources thonières et serait due essentiellement à une certaine « viscosité » de ces ressources et au fait que seules certaines fractions des stocks sont exploitées. Très souvent en effet, par suite des grandes surfaces océaniques couvertes par la plupart des bassins thoniers, seules les zones à forte densité, ou celles où le poisson est très vulnérable, sont intensément exploitées; la viscosité du stock peut alors créer des « réserves naturelles ».

La plupart de ces fractions cryptiques de stocks sont liées à des facteurs économiques : essentiellement la valeur marchande de l'espèce de thon, les coûts d'exploitation dans les divers secteurs du bassin et le taux de captures réalisables dans les zones du bassin à faible densité en thons. S'il demeure difficile (ou impossible?) d'estimer l'importance de cette éventuelle fraction cryptique de biomasse, son existence potentielle est probablement importante à garder à l'esprit dans les analyses. Quand les pêcheries n'exploitent qu'une fraction géographique du stock, elles s'avèrent le plus souvent incapables, même en exerçant un effort de pêche très élevé, de capturer la prise maximale équilibrée (PME) réelle du stock. Pour des efforts croissants, elles tendent à capturer la prise maximale disponible dans le secteur exploité, en y provoquant une surexploitation locale, qui se traduit elle-même par des rendements localement faibles.

On peut trouver de multiples exemples de cette situation caractéristique des pêcheries thonières :

- Albacore de l'Atlantique Est. L'accroissement, de 1973 à 1980, des PME estimées par le comité permanent pour la

recherche et les statistiques de l'ICCAT (SCRS) était clairement en relation avec l'accroissement des surfaces exploitées par les senneurs (fig. 3). Le même problème a été analysé par les chercheurs de l'Inter-Américain Tropical Tuna Commission (IATTC) dans le Pacifique Est, relativement à l'extension vers le large de la zone de pêche de l'albacore de 1960 à 1980.

- Espadon (*Xiphias gladius*) de l'Atlantique Nord. L'accroissement des PME estimé par le modèle global durant les années récentes (fig. 4) est probablement lié à l'accroissement des surfaces exploitées par les palangriers (expansion vers le golfe de Guinée durant cette période) (fig. 5).
- Germon de l'Atlantique Nord. Il est possible que la diminution des zones de pêche au cours des dernières années (pour les pêches de surface et de profondeur) ait contribué à la baisse des captures potentielles estimées pour ce stock.

2.2.3 Distribution verticale des thons

L'analyse des données de prises et d'efforts des divers engins montre qu'il existe souvent une hétérogénéité verticale des populations thonières exploitées, probablement due au comportement et à la physiologie des thons au sein d'une colonne d'eau en général très stratifiée, sur le plan thermique en particulier. Les albacores et les patudos (*T. obesus*) adultes exploités à la senne et à la palangre fournissent un bon exemple de cette hétérogénéité verticale (fig. 6) :

- Dans le cas de l'albacore adulte, la palangre s'avère incapable, même avec un effort de pêche très élevé, et même en exploitant toute la zone de distribution du stock, de capturer la PME de ce stock (fig. 6b), malgré son excellente production par recrue théorique. La senne s'avère, par contre, beaucoup plus efficace quand il s'agit de capturer de grandes quantités de ces individus (fig. 6a), et ceci dans les mêmes secteurs de pêche.
- Quant au patudo adulte, même avec un effort de pêche accru, les senneurs n'ont pas été en mesure de capturer des quantités croissantes de grands individus de cette espèce (fig. 6c). La palangre s'avère, elle, très efficace, avec un accroissement notable de sa production (fig. 6d) lié au déploiement de la palangre profonde, qui permet d'exploiter de nouvelles fractions du stock plus profondes.

Des résultats très voisins ont été observés dans tous les océans pour ces deux espèces. On doit logiquement prendre en considération l'hypothèse qu'il existerait une certaine « viscosité verticale » des ressources thonières. Ainsi, un engin qui n'exploite qu'une tranche de profondeur ne semblerait pas pouvoir capturer l'ensemble de la ressource présente dans la zone, même s'il semble capable sur le plan de la sélectivité de l'engin de capturer la taille présente localement. Dans les deux exemples cités ici, et selon la gamme de profondeurs exploitées par l'engin, une fraction variable de la biomasse demeurera peu vulnérable à l'engin. Cette hétérogénéité verticale, pour triviale qu'elle puisse paraître, est rarement prise en considération dans les analyses.

2.2.4 Conclusion sur la biomasse cryptique des thons

Il semble donc indiscutable qu'il existe souvent des fractions cryptiques de stocks, ceci par suite d'une certaine « viscosité » des ressources thonières, tant géographiquement que verticalement, et en conséquence que l'effet de la pêche sur la biomasse n'est pas équivalent dans toutes les zones du bassin occupé par le stock. Compte tenu de cette viscosité, la baisse locale de l'abondance du stock (géographiquement et verticalement) dans la zone exploitée peut être, par définition et jusqu'à un certain degré, plus forte que la diminution d'abondance affectant l'ensemble du stock (en termes relatifs). L'importance de ces biomasses cryptiques tend logiquement à diminuer avec l'expansion géographique des zones de pêche et la diversification des engins.

Enfin, le fait que cette biomasse cryptique a, dans le passé, permis une exploitation soutenue de nombreuses ressources thonières nous conduit à penser que la création de telles « réserves » fermées en permanence à la pêche, pourraient constituer une stratégie de gestion à la fois simple, prudente et efficace, de certains stocks de thons. De telles réserves pourraient, si elles étaient suffisamment vastes et bien conçues biologiquement (par exemple fermeture de nourriceries), assurer la conservation des biomasses cryptiques (qui tendent à disparaître) et ainsi minimiser les risques d'effondrement des stocks. De tels projets d'aménagement pourraient utilement être simulés en utilisant des modèles spatialisés.

2.3 Hétérogénéité de la distribution des thons, à toutes les échelles espace-temps

On note chez les thons, outre leurs déplacements horizontaux et verticaux, un comportement grégaire à diverses échelles. Ils se regroupent par exemple très souvent en bancs et en concentrations de bancs (un groupement temporaire de nombreux bancs). Le regroupement de bancs sous des objets flottants et autour de monts sous-marins et de requins-baleines est aussi fréquent. Ces comportements aboutissent à une forte hétérogénéité spatiale de l'abondance des ressources thonières, ceci à toutes les échelles d'observation :

- à l'échelle très fine (quelques dizaines ou centaines de mètres), selon que l'on est dans un banc ou à côté de celui-ci, selon que le banc est proche de la surface ou plus en profondeur;
- à l'échelle d'un ou de quelques carrés statistiques $1^\circ \times 1^\circ$ (par exemple les phénomènes de grandes concentrations saisonnières régionales), ou à l'échelle de zones plus vastes qui peuvent être définies en fonction de l'environnement (températures de surface, cellules de rétention et de production primaire, etc.);
- à l'échelle de ces grandes zones écologiques, en fonction des saisons hydroclimatiques et des migrations saisonnières, la saisonnalité marquée des pêcheries thonières étant une caractéristique majeure dans l'Atlantique;

- à des échelles géographiques très vastes en liaison avec les migrations de grande amplitude s'effectuant au cours du cycle de vie de l'espèce (dans l'ensemble de l'océan Atlantique, voire l'océan mondial pour le thon rouge du Sud, *T. t. maccoyi*).

Cette très forte hétérogénéité des distributions à différentes échelles se traduit le plus souvent pour les pêcheries thonières par :

- Des variations d'accessibilité (surtout à grande échelle) et de vulnérabilité (échelles fines) qui auront évidemment des conséquences directes sur les comportements des flottilles de pêche, entraînant souvent des modifications des schémas d'exploitation. Dès lors qu'un « accident de répartition spatiale » de la ressource intervient, ce qui est très fréquent pour les thons, on risque d'introduire des biais structurels dans les analyses si la méthode employée suppose constante la vulnérabilité du stock.
- L'hétérogénéité géographique de la ressource implique que la recherche active des bancs sera un élément important de la stratégie de pêche : les progrès technologiques et humains (par exemple pour améliorer la localisation et la capture des bancs) sont en permanence introduits par les flottilles. Ils peuvent rendre les navires thoniers de plus en plus efficaces dans la localisation⁴ des bancs de thons, des monts sous-marins, des concentrations, des fronts thermiques, des grandes zones écologiquement favorables, etc. Il en résulte probablement des gains potentiels de puissance de pêche qui sont sans doute parmi les plus élevés au monde. Les méthodes à utiliser pour évaluer les ressources et la fiabilité des résultats dépendront bien sûr largement de la bonne prise en considération de ces facteurs.

2.4 Une mortalité naturelle (M) variable en fonction de l'âge?

Trois règles générales concernant la variation de la mortalité naturelle semblent pouvoir être gardées à l'esprit pour la plupart des espèces de poissons en général, les thons en particulier :

- Les individus très jeunes sont toujours plus fragiles et de petite taille; ils souffrent de ce fait d'un risque plus élevé de mortalité naturelle. Ce risque accru peut être dû notamment à la prédation (y compris par ses propres congénères, le cannibalisme ayant été bien mis en évidence chez certains thons) ou simplement au risque de mourir jeune par sélection naturelle (mort « naturelle » des individus les plus faibles).
- La mortalité naturelle s'accroît après la première maturité sexuelle pour la plupart des animaux. Cette règle biologique (Gompertz, 1825) est par exemple bien mise en évidence depuis fort longtemps dans le domaine terrestre, où la mortalité naturelle est facile à mesurer. Un tel accroissement de la mortalité naturelle avec l'âge, lié à la sénescence, constitue d'ailleurs une règle biologique universelle pour la plupart

4 voire la « création », comme dans la pêche sous objets flottants artificiels développés par les senneurs ou sous les navires de pêche eux-mêmes (méthode des canneurs dakarois décrite par Fonteneau et Diouf, 1994).

des années suivantes (Finch, 1990), cet accroissement

les stratégies les plus rentables économiquement (entraînant

Il sera très important, pour réaliser les ASP ultérieures, de bien garder à l'esprit cette grande « flexibilité » des diagrammes d'exploitation : certaines hypothèses restrictives sur la forme ou la stabilité du diagramme d'exploitation seront ainsi susceptibles de biaiser considérablement la plupart des analyses démographiques. Ces modifications potentielles des diagrammes d'exploitation et leurs causes probables méritent d'être analysées pour les principaux engins et espèces.

3.2 Accroissement de l'efficacité des engins de pêche

On constate dans l'Atlantique (comme d'ailleurs dans les autres océans) un permanent et très sensible accroissement de la puissance de pêche de la plupart des engins capturant les thons. Cet accroissement est surtout spectaculaire dans la pêcherie intertropicale à la senne, méthode qui réalise actuellement une large majorité des prises mondiales de thons. Il semble dû principalement aux facteurs suivants :

- l'accroissement de la vitesse des bateaux (passant en 30 ans d'une douzaine de nœuds à parfois 20 nœuds);
- le développement (depuis la fin des années 80) des radars à oiseaux sur tous les senneurs (un appareil qui permet de localiser depuis une grande distance les bancs de thons associés à des oiseaux, cas très fréquent);
- l'amélioration de la conception des sennes pour qu'ou puisse les fermer plus rapidement (d'où des opérations de pêche plus rapides et surtout plus efficaces) et plus en profondeur (permettant de pêcher efficacement dans des zones à thermocline profonde comme l'océan Indien ou le Pacifique Ouest);
- l'introduction à bord des senneurs de divers appareils électroniques permettant de mesurer les courants de surface et de profondeur (ADCP), et la thermocline (gradient et profondeur);
- le développement par certains canneurs (Dakar, Canaries) de la pêche des thons associés activement au bateau (Fonteneau et Diouf, 1994);
- le développement spectaculaire (et mondial) des pêches sous objets flottants, provoquant un accroissement de l'efficacité des flottilles relativement aux thons de petite taille (albacore, listao et patudo) et l'expansion des zones de pêche;
- l'amélioration spectaculaire des sonars couleur permettant de localiser, de suivre et de capturer des bancs de thons, même quand ils restent invisibles en surface;
- l'amélioration technologique des sennes, dont la profondeur de pêche est accrue et la manœuvre plus rapide;
- la généralisation et l'amélioration des images satellitaires, par exemple des températures de surface, souvent transmises en temps réel aux flottilles;
- l'emploi croissant de sticks lumineux pour la pêche à l'espadon;
- l'amélioration des appâts, et des changements continus dans les gréments et les profondeurs de pêche à la palangre.

Cet accroissement considérable de la puissance de pêche des thoniers senneurs tropicaux constitue un véritable défi pour les scientifiques en ce qui concerne l'évaluation des

stocks, difficulté rencontrée mondialement dans les océans Atlantique, Indien, Pacifique Est et Pacifique Ouest. Même dans le meilleur des cas où on a tenté d'estimer cet accroissement d'efficacité, par exemple à partir des méthodes de type GLM (modèles linéaires généralisés) ou d'ASP, il demeure difficile le plus souvent d'être sûr que toutes les causes d'accroissement de l'efficacité ont bien été prises en considération et estimées. En matière d'évaluation des stocks, cet accroissement de l'efficacité tend à laisser penser à tort que le recrutement s'est accru, alors qu'en réalité seules la puissance de pêche et la mortalité par pêche (F) se sont accrues!

Les pêcheries d'albacore de l'océan Indien constituent un bon exemple de cette augmentation de l'efficacité des senneurs tropicaux (fig. 9). Dans ces pêcheries, très bien suivies sur le plan des statistiques de pêche, on observe qu'un effort de pêche nominal relativement stable a conduit durant les douze dernières années à un accroissement régulier des prises. Les rendements des senneurs individuels sont stables ou le plus souvent croissants durant la période, alors qu'il est clair que le fort accroissement des prises dans la région a significativement décreu la biomasse du stock. Il est évident que l'accroissement des prises à effort stable est dû essentiellement à l'accroissement de la puissance de pêche des senneurs, et non pas à un accroissement du recrutement (IPTP, 1995).

Le même problème se pose pour l'albacore de l'Atlantique (fig. 10) et probablement pour celui du Pacifique Est, pêcheries dans lesquelles le probable accroissement de l'efficacité des senneurs, et donc les niveaux réels des efforts effectifs, demeurent difficiles à mesurer. L'accroissement de l'efficacité des senneurs dans l'Atlantique Est a été analysé par Gascuel *et al.*, (1993) et Gascuel (1995). Sans que l'on puisse expliquer la cause exacte de ces changements et améliorations, celles-ci apparaissent très clairement dans les résultats des ASP, et les estimations mettent en évidence un accroissement de puissance de pêche qui dépasse parfois 10 % par an. Des explications partielles de ces améliorations ont été proposées par Marsac (1992), dont les résultats de simulations mettent en évidence l'important accroissement des surfaces prospectées grâce à l'introduction des radars à oiseaux (pratique généralisée mondialement depuis la fin des années 80). Toutes ces estimations de l'amélioration de l'efficacité sont conduites *a posteriori*, la prévision de ces futurs progrès étant par nature très difficile, voire impossible. Cet accroissement considérable de l'efficacité des flottilles thonières constitue probablement un phénomène mondial.

Les conséquences de cet accroissement de puissance de pêche peuvent être considérables, tant en matière d'évaluation que d'aménagement des ressources thonières. L'accroissement de l'efficacité des flottilles devrait donc (1) être bien pris en considération dans les évaluations et (2) avoir un sérieux impact sur les politiques de gestion des stocks et de contrôle des pêcheries, au moins quand celles-ci visent à un contrôle des efforts de pêche. Si on souhaite contrôler les mortalités par pêche, il faut alors souvent mettre en œuvre une baisse de l'effort nominal qui sera proportionnelle à l'accroissement de l'efficacité. A cet effet, il serait nécessaire de bien prendre en considération, dans les analyses et dans les mesures de gestion, les multiples facteurs technologiques qui contribuent à accroître l'efficacité des flottil-

les. Ce problème potentiel s'applique par exemple à la recommandation faite en 1995 par l'ICCAT visant à limiter l'effort de pêche sur l'albacore à son niveau de 1992 (ICCAT, 1996).

3.3 Forts taux d'exploitation locaux dans les strates de forte abondance

3.3.1 PUE et abondances locales des thons : un panorama global

L'abondance des thons devrait être mesurée par des flottilles de pêche travaillant sans interférence avec l'abondance de la ressource étudiée, comme un thermomètre mesure une température sans altérer la chaleur du milieu. Cela est globalement le cas quand un effort de pêche faible est exercé : les faibles captures réalisées ne diminuent pas significativement les biomasses locales. En revanche, quand l'effort de pêche s'accroît, il se concentre dans des strates de fortes biomasses. C'est probablement là une caractéristique majeure de la plupart des pêcheries thonières (tant de surface qu'à la palangre), d'être potentiellement capables d'exercer localement et temporairement de forts taux d'exploitation sur les concentrations de thons (Fonteneau, 1986). Les flottilles tendent à rester dans ces strates, ceci tant que les PUE restent élevées; en général celles-ci diminuent assez rapidement du fait des captures ou des mouvements migratoires des thons. Cette pratique est susceptible de compliquer singulièrement la relation entre la PUE et l'abondance. Il s'agit d'un problème potentiel qui reste paradoxalement peu étudié jusqu'à présent par le SCRS et par les autres instances scientifiques thonières.

On peut l'aborder au plan conceptuel en imaginant l'évolution d'une répartition théorique des biomasses. Avant l'exploitation ou lors d'une faible exploitation, cette répartition typique des biomasses présente des « pics et des creux » d'abondance (fig. 11). L'exploitation entraîne la disparition des crêtes de biomasses (fig. 12). La diminution relative de la biomasse totale du stock est, bien entendu, inférieure à la baisse des biomasses (et des PUE) dans les strates à forte biomasse et fort taux d'exploitation (fig. 13).

En définitive, les forts taux d'exploitation exercés prioritairement dans les strates de forte abondance y provoquent d'importantes baisses locales de densité. Ceci introduit un biais complémentaire de celui lié à l'existence d'une fraction cryptique de la biomasse. Conceptuellement, ces deux biais, hors de la zone de pêche et au sein de celle-ci sont analogues, et ils concourent à la surestimation de la baisse des biomasses d'un stock exploité. Le premier biais (biomasse cryptique) dépend essentiellement de la fraction du stock qui demeure peu ou pas accessible. Le deuxième (taux d'exploitation locaux), dépend de multiples facteurs propres à la pêcherie et à la ressource. Citons notamment :

- L'importance globale de l'effort de pêche. Les biais sont en moyenne plus forts pour des efforts de pêche plus élevés.
- L'hétérogénéité spatio-temporelle des densités, plus elle sera importante, plus il y aura risque de biais. Ce biais dépendra aussi de la fluidité ou de la viscosité de la ressource autour de ces strates temporaires de forte concentration des thons (en général des zones riches en nourriture ou des zones de reproduction).

- L'efficacité de la flottille à concentrer son effort de pêche dans ces zones de forte abondance. Une flottille très mobile, capable de bien détecter toutes les concentrations, sera susceptible d'entraîner le biais le plus sérieux dans la relation PUE-abondance (en comparaison d'un effort de pêche qui s'exercerait aléatoirement au sein de la zone de pêche et sans se regrouper dans les zones de fortes densités).

La tendance sans doute universelle des flottilles thonières à accroître leur effort et leur efficacité fait logiquement de ce biais un problème de plus en plus important.

3.3.2 Modélisation de la relation locale PUE-abondance : illustration par une simulation

Un très simple modèle, SIMBOIT, permet de simuler une biomasse locale isolée qui est exploitée journalièrement pendant une courte durée (par exemple durant 30 jours) par une pêcherie d'effort de pêche faible ou fort. Durant cette brève période, la mortalité naturelle est négligeable. Les rendements journaliers de chaque bateau sont, par hypothèse, proportionnels à la biomasse locale instantanée. La biomasse locale et les PUE tendent à diminuer journalièrement en proportion des captures, et donc de l'effort de pêche local. Dans le modèle, l'effort de pêche reste actif et constant tant que les rendements locaux restent supérieurs en moyenne au seuil « PUE min » de rentabilité de l'engin.

Diverses simulations simples ont été réalisées avec ce modèle, dans le but d'aider à mieux comprendre l'importance potentielle de ces taux d'exploitation locaux plus ou moins élevés (fig. 14) :

- La première simulation part d'une biomasse locale importante de 10 000 tonnes (une telle biomasse est parfois capturée en un mois dans un carré de 5 degrés). La capturabilité locale de la pêcherie est telle que le premier bateau actif sur cette fraction de stock capture 5 tonnes par jour (t/j). En un mois, cette unité de pêche, pêchant seule, capturera 150 tonnes, ceci sans provoquer de baisse significative de l'abondance, ni donc des rendements.
- Si le seuil de rentabilité est inférieur (par exemple 1 t/j, cas d'une espèce à forte valeur marchande), la même flottille de 75 unités peut alors exploiter rentablement les bas niveaux d'abondance, soit pendant 31 jours, et capturer 6700 tonnes (avec un rendement mensuel moyen de 2,9 t/j).
- Si un effort de pêche encore plus élevé est exercé, par exemple 150 unités de pêche, l'exploitation capture 8100 tonnes (81 % de la biomasse) en 22 jours avec un rendement moyen de 2,4 t/j.

Ces simulations montrent qu'un l'effort local plus ou moins important peut entraîner des biais sérieux dans la relation PUE-abondance. Ainsi, dans l'hypothèse très vraisemblable où la pêche thonière est susceptible d'exercer localement et temporairement des taux d'exploitation importants, la PUE de la flottille ne mesure plus l'abondance initiale des thons dans la strate (comme dans le cas « classique » d'un effort de pêche ne diminuant pas significativement l'abondance locale). Ce biais dans la relation PUE-abondance est d'autant plus fort que l'effort de pêche local

est élevé. Le biais est lui-même fonction du seuil de rentabilité de la pêcherie et de la valeur de l'espèce cible. Dans le cas d'une espèce de forte valeur marchande, exploitable de manière rentable à des bas niveaux de PUE par une flottille économiquement efficace, ce biais peut être particulièrement important, car il tend à produire dans toutes les strates des PUE relativement homogènes (selon le seuil de rentabilité des PUE), et ceci indépendamment des biomasses locales réelles (fig. 15).

3.3.3 Quelques éléments sur la réalité du phénomène

3.3.3.1 Comparaisons zonales : cartes de prises et de PUE

En théorie, les données et les cartes de PUE donnent une représentation de l'hétérogénéité spatiale des abondances. Au contraire, les cartes de prises, qui sont largement conditionnées par l'effort de pêche des flottilles, ne fournissent en principe pas une représentation de la distribution géographique des biomasses. Paradoxalement, ceci semble rarement être le cas pour les thons : tant pour les pêches de surface (fig. 16) que pour celles à la palangre (fig. 17), la comparaison des cartes de prises et de PUE moyennes laisse à penser que les cartes de prises donnent le plus souvent une meilleure représentation de la distribution géographique des biomasses que celles des PUE. Il est par exemple très probable que les biomasses des thons tropicaux soient pour la plupart distribuées selon des bassins voisins de ceux proposés par MacCall, c'est-à-dire selon une typologie classique des cartes de prises. Les simulations précédentes (SIMBOIT) expliqueraient aisément une telle situation, les niveaux des PUE locales étant déterminés principalement par les niveaux des efforts de pêche exercés et par les seuils de rentabilité économique.

3.3.3.2 Comparaisons temporelles : analyse des prises, efforts et PUE

Pêcheries à la senne : la pêcherie du cap Lopez.

L'examen de l'évolution des prises, des efforts totaux et des PUE mensuelles des senneurs dans la zone du cap Lopez (exploitée en permanence de 1969 à 1993) permet de bien montrer que, de 1969 à 1977, les efforts mensuels exercés localement étaient bien inférieurs à ceux qui sont exercés actuellement; en corollaire, les PUE étaient alors souvent très fortes (fig. 18a). Malgré ces efforts modérés, les niveaux des prises mensuelles maximales dans le secteur étaient à peine inférieurs aux niveaux actuels (fig. 18b). Il semble donc que la biomasse disponible dans le secteur étudié ait été globalement stable de 1969 à 1993, comme l'indiquent les prises et non pas les PUE (schéma comparable aux résultats du modèle SIMBOIT).

Pêcheries palangrières : la pêcherie du golfe de Guinée.

L'analyse des prises d'albacore et de patudo, des PUE et des efforts mensuels des palangriers, par secteurs de 5° et mois, dans le secteur du golfe de Guinée (5°N à 5°S, 10°W à 10°E) durant la période 1957-1993, montre des résultats analogues à ceux des senneurs. La période initiale se caractérise par de faibles efforts et de fortes PUE, alors que la période récente se caractérise par de faibles PUE associées à des efforts élevés (fig. 19a). Par contre, on constate une stabilité globale des prises totales mensuelles par 5° (fig. 19b).

3.3.3.3 Analyse de l'exploitation de concentrations : les senneurs du golfe de Guinée

Les analyses de l'exploitation de concentrations d'albacores et de listaos par les senneurs du golfe de Guinée, réalisées par Fonteneau (1986) puis par Foucher (1994), montrent bien que les strates de forte abondance en thons font en général l'objet d'un effort de pêche localement et temporairement très élevé, permettant rapidement de fortes captures, et qui est susceptible d'épuiser en quelques jours ou semaines la ressource présente localement.

3.3.3.4 Pêcheries insulaires : listaos des îles Canaries

Les taux de recapture en général très élevés dans cette pêcherie suggèrent fortement que la fraction de stock de listaos résidante dans la zone des Canaries durant l'été y serait fortement exploitée. Si tel est le cas, on disposerait aux îles Canaries d'un bon site pour tester le mécanisme sous-jacent à SIMBOIT; la PUE annuelle serait ici très variable, à biomasse initiale identique, car essentiellement fonction de l'effort de pêche et des captures réalisées localement.

3.4 Conclusion

En conclusion, le fait que les estimations de l'abondance proviennent exclusivement de pêcheries pose de multiples problèmes. Seuls certains ont été examinés ici, mais leurs conséquences potentielles doivent inciter à beaucoup de prudence dans l'interprétation et l'utilisation des données. Si on dispose aisément d'indices d'abondance calculés à partir des prises et des efforts de pêche, les multiples biais susceptibles d'exister dans la relation prise-effort de pêche rendent le plus souvent difficile l'interprétation de ces indices. Il en résulte une fréquente impossibilité d'estimer l'effort de pêche effectif exercé sur les divers stocks. Des recherches accrues visant à analyser, et si possible à corriger les biais, seraient donc très souhaitables, étant entendu que les données de prise et d'effort resteront encore probablement pendant longtemps la principale source d'indices d'abondance pour les thons.

4. QUELQUES CONSIDÉRATIONS SUR LES MÉTHODES D'ANALYSE DE L'ÉTAT DES STOCKS DE THONS

Les méthodes d'évaluation des ressources employées par le SCRS depuis 25 ans sont globalement les méthodes standard de dynamique des populations, mises au point principalement pour la gestion des ressources démersales. Ces méthodes ont par ailleurs largement évolué au fil des années, devenant en général de plus en plus complexes (tant dans leurs hypothèses que dans les méthodes de calcul), afin de permettre un diagnostic plus réaliste. Les objectifs actuels sont d'estimer, par des méthodes statistiques *ad hoc*, les incertitudes sur les paramètres estimés par ces modèles, puis de réaliser des projections fiables en fonction de scénarios de gestion.

L'application aux thons de ces méthodes, traditionnelles ou nouvelles, mérite toutefois une réflexion critique de fond. On doit en particulier se poser la question des incertitudes réelles sur les diagnostics issus des modèles. Il est par exemple clair, en comparant les rapports du SCRS d'une