

Analyse de l'évolution des puissances de pêche par l'analyse des cohortes : application aux senneurs exploitant l'albacore (*Thunnus albacares*) dans l'Atlantique Est

Didier Gascuel ⁽¹⁾, Alain Fonteneau ⁽²⁾ et Eric Foucher ⁽²⁾

⁽¹⁾ ENSAR|ORSTOM|CRODT, Département Halieutique, 65 route de St-Brieuc, 35042 Rennes cedex, France.

⁽²⁾ ORSTOM|CRODT, B.P. 1386, Dakar, Sénégal.

Reçu le 24 juillet 1992; accepté le 29 janvier 1993.

Analysis of fishing power evolution using Virtual Population Analysis: the case of purse seiners exploiting yellowfin (*Thunnus albacares*) in the Eastern Atlantic.

Gascuel D., A. Fonteneau, E. Foucher. *Aquat. Living Resour.*, 1993, 6, 15-30.

Abstract

An adjusting method for Virtual Population Analysis, which combines backward and forward calculations, is presented. It allows an analysis of the fishing power trends by age and by fleet based on the matrix of nominal catchabilities. The method is applied to the two main fleets exploiting yellowfin tuna in the Eastern Atlantic from 1980 to 1990: the Franco-Ivoir-Sénégalaise (FIS) and the Spanish purse seiners. Using a generalized linear model, the overall fishing powers are decomposed in two terms: local fishing powers and overall fishing abilities. The trend evolution of the three variables – overall fishing powers, local fishing powers and overall fishing abilities – by age categories or on average, are analysed calculating yearly rates of increase over periods of several years. Changes in fishing tactics are studied based on the correlations between residual fishing powers corresponding to various age groups.

The results show low sensibility to the parameters introduced for VPA adjustment. Over the whole decade, an increase of overall fishing powers is shown, with estimated increase rates of 17% and 9% per year for the FIS and Spanish fleets respectively. This is related to a strong increase of overall fishing powers on adults, while those applied to juveniles seem to decrease. Changes in overall abilities are of major importance in the case of the FIS seiners. Three standard schemes of evolution, which express various fishing strategies between fleets and periods of time, are defined. The influence of changes in the fishing tactics is pointed out. Some reasons which could explain those variations of fishing powers are discussed, as well as, more generally, the potentialities and limits of the analysis methods used.

Keywords: Virtual population analysis, fishing powers, fishing ability, fishing tactic, yellowfin, Eastern Atlantic, purse seiners.

Résumé

Une méthode d'ajustement de l'analyse des cohortes, combinant calcul en mode inverse et calcul en mode direct, est présentée; elle permet d'analyser l'évolution des puissances de pêche par flottille et par âge, à partir de la matrice des capturabilités nominales. La méthode est appliquée aux deux principales flottilles exploitant l'albacore dans l'Atlantique Est, entre 1980 et 1990 : les senneurs franco-ivoiro-sénégalais (FIS) et les senneurs espagnols. À l'aide d'un modèle linéaire généralisé, les puissances de pêche globales sont décomposées en deux termes : puissances locales et efficacités globales. Les évolutions tendancielle des trois grandeurs, puissances globales, puissances locales et efficacités globales, par catégorie d'âge ou en moyennes, sont analysées en calculant des taux d'accroissement

inter-annuels sur des intervalles pluriannuels. Les changements de tactiques de pêche sont étudiés au travers des corrélations entre puissances de pêche résiduelles appliquées à des groupes d'âge différents.

Les résultats obtenus sont peu sensibles aux paramètres introduits lors de l'ajustement de l'analyse des cohortes. Sur l'ensemble de la décennie, un accroissement des puissances de pêche globales moyennes est mis en évidence, avec un taux estimé à 17 et 9 % par an pour chacune des flottilles FIS et espagnole respectivement. Cet accroissement est lié à une forte augmentation des puissances de pêche globales appliquées aux adultes, alors que celles appliquées aux juvéniles semblent en diminution. Les changements de l'efficiencce de pêche globale jouent un rôle essentiel dans le cas de la flottille FIS. Trois schémas type d'évolution, traduisant des stratégies de pêche différentes entre flottilles et entre périodes, sont définis; l'impact des changements de tactique de pêche est souligné. Les raisons susceptibles d'expliquer les variations des puissances de pêche sont discutées, ainsi, plus généralement, que les potentialités et limites de la méthode d'analyse utilisée.

Mots-clés : Analyse des cohortes, puissances de pêche, efficiencce, tactiques de pêche, albacore, Atlantique Est, senneurs.

INTRODUCTION

La quantification d'un effort de pêche effectif, mesurant la pression réelle exercée par une pêcherie sur un stock, est généralement un préalable à l'ajustement des modèles de dynamique des populations halieutiques. Dans les cas les plus simples, l'effort de pêche nominal, qui mesure la quantité de travail développée par la pêcherie (Laurec et Le Guen, 1981), peut raisonnablement être considéré comme étant directement proportionnel à la mortalité par pêche engendrée (Gulland, 1969). Dans les cas plus complexes, en particulier lorsque la flottille comporte plusieurs engins de pêche et des navires de caractéristiques hétérogènes et variables dans le temps, on recourt à la notion de puissance de pêche (Gulland, 1956; Beverton et Holt, 1957). La puissance de pêche relative de chaque navire (ou groupe de navires) est alors définie par référence à un standard (navire ou groupe de navires) dont la puissance peut être supposée constante dans le temps. Les puissances de pêche ainsi définies, qualifiées de puissances globales (Laurec, 1977), se déduisent des prises par unité d'effort de pêche (PUE) des différents navires considérés. Elles permettent d'exprimer l'effort de pêche effectif en unités d'effort de pêche standardisées.

Dans le cas des pêcheries océaniques de grands pélagiques, deux types de facteurs compliquent la quantification de l'effort effectif. D'une part, les navires consacrent une partie essentielle de leur activité à la recherche du poisson. L'efficacité réelle de cette recherche dépend fortement de facteurs technologiques et humains éminemment variables. Le choix d'un standard, dont l'efficacité serait supposée constante, s'avère alors impossible. D'autre part, les pêcheries exploitent plusieurs espèces et plusieurs groupes d'âge correspondant à des catégories commerciales différentes. Volontairement, les pêcheurs peuvent rechercher prioritairement certaines espèces ou certains groupes d'âge, variables d'une année à l'autre en fonction des prix du marché et de l'abondance des différentes

cohortes. Ces modifications de tactique de pêche se traduisent par des modifications des puissances de pêche. Pour une espèce donnée, la puissance de pêche globale, tous groupes d'âge confondus, est ainsi une combinaison des puissances appliquées à chaque groupe d'âge. Ce sont ces dernières qui doivent pouvoir être quantifiées.

L'exploitation de l'albacore (*Thunnus albacares*) dans l'Atlantique Est constitue une bonne illustration des difficultés que présente, pour de telles pêcheries, la quantification de l'effort de pêche effectif. Des variations de puissances de pêche apparaissent dans ce cas hautement probables (Fonteneau, 1988; Fonteneau et Pallarès, 1991). Jusqu'à présent elles n'ont pu cependant être quantifiées. Il s'ensuit une forte incertitude sur la fiabilité des diagnostics concernant l'état du stock. Le diagnostic actuel indique ainsi une situation de légère sous-exploitation avec un effort de pêche légèrement inférieur au f_{MSY} (Anonyme, 1991). Par suite d'une sous-estimation de l'effort effectif des dernières années, ce diagnostic pourrait masquer en réalité une situation de sur-exploitation sensible (Fonteneau, 1991 *b*; Fonteneau et Pallarès, 1991).

En l'absence d'évaluations directes de l'abondance du stock, c'est-à-dire lorsque les seules données disponibles proviennent des statistiques de capture, l'analyse des puissances de pêche ne peut être abordée qu'à partir d'une comparaison directe entre les mortalités par pêche et les efforts de pêche nominaux (Laurec et Le Guen, 1981). Théoriquement, l'analyse des cohortes (Gulland, 1965) permet l'estimation des mortalités par pêche requises pour une telle étude. Dans la pratique, l'ajustement de l'analyse des cohortes pose cependant problème.

Très généralement l'ajustement est conduit en mode inverse (ou analyse ascendante). Les calculs sont notamment initialisés par des estimations de mortalité par pêche à chaque âge pour la dernière année. Dans ce cas, l'analyse n'apporte pas, en elle-même, d'information sur les mortalités des années les plus récentes (Pope et Shepherd, 1982). Les procédures usuelles

d'ajustement itératif ou « tuning » ne peuvent pas être mises en œuvre ici. Elles s'appuient en effet sur l'hypothèse d'une évolution régulière ou d'une absence d'évolution des puissances de pêche (Pope et Shepherd, 1985); elles ne permettent donc pas de prendre en compte la forte variabilité potentielle des profils de mortalités par pêche (« fishing pattern »).

L'analyse des cohortes peut également être conduite en mode direct (ou analyse descendante). Dans ce cas, elle est généralement initialisée par un effectif au recrutement. Par suite de la très forte sensibilité des résultats à la valeur introduite pour le recrutement (Pope, 1972), cette démarche conduit cependant à une incertitude importante concernant les résultats de chacune des années.

On propose ici une méthode d'ajustement de l'analyse des cohortes qui combine calcul en mode inverse et calcul en mode direct. Cette méthode, dont les potentialités et limites seront discutées, permet de s'affranchir de certaines des hypothèses admises dans les méthodes usuelles de « tuning ». Elle est utilisée pour analyser les évolutions de puissances de pêche par flottille et par âge, au cours de la période récente. Elle est appliquée, pour la période 1980 à 1990, aux deux principales flottilles exploitant l'albacore dans l'Atlantique Est: les senneurs dits FIS (franco-ivoiro-sénégalais) et les senneurs espagnols.

Au sein des évolutions des puissances de pêche globales, on cherchera d'abord à mettre en évidence les tendances intervenant à l'échelle de quelques années. On quantifiera ensuite l'importance respective de deux aspects distincts: la puissance locale et la « capacité stratégique » ou efficacité de pêche de chaque flottille. On analysera enfin les changements de tactique de pêche correspondant à des phénomènes de report de l'effort effectif d'un groupe d'âge à un autre.

DONNÉES ET MÉTHODES

Ajustement de l'analyse des cohortes

L'analyse des cohortes est ajustée en mode inverse dans le cas des cohortes pleinement exploitées, c'est-à-dire les cohortes les plus anciennes. L'analyse est ainsi initialisée à partir d'une valeur de mortalité par pêche terminale, ou mortalité de dernier âge, pour chacune des années prise en compte, soit: $F_{t,y} = q_{t,y} \cdot f_y$ (cf. notations *tabl. 1*). Par hypothèse, on considère que les capturabilités $q_{t,y}$ suivent dans le temps une évolution régulière selon une courbe exponentielle. Cette hypothèse ne concerne donc ici que le groupe d'âge terminal. Elle implique que les capturabilités de ce groupe croissent ou décroissent chaque année d'un pourcentage α_t constant d'année en année. Dès lors, la série des $F_{t,y}$ peut être déterminée par trois grandeurs: la série des efforts de pêche f_y qui est supposée connue, le paramètre α_t et une valeur

de mortalité terminale moyenne $F_{t,m}$, calculée sur l'ensemble des années prises en compte dans l'analyse.

Les paramètres α_t et $F_{t,m}$ sont déterminés en analysant la corrélation entre les recrutements R_y estimés par l'analyse des cohortes, d'une part, et un indice de recrutement IR_y calculé de manière indépendante, d'autre part. A chaque couple de valeur (α_t ; $F_{t,m}$) est ainsi associée une série de recrutements estimés R_y . La maximisation du coefficient de corrélation linéaire, entre cette série et celle des indices IR_y , constitue le critère de choix d'un couple (α_t ; $F_{t,m}$) « optimal ».

Les indices de recrutement IR_y sont estimés par la méthode de Laurec et Fonteneau (1979) qui s'appuie sur une modélisation linéaire généralisée des PUE calculées à l'âge de recrutement, par flottille, année et trimestre. Cet indice est susceptible d'être biaisé par une éventuelle dérive des puissances de pêche appliquées à cet âge. Des indices corrigés sont établis, sous l'hypothèse que cette dérive suit une courbe exponentielle selon un taux d'accroissement inter-annuel α_R .

Cette première approche peut être complétée par une seconde. Celle-ci consiste à poser comme hypothèse que le taux d'accroissement inter-annuel des capturabilités est égal pour les deux derniers groupes d'âge. Pour chaque niveau de mortalité $F_{t,m}$ envisagé, on recherche la valeur α_t unique qui respecte l'égalité $\alpha_t = \alpha_{t-1}$. Compte tenu de la gamme de valeurs qu'il est raisonnable d'envisager pour le paramètre $F_{t,m}$, cette approche permet de préciser les valeurs admissibles pour le paramètre α_t .

Dans le cas des cohortes les plus récentes, qui n'ont pas encore atteint l'âge terminal lors de la dernière année d'exploitation, l'analyse est conduite en mode direct, en introduisant pour chaque cohorte un effectif au recrutement R_y . Connaissant les indices de recrutement IR_y de la période récente, cet effectif R_y est estimé à partir de la régression entre R_y et IR_y établie pour les cohortes pleinement recrutées.

La sensibilité des estimations aux paramètres d'ajustement de l'analyse des cohortes est, en outre, analysée. On étudie ainsi l'influence des trois paramètres α_R , α_t et $F_{t,m}$ sur les recrutements estimés pour la période récente, d'une part, et sur les résultats finaux, c'est-à-dire les puissances de pêche par flottille et catégorie d'âge, d'autre part.

Analyse des puissances de pêche

La notion de puissance de pêche globale (notée P_g) recouvre deux aspects différents (Laurec, 1977). Le premier, dénommé puissance locale (PI), correspond à la capacité des navires à capturer le poisson dans une zone et à un moment donné; comme le souligne Laurec (1977), c'est à cette notion que se réfère la méthode de Robson (1966) communément utilisée pour l'estimation des puissances de pêche. Le second correspond à la capacité des navires à choisir les périodes et les zones de pêche favorables; il est qualifié

Tableau 1. – Définition des notations utilisées.*Definition of notations used.*

Indices		
<i>a</i>	Indice de groupe d'âge	<i>Index of age group</i>
<i>t</i>	Indice désignant le groupe d'âge terminal	<i>Index indicating oldest (terminal) age group</i>
<i>y</i>	Indice d'année	<i>Index of year</i>
<i>m</i>	Indice désignant la moyenne des années de la période considérée	<i>Index indicating average over all years of the period</i>
<i>s</i>	Indice de saison (trimestre)	<i>Index of season (quarter)</i>
<i>h</i>	Indice de flottille	<i>Index of fleet</i>
<i>z</i>	Indice de zone géographique	<i>Index of area</i>
Variables		
<i>R</i>	Recrutement (en nombre) estimé par l'analyse des cohortes	<i>Recruitment estimated by Virtual Population Analysis</i>
<i>IR</i>	Indice d'abondance du recrutement (<i>IR 1, IR 2, IR 3 cf. texte</i>)	<i>Index of recruitment (IR 1, IR 2, IR 3 see text)</i>
<i>C</i>	Captures en nombre	<i>Number of fish catch</i>
<i>f</i>	Effort de pêche nominal	<i>Nominal fishing effort</i>
<i>F</i>	Taux instantané de mortalité par pêche	<i>Fishing mortality rate</i>
<i>q</i>	Coefficient de capturabilité	<i>Catchability</i>
<i>d</i>	Coefficient de disponibilité	<i>Accessibility</i>
<i>Pg</i>	Puissance de pêche globale	<i>Overall fishing power</i>
α	Taux d'accroissement inter-annuel des puissances de pêche globales	<i>Yearly increase rate of overall fishing power</i>
<i>RPg</i>	Puissance de pêche globale résiduelle, après extraction d'une tendance	<i>Residual values of overall fishing power obtained after trend removal</i>
<i>Pl</i>	Puissance de pêche locale	<i>Local fishing power</i>
β	Taux d'accroissement inter-annuel des puissances de pêche locales	<i>Yearly increase rate of local fishing power</i>
<i>RPl</i>	Puissance de pêche locale résiduelle, après extraction d'une tendance	<i>Residual values of local fishing power obtained after trend removal</i>
φg	Efficacité de pêche globale	<i>Overall fishing ability</i>
γ	Taux d'accroissement inter-annuel des efficacités de pêche globales	<i>Yearly increase rate of fishing ability</i>

de «capacité stratégique» ou d'efficacité de pêche (Laurec et Le Guen, 1981). Dans le cas d'une ressource répartie de manière très hétérogène dans l'espace, en particulier pour une espèce vivant en bancs, la puissance de pêche locale *Pl* intègre la capacité de la flottille à repérer les bancs ou concentrations au sein d'une zone géographique donnée; c'est ce qu'on pourrait qualifier d'efficacité locale. A l'inverse, elle ne tient pas compte de la capacité de la flottille à choisir les zones géographiques et les saisons de pêche sur une grande échelle. Cette capacité sera ici qualifiée d'efficacité globale (φg).

Puissances de pêche globales

Connaissant la matrice des mortalités $F_{a,y,h}$ issue de l'analyse des cohortes et les efforts de pêche

annuels $f_{y,h}$, on en déduit les capturabilités par âge, année et flottille. Soit :

$$q_{a,y,h} = \frac{F_{a,y,h}}{f_{y,h}} \quad (1)$$

L'effort de pêche $f_{y,h}$ est ici un effort nominal. La capturabilité est donc prise dans un sens large; elle regroupe un terme de disponibilité, lié à la biologie, à l'écologie et au comportement de l'espèce (Laurec et Le Guen, 1981), et un terme lié à la capacité des flottilles à capturer le poisson disponible (Chadwick et O'Boyle, 1990). Ce second terme correspond à la puissance globale. Sous l'hypothèse, *a priori* raisonnable dans de nombreux cas, que la disponibilité du stock fluctue sans tendance, les variations de capturabilité observées à l'échelle de quelques années sont directement interprétées comme des variations de puissance de pêche.

Des taux d'accroissement inter-annuels des puissances de pêche globales par âge et flottille sont calculés par régression exponentielle entre capturabilités et années. Le taux d'accroissement $\alpha_{a,h}$ se déduit ainsi du paramètre *b* de la régression :

$$q_{a,y+i,h} = q_{a,y,h} \cdot \exp(b \cdot i),$$

$$\alpha_{a,h} = \exp(b) - 1.$$

Il permet d'exprimer l'évolution inter-annuelle moyenne de la puissance de pêche comme suit :

$$Pg_{a,y+1,h} = Pg_{a,y,h} \cdot (1 + \alpha_{a,h}). \quad (2)$$

Les évolutions de la puissance de pêche globale, tous groupes d'âges confondus, sont analysées à partir des capturabilités moyennes entre les différents âges. Le choix le plus judicieux semble ici de calculer une moyenne pondérée par le poids des captures de chaque groupe d'âge.

Puissances de pêche locales et efficacités globales

A l'issue d'une analyse des cohortes conduite sur une base de temps saisonnière, les capturabilités sont calculées par âge, année, saison, flottille et zone géographique. Soit :

$$q_{a,y,s,h,z} = F_{a,y,s} \cdot \frac{C_{a,y,s,h,z}}{C_{a,y,s}} \cdot \frac{1}{f_{y,s,h,z}} \quad (3)$$

Pour chaque groupe d'âge, l'ajustement d'un modèle linéaire généralisé conduit à estimer deux termes, soit :

$$q_{a,y,s,h,z} = d_{a,s,z} \cdot Pl_{a,y,h} \cdot \varepsilon_{a,y,s,h,z}$$

Le terme $\varepsilon_{a,y,s,h,z}$ est un résidu inexplicé. Le terme $d_{a,s,z}$ est commun aux différentes années et flottilles; il peut être interprété comme une disponibilité moyenne du groupe d'âge par saison et zone. Le terme $Pl_{a,y,h}$ dépend d'une disponibilité annuelle moyenne du groupe d'âge considéré, à l'échelle de l'ensemble des zones. Comme précédemment, on suppose cependant que cette disponibilité fluctue sans

tendance. Les évolutions du terme $Pl_{a,y,h}$ sur plusieurs années sont ainsi interprétées comme des variations de puissance locale par âge et par flottille. On calcule ensuite une puissance locale moyenne tous groupes d'âges confondus. On estime par régression exponentielle des taux $\beta_{a,h}$ d'accroissement inter-annuels des puissances de pêches locales, par flottille et par âge ou moyennes.

L'efficacité globale ϕg s'exprime comme le rapport entre puissance globale Pg et puissance locale Pl . Par suite, on démontre aisément que le taux d'accroissement de l'efficacité globale, pour une flottille et un âge donnés, est:

$$\gamma_{a,h} = (\alpha_{a,h} - \beta_{a,h}) / (1 + \beta_{a,h}). \quad (4)$$

Variations des tactiques de pêche

Des séries de capturabilités annuelles par âge $q_{a,y,h}$, on extrait: d'une part, une tendance exponentielle qui traduit l'accroissement des puissances globales précédemment analysé, et, d'autre part, un résidu multiplicatif. Les variations de tactique de pêche, correspondant au report de l'effort effectif d'un groupe d'âge à un autre, sont mises en évidence en recherchant les corrélations significatives et négatives entre les séries annuelles de résidus obtenus pour les différents âges. On analyse dans quelle mesure ces variations sont liées au facteur puissance locale et/ou au facteur efficacité globale en étudiant de la même manière les séries de puissances locales $Pl_{a,y,h}$. On notera que l'analyse présentée ici ne prend en compte que la principale espèce capturée. Des variations de tactiques de pêche se traduisant par des changements d'espèces cibles pourraient être mises en évidence de la même façon, à partir des puissances de pêche estimées par espèce.

Application à l'exploitation de l'albacore dans l'Atlantique Est

Bien que des données récentes semblent indiquer l'existence d'échanges non négligeables avec l'Atlantique Ouest (Anonyme, 1991; Bard et Scott, 1991; Fonteneau, 1992), on s'en tiendra ici à l'hypothèse classique d'un stock unitaire d'albacores dans l'Atlantique Est (Anonyme, 1984). Les statistiques d'effort de pêche nominal, de captures pondérales et de captures numériques totales ou par classe de taille sont établies pour chacune des flottilles exploitant ce stock, par mois et par carré géographique de 5° de latitude et longitude de côté. Elles sont disponibles depuis l'origine de la pêcherie dans les années 50 et jusqu'en 1990 (sources: Centre de Recherches Océanographiques de Dakar Thiaroye (CRODT) et «International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas» (ICCAT)). Leur fiabilité est particulièrement bonne depuis 1980 (Fonteneau, 1989).

Les captures en taille sont converties en captures par groupe d'âge au moyen de clés taille/âge mensuelles corrigées chaque année en fonction de l'abondance des cohortes (Gascuel, 1993). L'analyse des cohortes est conduite toutes flottilles confondues, sur une base trimestrielle et pour 6 groupes d'âge de 0 à 5+. La mortalité naturelle M retenue par hypothèse est celle adoptée par les groupes de travail de l'ICCAT, soit 0,8 pour les deux premiers groupes d'âge et 0,6 pour les suivants (Anonyme, 1984). L'analyse est conduite en mode inverse pour les cohortes antérieures à 1985. Les différentes séries de mortalités $F_{t,y}$ utilisées correspondent aux paramètres suivants:

- un effort de pêche f_y égal au nombre d'heures de pêche des flottilles de senneurs FIS et espagnols au quatrième trimestre de chaque année (correspondant au groupe d'âge trimestriel terminal); ces deux flottilles sont alors responsables d'environ 90 % des captures d'albacores du groupe 5+;

- un taux d'accroissement inter-annuel des puissances de pêche terminales α_t variant de 0 à 15 %, par pas de 5 %;

- une mortalité par pêche terminale moyenne $F_{t,m}$ comprise entre 0,02 et 1,00.

Trois séries d'indices de recrutement sont estimées à partir des prises par unité d'effort (PUE) établies à l'âge 1 an, dans cinq zones côtières (on s'appuie ici sur le découpage de l'Atlantique Est en 12 zones de conditions hydro-climatiques homogènes; in Fonteneau et Marcille, 1988):

- la série notée $IR 1_y$ est estimée à partir des captures des senneurs FIS et espagnols entre 1980 et 1990; elle correspond aux recrutements à l'âge 0 de 1979 à 1989;

- la série $IR 2_y$ est identique à la précédente mais corrigée d'une dérive des puissances de pêche à l'âge 1 de: $\alpha_R = -5$ % par an; cette correction vise à rendre compte de l'hypothèse *a priori* plausible d'un report de l'effort de pêche effectif des petits albacores vers les gros;

- la série $IR 3_y$ est estimée entre 1967 et 1981; elle vise à analyser la corrélation entre R_y et IR_y sur une plus longue période. Dans les années 70 les statistiques de PUE par âge des senneurs espagnols ne sont pas disponibles. En revanche, il est alors possible de distinguer, au sein de la flottille FIS, deux types de senneurs, correspondant à des tailles de navires différentes.

Les recrutements des années 1986 à 1989 sont estimés à partir de la régression ajustée entre 1979 et 1985 entre les séries R_y et $IR 1_y$ ou $IR 2_y$. Le recrutement 1990, qui n'influe que de manière marginale sur les résultats finaux, est considéré égal au recrutement moyen des années précédentes. Ces recrutements sont utilisés pour initialiser l'analyse des cohortes 1986 à 1990.

Les capturabilités partielles sont calculées entre 1980 et 1990 pour les flottilles de senneurs FIS et espagnols qui débarquent de l'ordre de 70 % des captures totales. A partir des valeurs trimestrielles et par groupe d'âge annuel, on calcule des capturabilités annuelles moyennes par catégorie d'âge. Ces catégories correspondent à des groupements écologiques qui sont *a priori* susceptibles de définir les stratégies de pêche des flottilles: les juvéniles (âge 0 sauf trimestres 1 et 2 non recrutés, et âge 1), les pré-adultes (âges 2 et 3), et les adultes (âges 4 et 5⁺). En particulier, les juvéniles sont généralement capturés au sein de concentrations pluri-spécifiques de petits thonidés à dominance de listao (*Katsuwonus pelamis*).

Les taux d'accroissement inter-annuels des puissances de pêche globales sont calculés soit pour les 11 années de la période, soit pour des intervalles de temps inférieurs correspondant au début ou à la fin de la période. On analyse ainsi, d'une part, les changements de tendance dans l'évolution des puissances de pêche et, d'autre part, la sensibilité des résultats aux recrutements estimés pour les années récentes. Les puissances de pêche locales sont estimées par le modèle linéaire généralisé ajusté par la méthode des moindres carrés non pondérés (Laurec et Fonteneau, 1979) sur les capturabilités par âge calculées dans les 8 zones prospectées au cours des 4 trimestres par les 2 flottilles.

RÉSULTATS

Paramètres d'ajustement de l'analyse des cohortes

Les estimations de recrutements R_y peuvent être « bornées » en admettant par hypothèse, d'une part, une mortalité $F_{t,y}$ maximale et, d'autre part, un taux d'exploitation à l'âge 4⁺ minimal. Entre 1967 et 1985, soit sur une période de 19 ans, ces estimations présentent des fluctuations extrêmement cohérentes avec celles des différents indices IR_y (fig. 1). L'étude des corrélations linéaires entre les séries IR_{1y} ou IR_{2y} et les séries de recrutement R_y correspondant aux différentes valeurs de α_t et $F_{t,m}$ met en évidence quatre types de résultats (fig. 2a et b).

— Les corrélations R/IR ne sont pas significatives pour les niveaux de mortalités $F_{t,m}$ les plus faibles. A l'inverse, admettre des mortalités terminales élevées conduit à des corrélations significatives entre R_y et IR_{1y} (à 94 % de certitude) ou IR_{2y} (96 %). Ce résultat conduit à exclure la possibilité, en tout état de cause peu vraisemblable, d'un taux d'exploitation terminale très faible.

— Les courbes correspondant à un taux d'accroissement inter-annuel α_t de 10 ou 15 % passent par un maximum qui est peu marqué mais qui permet d'associer à chacun de ces taux une valeur $F_{t,m}$ « optimale ».

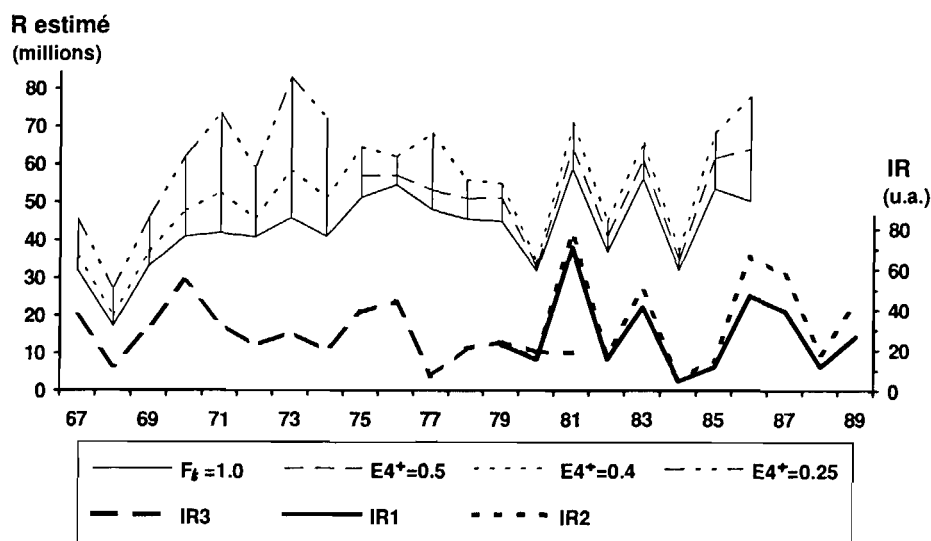


Figure 1. — Variabilité du recrutement de l'albacore dans l'Atlantique Est entre 1967 et 1989: évolution comparée des recrutements R estimés par l'analyse de cohortes et des indices de recrutement IR (unités arbitraires) estimés par le modèle linéaire généralisé. Les estimations de recrutement sont bornées par une valeur maximale de mortalité F_t appliquée au groupe d'âge terminal et par une valeur minimale du taux d'exploitation E_{4+} correspondant au groupe d'âge 4⁺. Les indices de recrutement IR_1 , IR_2 , IR_3 se rapportent à des séries de données et des hypothèses de base différentes (cf. texte).

Variability of the yellowfin tuna recruitment in the Eastern Atlantic between 1967 and 1989: comparative evolution of the recruitment estimated using Virtual Population Analysis and the recruitment indices (in arbitrary units) estimated using a generalized linear model. Estimations of recruitment are limited by a maximal value of mortality F_t applied to the terminal age group and by a minimal value of exploitation rate E_{4+} corresponding to the 4⁺ age group. The recruitment indices IR_1 , IR_2 , and IR_3 refer to various data series and hypotheses (see text).

— Pour des valeurs de $F_{t,m}$ inférieures à 0,3, les corrélations sont d'autant plus élevées que le taux α_t est lui-même élevé. Au delà de cette valeur, les corrélations sont maximales pour un taux α_t de 10 %.

— Enfin, les corrélations sont sensiblement plus fortes pour la série IR 2_y que pour la série IR 1_y. Pour autant, l'allure des courbes étant identique, ce résultat influe peu sur le choix des valeurs α_t et $F_{t,m}$.

L'analyse portant sur la période plus ancienne (série IR 3_y; fig. 2 c) confirme, par ailleurs, l'existence d'une corrélation significative (à 99 % de certitude) entre indices de recrutement et recrutements estimés par l'analyse des cohortes, pour les niveaux intermédiaires de mortalité terminale. Les valeurs élevées de mortalité $F_{t,m}$ peu probables dans la période 1967-1981 considérée, se traduisent ici par des corrélations R/IR non significatives.

L'hypothèse d'un taux d'accroissement α identique pour l'ensemble du groupe d'âge 4⁺ permet de montrer que le paramètre α_t est vraisemblablement compris entre 6 et 13 ou 14 % (fig. 3). Une mortalité terminale très élevée ($F_{t,m}=1,0$) conduit en effet à des valeurs de $\alpha_{4+}=\alpha_t$ supérieures à 6 %. Ce résultat confirme l'existence d'un accroissement des puissances de pêche concernant les adultes. A l'inverse, admettre des taux d'accroissement α_t supérieurs à 13 % conduit à admettre des mortalités $F_{t,m}$ très faibles. Celles-ci sont peu compatibles avec les caractéristiques de la pêcherie étudiée et se traduiraient, compte tenu des résultats précédents, par des corrélations R/IR non significatives. La valeur $\alpha_t=15\%$ n'est donc pas retenue pour les analyses ultérieures.

Par suite, les couples $\alpha_t=10\%$ et $F_{t,m}=0,12$ est, parmi les couples étudiés, celui qui maximise la corrélation R/IR 1 (fig. 2 a). Ces valeurs sont donc retenues comme valeurs de référence. Ce choix comporte indiscutablement une part d'arbitraire: d'une part, parce que la corrélation R/IR 2 conduirait à un choix

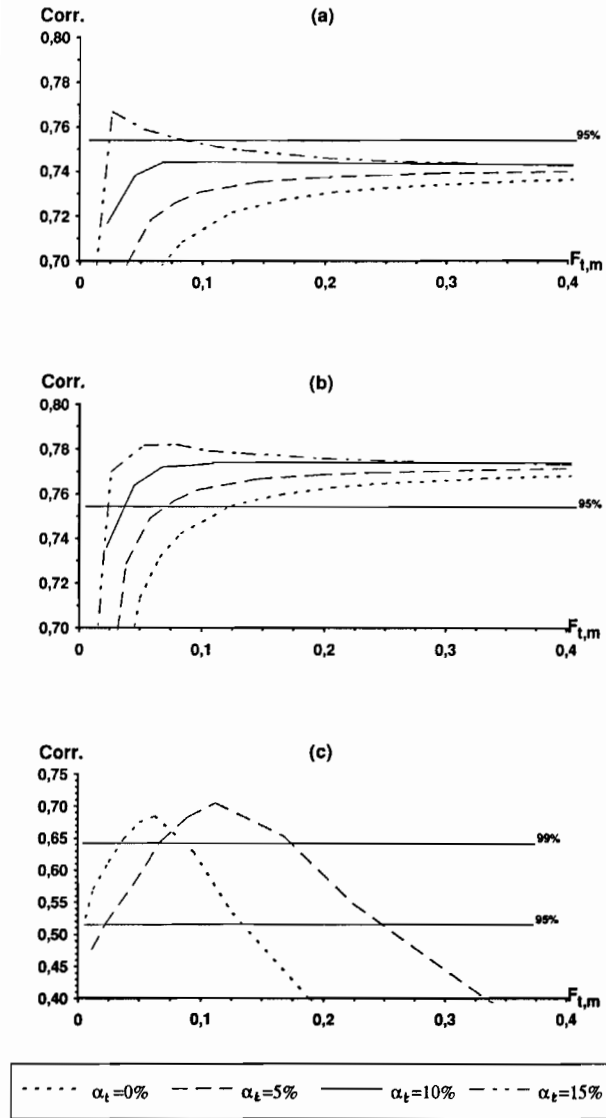


Figure 2. — Variations du coefficient de corrélation linéaire, calculé entre recrutements estimés par l'analyse des cohortes et indices de recrutement IR, en fonction des paramètres α_t , $F_{t,m}$ et α_R (cf. texte) utilisés lors de l'ajustement de l'analyse des cohortes. (a) Corrélation R/IR 1: période 1979-1985 avec $\alpha_R=0\%$; (b) corrélation R/IR 2: période 1979-1985 avec $\alpha_R=-5\%$; (c) corrélation R/IR 3: période 1967-1981 avec $\alpha_R=0\%$.

Variations of the correlation coefficient calculated between recruitments estimated by Virtual Population Analysis and recruitment indices IR, according to the α_t , $F_{t,m}$ and α_R parameters (see text) used for VPA adjustment. (a) R/IR 1 correlation: 1979-1985 period with $\alpha_R=0\%$; (b) R/IR 2 correlation: 1979-1985 period with $\alpha_R=-5\%$; (c) R/IR 3 correlation: 1967-1981 period with $\alpha_R=0\%$.

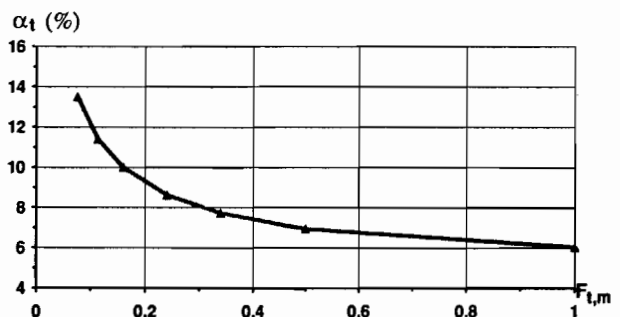


Figure 3. — Estimation du paramètre α_t (taux d'accroissement inter-annuel des puissances de pêche globales appliquées au groupe d'âge terminal) en fonction du paramètre $F_{t,m}$ (valeur moyenne de la mortalité par pêche du groupe terminal au cours de la période 1984-1990) sous l'hypothèse d'un taux d'accroissement des puissances de pêche globales identique pour l'ensemble du groupe d'âge 4⁺.

Estimation of the α_t parameter (yearly increase rate of overall fishing powers applied to the terminal age group) according to the $F_{t,m}$ parameter (average value of fishing mortality of the terminal age group over the 1984-1990 period) under the hypothesis of an identical increase rate of overall fishing power for all the 4⁺ age group.

légèrement différent ($\alpha_t = 10\%$ et $F_{t,m} = 0,24$), d'autre part et surtout, parce qu'une large gamme de valeurs α_t et $F_{t,m}$ se traduit par des corrélations R/IR presque identiques. Les études de sensibilité viseront à couvrir cette gamme de valeurs possibles, en envisageant les valeurs extrêmes de α_t de 5 et 15 % et des valeurs de $F_{t,m}$ variant de 0,08 à 0,9 (tabl. 2).

Les recrutements estimés entre 1979 et 1989 varient entre approximativement 30 et 70 millions d'individus à l'âge 0 (fig. 4). Ces estimations sont très peu sensibles au choix du paramètre α_t . Leur sensibilité au paramètre $F_{t,m}$ apparaît comparativement plus importante. Elle reste cependant relativement limitée : R varie de moins de 10 % pour une mortalité $F_{t,m}$ variant de 0,08 à 0,9. Enfin, l'hypothèse d'une diminution des puissances de pêche appliquées aux juvéniles, conduit à une modification sensible des recrutements estimés pour la période 1986 à 1989.

Évolution des puissances de pêche

Puissances globales

Sur l'ensemble de la période 1980-1990, les puissances de pêche globales moyennes (tous groupes d'âge confondus) se sont accrues de manière significative (à 95 % de certitude) pour les deux flottilles (fig. 5 a et tabl. 3). L'accroissement inter-annuel, calculé pour les valeurs α_t , $F_{t,m}$ et α_R de référence, est d'environ 9 % pour les senneurs espagnols et dépasse 17 % pour les senneurs FIS. Il représente un doublement de la puissance de pêche globale respectivement tous les

8 et tous les 5 ans. Cette croissance est liée à une augmentation très forte et hautement significative (à 99 % de certitude) des puissances de pêche globales

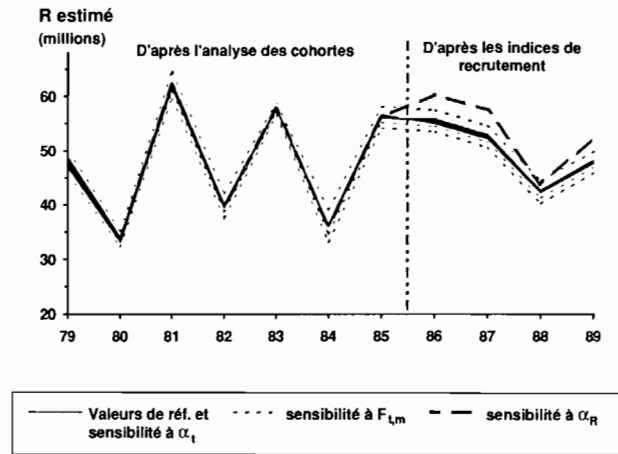


Figure 4. — Recrutements de l'albacore dans l'Atlantique Est estimés par la méthode d'ajustement de l'analyse des cohortes combinant calcul en mode inverse et calcul en mode direct : valeurs de référence (pour les paramètres α_t , $F_{t,m}$ et α_R de référence; cf. texte) et sensibilité des estimations aux paramètres α_t , $F_{t,m}$ et α_R utilisés lors de l'ajustement.

Yellowfin tuna recruitments in the Eastern Atlantic estimated by the adjusting method of Virtual Population Analysis combining backward and forward calculations: reference values (calculated using the α_t , $F_{t,m}$ and α_R reference parameters; see text) and sensibility of the estimations to the α_t , $F_{t,m}$ and α_R parameters used for adjustment.

Tableau 2. — Régressions linéaires entre les recrutements estimés par l'analyse des cohortes et les indices de recrutement calculés par la méthode de Laurec et Fonteneau (1979): coefficient de la corrélation, niveau de certitude (en %), et paramètres de la régression $R_y = a \cdot IR_y + b$ (pour un recrutement en milliers d'individus). Les lignes du tableau correspondent aux différentes valeurs des paramètres d'ajustement de l'analyse des cohortes (α_t , $F_{t,m}$ et α_R) pris en compte dans les études de sensibilité (voir texte).

Linear regressions between the recruitments estimated by Virtual Population Analysis and the recruitment indices calculated using Laurec and Fonteneau method (1979): correlation coefficient, significance level (in %), and parameters of the regression $R_y = a \cdot IR_y + b$ (for a recruitment in thousands). Table rows correspond to the various values of VPA parameters (α_t , $F_{t,m}$ et α_R) used for later sensibility studies (see text).

Paramètres d'ajustement de l'analyse des cohortes	Corrélation R_y/IR_y (¹)						
	α_t (%)	$F_{t,m}$	α_R (%)	Corr.	niv. certit.	a	b
Valeurs de référence	10	0,12	0	0,745	94,5	370	38 047
sensibilité à $F_{t,m}$	10	0,07	0	0,744	94,5	368	40 146
	10	0,24	0	0,744	94,5	374	36 989
	10	0,34	0	0,743	94,4	373	35 923
	10	0,90	0	0,742	94,3	374	35 254
sensibilité à α_t	5	0,12	0	0,733	94,0	365	38 077
	15	0,12	0	0,752	94,9	373	38 002
sensibilité à α_t et $F_{t,m}$	5	0,34	0	0,739	94,2	371	36 148
	15	0,07	0	0,756	95,0	373	41 686
sensibilité à α_R	10	0,12	-5	0,774	95,6	346	37 473

(¹) Corrélation calculée avec l'indice de recrutement IR 1 pour $\alpha_R = 0$ et avec l'indice de recrutement IR 2 pour $\alpha_R = -5\%$.
Correlation calculated with the recruitment index IR 1 for $\alpha_R = 0$ and with the recruitment index IR 2 for $\alpha_R = -5\%$.

appliquées aux adultes. Dans le même temps, les puissances de pêche concernant les juvéniles semblent en diminution, mais avec des évolutions qui ne sont pas significatives.

La sensibilité de ces estimations aux paramètres d'ajustement de l'analyse des cohortes est limitée (tabl. 3 b). Pour l'ensemble des combinaisons α_i , $F_{i,m}$ et α_R étudiées, les estimations des taux d'accroissement de la puissance globale moyenne varient entre 7 et 11 % pour les senneurs espagnols, et entre 16 et 20 % pour les senneurs FIS. De même, les résultats par catégorie d'âge sont peu modifiés. En particulier, on notera que l'introduction d'une valeur $\alpha_R = -5\%$ ne permet pas de mettre en évidence une décroissance significative des puissances développées par chacune des deux flottilles sur les juvéniles.

Plus généralement, l'ajustement de l'analyse des cohortes en mode direct, pour les cohortes récentes, conduit à des résultats cohérents avec ceux établis par l'analyse en mode inverse. Ainsi, la restriction de l'intervalle de temps sur lequel les taux d'accroissement sont estimés modifie les estimations, mais de manière contraire pour les deux flottilles (tabl. 3 a). Ces modifications traduiraient ainsi de réels changements de tendances, et non un biais lié aux estimations de recrutements introduits dans l'analyse des cohortes conduite en mode direct.

Puissances locales et efficacités globales : trois schémas d'évolution

L'augmentation des puissances de pêche globales, calculée entre 1980 et 1990, est essentiellement liée à une augmentation des puissances locales. Les taux annuels d'accroissement de ces dernières, toutes catégories d'âge confondues, sont de 7 et 15 % pour les flottilles espagnoles et FIS respectivement (fig. 5 b et tabl. 4). Dans le même temps, les efficacités globales varient peu. Ces résultats masquent cependant des évolutions qui diffèrent au cours de la période prise en compte. Les résultats établis sur des intervalles d'années inférieurs peuvent être présentés de manière synthétique en distinguant trois schémas type d'évolution, qui semblent relativement robustes aux valeurs des paramètres d'ajustement de l'analyse des cohortes (tabl. 5).

— Le premier schéma d'évolution correspond aux taux estimés pour la flottille FIS au cours de la période 1980-1988. Il est caractérisé par une augmentation de la puissance globale moyenne (+10 % par an), liée essentiellement à une augmentation de la puissance globale appliquée aux adultes (+16 %). Cette dernière augmentation est elle-même due, en majeure partie, à un accroissement de l'efficacité globale correspondante (+9 %). Ce schéma d'évolution

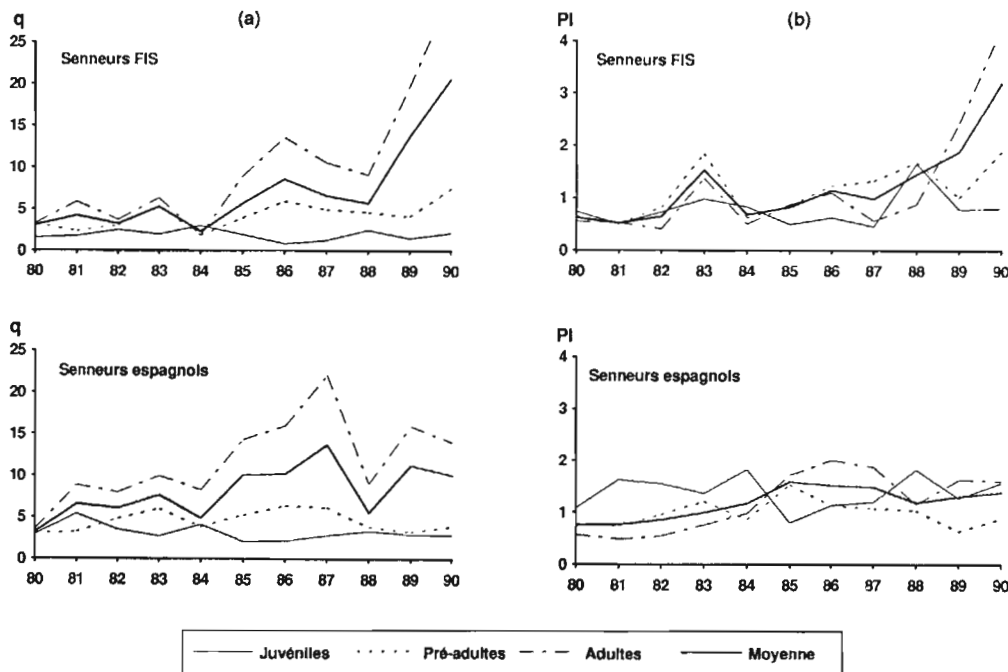


Figure 5. — Evolution des puissances de pêche globales et locales par flottille et par catégorie d'âge entre 1980 et 1990 (unités arbitraires): (a) capturabilités nominales (en moyennes annuelles) estimées par l'analyse des cohortes; (b) puissances de pêche locales estimées par modélisation linéaire des capturabilités par zone de pêche.

Evolution of overall and local fishing powers by fleet and by age category between 1980 and 1990 (arbitrary units): (a) nominal catchabilities (yearly average) estimated by Virtual Population Analysis; (b) local fishing powers estimated by a generalized linear model applied to catchabilities by fishing areas.

Tableau 3. - Taux d'accroissement inter-annuels des puissances de pêche globales par catégorie d'âge et par flottille. (a) Estimations pour différents intervalles de temps et pour les valeurs α_r , $F_{t,m}$ et α_R de référence (cf. texte): taux d'accroissement inter-annuels (en %); niveau de certitude de la régression entre capturabilités et années (entre parenthèses et en %); (b) Sensibilité des estimations (calculées sur la période 1980/1990) aux paramètres d'ajustement de l'analyse des cohortes: taux d'accroissement inter-annuels (en %) pour les différentes valeurs des paramètres $\alpha_i/F_{i,m}/\alpha_R$ (cf. tabl. 2). Les niveaux de certitude, très voisins entre lignes, ne sont pas indiqués ici.

Yearly increase rates of overall fishing powers by age category and by fleet. (a) Estimates for various periods of time and for the reference values of the parameters α_r , $F_{t,m}$ and α_R (see text): yearly rates of increase (in %); significance levels of the regression between catchabilities and years (between brackets and in %). (b) Sensibility of the estimations (calculated over the 1980-1990 period) to VPA adjustment parameters: rates of increase (in %) for the various values of parameters $\alpha_i/F_{i,m}/\alpha_R$ (see table 2). The significance levels, very close between rows, are not given here.

(a)	Senneurs franco-ivoiro-sénégalais				Senneurs espagnols			
	Juvé.n.	Pré-Ad.	Adultes	Moy.	Juvé.n.	Pré-Ad.	Adultes	Moy.
1980/1985	+7,1 (74)	+2,3 (17)	+6,2 (29)	+4,9 (38)	-7,7 (62)	+10,2 (86)	+22,0 (95,0)	+15,6 (77)
1980/1986	-5,3 (47)	+8,7 (66)	+17,1 (76)	+12,5 (82)	-9,1 (84)	+11,0 (95,9)	+21,8 (98,8)	+15,8 (95,8)
1980/1987	-6,4 (68)	+9,1 (82)	+17,9 (89)	+12,2 (91)	-6,9 (84)	+11,0 (95,9)	+21,8 (98,8)	+17,4 (99,2)
1980/1988	-2,3 (22)	+8,2 (87)	+15,8 (92)	+10,1 (94)	-4,4 (72)	+5,5 (85)	+14,7 (97,2)	+10,1 (90)
1980/1989	-2,8 (47)	+6,6 (87)	+18,7 (98,3)	+13,8 (98,7)	-3,5 (71)	+2,1 (46)	+13,4 (98,6)	+10,1 (96,0)
1980/1990	-1,3 (27)	+8,2 (96,5)	+21,9 (99,7)	+17,4 (99,8)	-3,0 (73)	+1,0 (27)	+11,4 (98,8)	+9,1 (97,5)
1985/1990					+7,9 (92)	-10,7 (92)	-2,8 (28)	-1,8 (17)
(b)								
10/0,12/0	-1,3	+8,2	+21,9	+17,4	-3,0	+1,0	+11,4	+9,1
10/0,07/0	-1,2	+8,9	+23,3	+17,6	-2,9	+1,6	+12,6	+9,2
10/0,24/0	-1,3	+7,8	+20,9	+17,2	-3,0	+0,6	+10,5	+8,9
10/0,34/0	-1,3	+7,3	+19,5	+17,0	-3,0	+0,2	+9,1	+8,7
10/0,90/0	-1,3	+6,9	+18,0	+16,8	-3,1	+0,0	+7,7	+8,5
5/0,12/0	-1,4	+7,6	+19,0	+15,7	-3,0	+0,5	+8,7	+7,4
15/0,12/0	-1,2	+8,7	+24,7	+19,0	-2,3	+1,4	+13,9	+10,6
5/0,34/0	-1,4	+7,1	+17,6	+15,6	-3,1	+0,1	+7,3	+7,3
15/0,07/0	-1,0	+10,3	+27,4	+19,8	-2,7	+2,8	+16,4	+11,0
10/0,12/-5	-2,4	+6,7	+20,5	+15,9	-3,9	-0,3	+9,9	+7,7

Tableau 4. - Taux d'accroissement inter-annuels des puissances de pêche locales (en %) par catégorie d'âge et par flottille, pour différents intervalles d'ajustement (entre parenthèses: niveaux de certitude en %).

Yearly increase rates of local fishing powers (in %) by age category and by fleet for various periods of time (significance levels in % between brackets).

	Senneurs franco-ivoiro-sénégalais				Senneurs espagnols			
	Juvé.n.	Pré-Ad.	Adultes	Moy.	Juvé.n.	Pré-Ad.	Adultes	Moy.
1980/1985	-0,4 (5)	+8,5 (49)	+10,4 (58)	+9,3 (62)	-3,5 (34)	+12,4 (93)	+25,4 (98,5)	+15,7 (99,7)
1980/1986	-1,4 (20)	+10,1 (72)	+12,6 (81)	+10,6 (82)	-3,8 (48)	+9,2 (94)	+27,8 (99,8)	+14,8 (99,9)
1980/1987	-4,2 (65)	+10,6 (86)	+6,4 (61)	+8,8 (86)	-3,2 (53)	+6,7 (93)	+25,5 (99,9)	+12,9 (99,9)
1980/1988	+3,3 (43)	+11,6 (95,3)	+6,3 (83)	+10,2 (96,0)	+0,1 (2)	+4,9 (89)	+18,8 (99,6)	+9,5 (99,0)
1980/1989	+2,9 (47)	+8,8 (93)	+11,9 (94)	+11,9 (99,2)	-0,2 (4)	+0,9 (24)	+16,5 (99,8)	+7,8 (99,5)
1980/1990	+2,6 (52)	+9,7 (99)	+17,4 (99)	+15,0 (99,9)	+0,6 (19)	+0,3 (10)	+14,4 (99,8)	+6,8 (99,7)
1985/1990					+12,6 (94)	-11,9 (96)	-4,1 (59)	-3,8 (86)

Tableau 5. — Schémas d'évolution des puissances de pêche des flottilles de senneurs franco-ivoiro-sénégalais (FIS) et espagnols, au cours de la période 1980-1990: taux d'accroissement inter-annuels (en %) des puissances de pêche globales (Pg), des puissances de pêche locales (Pl) et des efficacités de pêche globales (ϕg). Entre parenthèses: valeurs minimales et maximales de la puissance globale estimée avec les différents paramètres α_i , $F_{i,m}$ et α_R du tableau 2. Les évolutions significatives à plus de 90 % de certitude sont en gras; celles significatives entre 80 et 90 % de certitude en italiques; seule la tendance est indiquée, pour celles significatives à moins de 80 % de certitude.

Evolution schemes of fishing powers of the FIS and Spanish purse seiners during the 1980-1990 period: yearly increase rates (in %) of overall fishing powers (Pg), of local fishing powers (Pl) and of overall fishing abilities (ϕg). Between brackets: minimal and maximal values of overall fishing powers estimated using the various parameters α_i , $F_{i,m}$ and α_R of table 2. When significance levels of trends are above 90% values are in bold type; between 80 and 90% values are in italic type. Only the tendency is given, for significance levels less than 80%.

	Pg	Pl	ϕg
Schéma 1 (Senneurs FIS 1980/1988)			
Moyenne	+10 (+8/+13)	+10	0
Adultes	+16 (+13/+21)	+6	+9
Pré-adultes	+8 (+7/+11)	+12	-3
Juveniles	-	-	-
Schéma 2 (Senneurs espagnols 1980/1986)			
Moyenne	+16 (+14/+18)	+15	+1
Adultes	+22 (+17/+28)	+28	-5
Pré-adultes	+11 (+9/+14)	+9	+2
Juveniles	-9 (-9/-9)	-	-
Schéma 3 (Senneurs espagnols 1985/1990)			
Moyenne	-	-4	-
Adultes	-	-	-
Pré-adultes	-11 (-10/-14)	-12	+1
Juveniles	+8 (+6/+9)	+13	-4

semble traduire une stratégie de recherche toujours plus performante des zones riches en gros albacores. Une telle recherche s'effectue au détriment des petits et moyens albacores, aboutissant ainsi à une stagnation de l'efficacité globale moyenne. Elle n'exclut naturellement pas un accroissement de la puissance locale, perceptible pour les trois catégories d'âge et significatives pour les adultes et pré-adultes.

— Le second schéma d'évolution concerne la flottille espagnole en début de décennie. Il est caractérisé par une augmentation de la puissance globale calculée en valeur moyenne ou pour les adultes (+16 et +22 % respectivement). Comparativement au schéma précédant, ces augmentations sont plus fortes et surtout elles dépendent exclusivement d'une augmentation des puissances locales (+28 % pour les adultes). Ce schéma semble traduire une stratégie de concentration de l'effort effectif sur les gros albacores, dans les zones de pêche traditionnelles. Une telle évolution s'effectue au dépend de la prospection de zones nouvelles et de la puissance de pêche appliquée localement aux juvéniles. Les deux effets se cumulent pour cette catégorie d'âge, entraînant une diminution sensible de

la puissance globale correspondante (-9 % par an à 84 % de certitude).

— Le troisième schéma d'évolution concerne la flottille espagnole en fin de décennie; il traduit un changement de la stratégie de pêche de cette flottille aux alentours de 1985 ou 1986. Contrairement aux deux précédents, ce schéma est caractérisé par des puissances globales et locales qui semblent orientées à la baisse, tant en valeur moyenne que pour les adultes. C'est cette fois la puissance globale appliquée aux juvéniles qui s'accroît (+8 %), par suite d'une augmentation forte de la puissance locale (+13 %). Une telle évolution paraît traduire une stratégie de concentration de l'effort effectif sur les juvéniles, au détriment, d'une part, de la prospection de zones nouvelles et, d'autre part, de la puissance de pêche appliquée localement aux autres catégories d'âge. Cette stratégie correspond en fait à la recherche des concentrations pluri-spécifiques de listaos et petits albacores.

Changements de tactiques de pêche

Aux évolutions tendanciennes sur des périodes pluri-annuelles, se superposent des fluctuations annuelles (fig. 6). Ces fluctuations traduisent d'abord des changements de disponibilité par catégorie d'âge. Elles affectent alors les deux flottilles. La capturabilité des adultes est par exemple faible en 1984 et 1988 tant pour les senneurs FIS que pour les senneurs espagnols.

Les variations de disponibilité induisent elles-mêmes des changements de tactique de pêche. Dans le cas de la flottille FIS, les capturabilités résiduelles des juvéniles sont ainsi corrélées négativement et significativement (à 99 % de certitude) à celles des adultes. Il est peu vraisemblable qu'un tel phénomène puisse être lié à des mécanismes d'ordre biologique. En revanche, on conçoit aisément qu'une baisse de disponibilité d'une des catégories d'âge conduise les pêcheurs à reporter leurs efforts sur une autre. Ce mécanisme est ici clairement mis en évidence. Comparativement à l'évolution tendancielle moyenne, il se traduit par des variations de la puissance de pêche globale par âge qui dépassent 50 % certaines années. En outre, la corrélation n'est pas observée en ce qui concerne les puissances locales. Les variations de tactiques de pêche se traduisent donc, pour cette flottille, par des variations d'efficacité globale. L'absence apparente des gros albacores conduirait ainsi les navires à exploiter préférentiellement les zones riches en petits albacores et listaos.

Dans le cas de la flottille espagnole les évolutions sont différentes. Les capturabilités résiduelles concernant les adultes ne sont pas significativement corrélées à celles concernant les juvéniles. Par contre, le phénomène de report de l'effort effectif d'une catégorie d'âge à une autre semble affecter les puissances locales (corrélation négative à 98 % de certitude). L'absence

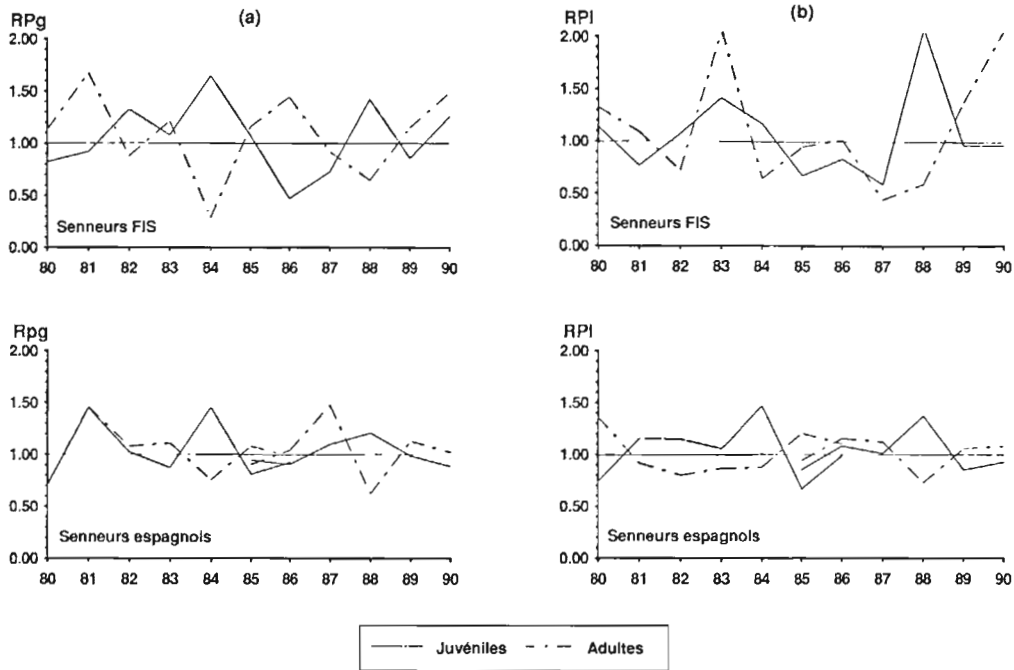


Figure 6. — Étude des changements inter-annuels de tactique de pêche: valeurs des résidus multiplicatifs obtenus après extraction des tendances pluriannuelles correspondant aux trois schémas d'évolution mis en évidence (cf. tabl. 5): (a) puissances de pêche globales résiduelles par catégorie d'âge et flottille; (b) puissances de pêche locales résiduelles par catégorie d'âge et flottille.

Analysis of yearly changes in fishing tactics: multiplicative residual values obtained after removal of trends according to the three evolution schemes shown (see table 5): (a) residual values of overall fishing power by age category and by fleet; (b) residual values of local fishing power by age category and by fleet.

apparente de gros albacores conduirait ainsi les navires à reporter leur effort sur les juvéniles et sur le listao, sans modifier sensiblement leurs zones de pêche.

Les facteurs d'évolution de la puissance de pêche globale sont ainsi différents pour les deux flottilles, tant en ce qui concerne les évolutions tendanciennes, à l'échelle de quelques années, qu'en ce qui concerne les fluctuations inter-annuelles. Dans le cas de la flottille FIS, les variations d'efficacité globale jouent un rôle majeur. Dans le cas de la flottille espagnole, les variations de puissance globale sont presque exclusivement liées à des variations de puissance locale.

DISCUSSION

Dans un premier temps, on discutera les résultats obtenus concernant les flottilles de senneurs qui exploitent l'albacore dans l'Atlantique Est. Dans un second temps, on reviendra plus généralement sur les méthodes d'étude mises en œuvre.

Évolution des flottilles de senneurs de l'Atlantique Est

Le premier intérêt des résultats obtenus est de confirmer et de quantifier un accroissement des

puissances de pêche, jusqu'ici considéré comme hautement probable. Au cours de la dernière décennie, Fonteneau et Pallarès (1991) et Ariz et al. (1991) mettent en évidence une augmentation de plusieurs paramètres qui concourent à l'efficacité des navires: vitesse des opérations de manœuvre de la senne, taille moyenne des bancs exploités, nombre de coups de senne par jour, ... Parallèlement, la proportion du temps de pêche consacrée à la recherche du poisson diminue. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cet accroissement des puissances de pêche globales. Schématiquement, ils peuvent être classés en deux catégories.

Facteurs technologiques d'accroissement des puissances de pêche

L'innovation technologique la plus fréquemment citée est l'introduction, depuis 1986, du radar à oiseaux utilisé comme aide à la détection des bancs. Par des techniques de simulations, Marsac (1991) montre que, comparativement à la prospection classique aux jumelles, la surface balayée par unité de temps est accrue d'un facteur 5, entraînant des gains d'efficacité de pêche qui peuvent atteindre un facteur 10 dans certaines situations de faible densité des bancs. D'autres évolutions technologiques sont intervenues tout au long de la période. Hervé et al.

(1991) citent en particulier : l'accroissement progressif de la puissance des treuils et « power blocks » qui pourrait être lié à une augmentation de la taille des sennes (mais celle-ci est difficile à appréhender car considérée comme « secret professionnel » par les patrons de pêche); l'augmentation du lest des sennes pour en accroître la vitesse de plongée; l'introduction, récente pour la flottille FIS, des anneaux ouvrants qui accélèrent la manœuvre de la senne; l'amélioration des performances des sonars et la diffusion récente, auprès des thoniers français, des cartographies satellitaires de la température des eaux en surface.

Seul le dernier aspect cité est susceptible d'accroître l'efficacité globale des flottilles. Une telle augmentation, attribuée aux avis satellitaires, est par exemple montrée dans le cas des pêcheries de germon du Pacifique (Kleiber et Perrin, 1991). Les autres innovations technologiques citées influent essentiellement sur la puissance locale des navires. C'est notamment le cas du radar à oiseaux qui accroît la capacité des bateaux à repérer les bancs au sein d'une zone géographique donnée. Il influe ainsi sur l'efficacité locale (donc sur la puissance locale) et non sur l'efficacité globale. Cette innovation apparaît ainsi déterminante dans l'évolution des puissances de pêche de la flottille FIS au cours des dernières années. A l'inverse, aucune évolution technologique majeure ne semble être intervenue, qui permettrait d'expliquer l'accroissement de l'efficacité globale observée dès le début des années 1980 dans le cas de cette flottille.

Facteurs humains d'accroissement des puissances de pêche

Certains facteurs humains peuvent accroître les puissances locales. C'est par exemple le cas en ce qui concerne la maîtrise du maniement des engins de pêche ou des appareils d'aide à la prospection. Cependant, le facteur le plus important est sans doute la connaissance que les patrons peuvent avoir des zones de pêche favorables. L'amélioration de cette connaissance influe cette fois directement sur l'efficacité globale. Elle pourrait notamment expliquer l'évolution de la flottille FIS évoquée précédemment. Les variations de la surface totale prospectée par cette flottille sont de ce point de vue illustratif. La décennie 70 est marquée par un accroissement important de la surface exploitée (Fonteneau *et al.*, 1988). Au début des années 80, les flottilles FIS et espagnoles prospectent une surface totale équivalente, mais la première fait preuve d'une efficacité supérieure en capturant des albacores dans un plus grand nombre de carrés géographiques de 1° de côté. Au cours de la décennie, l'efficacité des navires s'améliore encore : entre 1984 et 1988, le nombre de carrés prospectés chaque année diminue, mais le nombre de carrés comportant des captures augmente (Fonteneau et Pallarès, 1991).

L'accroissement de la puissance de pêche globale correspond donc ici à une diminution de la surface

totale prospectée. Une telle évolution conduit à souligner les limites des adaptations du modèle global proposées pour la gestion des stocks d'albacore de l'Atlantique (Laloë, 1989) et du Pacifique (Die *et al.*, 1990) et qui s'appuient sur l'hypothèse d'une efficacité de pêche, et donc d'une puissance globale, proportionnelle à la surface de pêche.

Évolution des stratégies et des tactiques de pêche

Un autre aspect important des résultats obtenus est la différence d'évolution des puissances de pêche en fonction de la catégorie d'âge considérée. Ceci s'explique notamment par un prix de vente des gros albacores sensiblement plus élevé que celui des petits. Cette différence de prix, quasiment nulle durant la décennie 70, s'est accrue progressivement au cours de la décennie 80 pour atteindre environ 25 % (Fonteneau, 1991 *d*). La stratégie des flottilles peut ainsi être déterminée par la recherche prioritaire des adultes. C'est le cas de la flottille FIS où la rémunération des équipages est proportionnelle à la production en valeur. Dans le cas de la flottille espagnole, la rémunération des équipages est proportionnelle au tonnage débarqué. La stratégie de concentration de l'effort effectif sur les juvéniles, mise en évidence en fin de période, correspond alors à la recherche des concentrations pluri-spécifiques de petits thonidés. Comparativement à la recherche prioritaire des gros albacores, une telle stratégie est source de gains financiers potentiellement plus réduits, mais elle présente moins de risques de jours de pêche nuls (Fonteneau, 1991 *d*).

L'année 1984 a fait l'objet de recherches approfondies qui permettent de mieux comprendre les relations entre changements de disponibilités et changements de tactique de pêche. Fin 1983 et début 1984 une importante anomalie climatique se traduit par une diminution de la disponibilité des gros albacores (Fonteneau, 1991 *c*). Faute d'avoir pu localiser, dans les zones de l'équateur, les habituelles concentrations d'adultes, les flottilles reportent leur effort sur les zones plus côtières. Elles y exploitent, pendant plus de deux mois, une très importante concentration pluri-spécifique à dominance de listao (Fonteneau, 1991 *a*). Ce report se traduit par une baisse de la puissance de pêche appliquée aux adultes, surtout sensible pour la flottille FIS (*fig. 6 a*) qui exploitait auparavant les zones du large de manière importante. Parallèlement, la puissance appliquée aux juvéniles est élevée. Dans le cas de la flottille FIS, cette hausse traduit un changement de zone de pêche et correspond à une hausse de l'efficacité globale. Dans le cas de la flottille espagnole, l'accroissement intervient en terme de puissance locale (*fig. 6 b*). Malgré des captures pondérales importantes, le rendement financier de l'exploitation est alors faible ce qui entraîne l'exode d'une partie des flottilles vers l'océan Indien, et donc une baisse de l'effort nominal (Fonteneau, 1991 *d*). Dans les années qui suivent, on assiste pour les deux flottilles à une forte croissance des puissances de

pêche appliquées aux adultes. Cette évolution est rendue possible, notamment, par le retour de la disponibilité à un niveau « normal » (Diouf, 1991; Fonteneau, 1991 *b*) et par une diminution de la compétition entre navires (Fonteneau et Pallarès, 1991).

Les méthodes d'analyse

Intérêts et limites de la méthode d'ajustement de l'analyse des cohortes

Les méthodes classiques d'ajustement de l'analyse des cohortes ne permettent généralement pas d'étudier les variations de puissances de pêche. C'est bien évidemment le cas des méthodes de « tuning » comme celle de Laurec et Shepherd (1983) qui reposent sur une hypothèse de capturabilités par âge constantes dans le temps. D'autres méthodes, en particulier la méthode Rho (Anonyme, 1982) et la méthode hybride de Pope et Shepherd (1985), permettent la prise en compte d'une dérive linéaire ou exponentielle des capturabilités. Cette dérive peut en particulier découler d'une dérive équivalente des puissances de pêche, que ces méthodes permettent alors de quantifier. Les résultats obtenus ici montrent cependant que l'hypothèse d'une dérive régulière des puissances de pêche appliquées à chaque âge n'est pas toujours satisfaisante. En particulier, les changements de stratégie d'exploitation peuvent conduire à des fluctuations de l'effort effectif par âge, ou tout au moins à des inversions de tendance sur de courtes périodes.

Dans le cas du stock d'albacores de l'Atlantique Est, les diagnostics étaient jusqu'à présent établis par une analyse des cohortes conduite en mode direct (Fonteneau, 1984, 1988 et 1991 *b*). Faute de données disponibles, le recrutement était considéré constant d'années en années (des facteurs correctifs étant néanmoins introduit pour assurer une certaine cohérence des résultats). Cette méthode d'ajustement peu usitée présente l'avantage de déboucher sur des résultats totalement indépendants de la mesure de l'effort de pêche et donc non biaisés par une éventuelle dérive des puissances de pêche. Sous réserve d'admettre que le recrutement fluctue sans tendance, les estimations de mortalité F ainsi obtenues permettent de dégager des évolutions sur le long terme. A l'inverse, par suite de la sensibilité des estimations au recrutement introduit, cette démarche conduit à une forte incertitude concernant les résultats d'une année donnée. Comparativement, la méthode d'ajustement proposée ici constitue indiscutablement une amélioration. Elle permet d'estimer un recrutement qui apparaît variable, ces estimations étant elles-même peu sensibles aux paramètres d'ajustement utilisés.

Plus généralement, la méthode d'ajustement de l'analyse des cohortes combinant calculs en mode inverse et en mode direct présente comme intérêt essentiel de conduire à des estimations de mortalités par pêche très largement indépendantes de la mesure de l'effort de pêche. Plus exactement, seuls les efforts

appliqués au groupe d'âge terminal sont pris en compte. Le calcul en mode inverse permet ensuite, en raison de la convergence de l'analyse, d'obtenir des estimations peu sensibles à cette série d'efforts. Le calcul en mode direct, pour les cohortes récentes, en est lui totalement indépendant. Une telle démarche apparaît donc particulièrement utile lorsque la quantification de l'effort effectif s'avère incertaine, ce qui est un cas fréquent y compris pour certaines flottilles chalutières. Elle est, par ailleurs, bien adaptée lorsqu'on a affaire : à des espèces de longévité faible et à des stocks dont les groupes d'âge âgés sont exploités de manière intense.

La méthode présente cependant une limitation importante : elle suppose l'existence d'une corrélation significative entre les recrutements estimés par l'analyse des cohortes et un indice de recrutement indépendant de cette analyse. Il n'est naturellement pas évident qu'une telle corrélation puisse être établie pour tous les stocks. En outre, le critère d'estimation des paramètres α_t et $F_{t,m}$ choisi ici, à savoir la maximisation du coefficient de corrélation linéaire, est en soit discutable. L'estimation ne peut être validée, dans le cas présent, que par les analyses de sensibilité. Celles-ci montrent en effet que les résultats obtenus sont peu modifiés dans une large gamme de valeurs des paramètres d'ajustement. Là encore, il n'est pas évident qu'un tel résultat serait obtenu dans d'autres cas. Enfin, la procédure de recherche empirique de ces paramètres reste relativement lourde. Des procédures d'optimisations automatiques, plus satisfaisantes également sur le plan statistique, pourraient sans doute être définies.

Analyse des puissances de pêche

L'analyse des puissances de pêche s'appuie sur l'étude de la matrice des capturabilités, sous l'hypothèse d'une absence de dérive des disponibilités par âge. Contrairement aux méthodes classiques de « tuning », les capturabilités sont calculées non pas à partir des efforts effectifs mais à partir des efforts nominaux de chaque flottille. Comparativement, à une analyse qui porterait directement sur les prises par unités d'effort, cette démarche présente l'avantage de s'affranchir des variations, tendancielle ou erratiques, de l'abondance des différentes cohortes.

La notion de puissance de pêche globale est ainsi explicitement définie comme le rapport entre l'effort effectif et effort nominal. Elle quantifie l'ensemble des facteurs liés au pêcheur et susceptibles de modifier l'efficacité d'une unité d'effort nominal. Cette acceptation diffère sensiblement de la définition communément admise (*in* Laurec et Le Guen, 1981). Elle n'est cependant pas fondamentalement nouvelle et est utilisée, au moins implicitement, dans nombre de travaux scientifiques, en particulier dans des études concernant les thonidés tropicaux (Pella et Psaropoulos, 1975; Laurec, 1977).

L'approche utilisée permet de quantifier la résultante de l'ensemble des facteurs qui déterminent les puissances globales ainsi définies. Le modèle linéaire généralisé permet en outre de distinguer puissances locales et efficacité globale. En revanche, la part relative à chaque facteur, innovations technologiques ou facteurs humains, ne peut être estimée. De ce point de vue, la démarche adoptée ici apparaît complémentaire des méthodes développées dans l'étude des pêcheries thonières du Pacifique Est. S'appuyant sur une modélisation linéaire généralisée des PUE par navire, ces dernières visent notamment à mettre en évidence l'influence de chaque facteur (Pella et Psaropoulos, 1975; Allen et Punsly, 1984; Punsly, 1987). Elles supposent cependant l'identification de facteurs déterminés et connus pour chaque navire.

CONCLUSION

Les flottilles thonières de l'Atlantique Est constituent en quelque sorte un cas d'école. La quantification d'un effort de pêche effectif est rendue particulièrement difficile par le cumul de nombreuses difficultés. Les évolutions technologiques sont rapides. La zone de pêche potentiellement très vaste et le caractère migratoire des espèces exploitées se traduisent par une grande variabilité temporelle de l'efficacité globale des navires. La répartition des animaux en bancs induit des variations d'efficacité locale. La capture d'espèces ou de catégories d'âge de valeurs commerciales différentes entraîne des variations de tactiques de pêche. Ces différents aspects impliquent que les facteurs humains, par nature difficilement quantifiables, ont, plus qu'ailleurs, une importance déterminante.

Dans un tel cas, les capturabilités nominales, estimées par l'analyse des cohortes, permettent d'étudier les variations des puissances de pêche par âge et par flottille. Ces puissances globales quantifient les

variations d'effort effectif à effort nominal constant. Dans le cas présent, on montre que l'accroissement des puissances de pêche des flottilles de senneurs FIS et espagnols est important au cours de la dernière décennie. Il impliquerait, à effort nominal constant, un doublement de l'effort effectif, respectivement tous les 5 et 8 ans environ. Bien qu'il soit difficile d'extrapoler ces tendances dans l'avenir, ce résultat devrait en toute logique conduire à une révision des diagnostics concernant l'état actuel du stock et les prédictions de rendements à court et long terme. Naturellement cette révision irait dans le sens d'un diagnostic plus « pessimiste ».

L'analyse met également en évidence des stratégies d'évolution des puissances de pêche différentes entre flottilles et entre périodes de temps. Dans le cas de la flottille FIS, l'accroissement des puissances de pêche semble correspondre essentiellement à une stratégie de recherche des zones à gros albacores. Les variations de l'efficacité globale jouent ici un rôle essentiel. Dans le cas de la flottille espagnole, le début de la décennie semble marqué par une stratégie de concentration de l'effort effectif sur les bancs d'albacores adultes, tandis que la fin de la décennie est caractérisée par une stratégie d'exploitation des concentrations plurispécifiques de petits thonidés à dominance de listaos. A ces évolutions tendanciennes se rajoutent des phénomènes de report de l'effort effectif d'une catégorie d'âge à une autre. Les résultats obtenus sont globalement peu sensibles aux paramètres d'ajustement de l'analyse des cohortes.

La méthode proposée pour cet ajustement permet de réduire le nombre des paramètres et d'obtenir des estimations de mortalité par pêche qui apparaissent, dans le cas présent, largement indépendantes de la mesure de l'effort de pêche. Cette méthode semble ainsi particulièrement adaptée dans les situations de puissances de pêche fortement variables. Il conviendra à l'avenir d'en analyser les potentialités, dans le cadre plus général des études de dynamique des stocks par les modèles structurés par âge.

Remerciement

Nous tenons à remercier les chercheurs et techniciens du Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye qui ont contribué à l'établissement de la base de données et de programmes utilisée. Viveca Fonteneau a en particulier écrit certains des programmes informatiques spécifiques à ce travail.

RÉFÉRENCES

Allen R., R. Punsly, 1984. Catch rates as indices of abundance of Yellowfin Tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, **18**, 301-379.

Anonyme, 1982. Report of the North Sea Roundfish Working Group. ICES CM 1982/Assess: 8, 145 p.
 Anonyme, 1984. Rapport du groupe de travail sur les thonidés tropicaux juvéniles. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **21**, 289 p.
 Anonyme, 1991. Rapport du groupe de travail de l'année albacore. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **36**, 25-50.
 Ariz J., P. Pallarès, A. Delgado de Molina, J. C. Santana, 1991. Analisis de los datos obtenidos en campanas de

- observadores en el Atlantico intertropical durante el Programa Ano del Rabil. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **36**, 109-157.
- Bard F. X., E. L. Scott, 1991. Sept traversées transocéaniques d'albacores marqués. Thons migrateurs ou sédentaires? *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **36**, 205-222.
- Beverton R. J. H., S. J. Holt, 1957. On the dynamics of exploited fish population. *UK Min. Agric. Fish. Food. Fish. Invest.* (Ser. 2), **19**, 533 p.
- Chadwick M., R. N. O'Boyle, 1990. L'analyse des données de captures et d'effort. In: Méthodes d'évaluation des stocks halieutiques, Brêthes J. C., R. N. O'Boyle éd., Univ. Québec à Rimouski, Vol. I et II, 77-101.
- Die D. J., V. R. Restrepo, W. W. Fox, 1990. Equilibrium production models that incorporate fished area. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **119**, 445-454.
- Diouf T., 1991. Les pêcheries thonières d'albacore de l'Atlantique. Bilan de l'évolution durant la période récente. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **36**, 289-325.
- Fonteneau A., 1984. Modélisation de l'aménagement des pêcheries de thonidés tropicaux de l'Atlantique Est. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **21**, 34-37.
- Fonteneau A., 1988. Modélisation, gestion et aménagement des pêcheries thonières de l'Atlantique centre-est. In: Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est, Fonteneau A., J. Marcille éd., *FAO Doc. Tech. Pêches*, **292**, 317-355.
- Fonteneau A., 1989. Note sur les problèmes d'extrapolation et de substitutions de strates pour l'albacore (*Thunnus albacares*) capturé par les senneurs FIS et espagnols. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **29**, 57-70.
- Fonteneau A., 1991 a. La concentration plurispécifique exploitée par 3° nord et 15° ouest en décembre 1983 et janvier 1984: caractéristiques biologiques et de l'exploitation. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **36**, 326-347.
- Fonteneau A., 1991 b. La surexploitation du stock d'albacore en 1984: mythe ou réalité? *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **36**, 348-379.
- Fonteneau A., 1991 c. Les anomalies de l'environnement en 1984 dans le Golfe de Guinée. Effets possibles sur la capturabilité de l'albacore. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **36**, 380-408.
- Fonteneau A., 1991 d. Variation du prix de vente du thon par espèce et catégorie de taille de 1970 à 1987. Effets possibles sur les changements de stratégie de pêche des senneurs. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **36**, 409-426.
- Fonteneau A., 1992. Modelling a single Atlantic yellowfin stock with a mixing model. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **38**, 272-285.
- Fonteneau A., T. Diouf, M. Mensah, 1988. Les pêcheries thonières de l'Atlantique tropical est. In: Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est, Fonteneau A., J. Marcille éd., *FAO Doc. Tech. Pêches*, **292**, 33-110.
- Fonteneau A., J. Marcillé, 1988. Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est. *FAO Doc. Tech. Pêches*, **292**, 391 p.
- Fonteneau A., P. Pallarés, 1991. Évolution récente des pêcheries thonières à la senne dans le Golfe de Guinée. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **36**, 427-478.
- Gascuel D., 1993. Une méthode simple d'ajustement des clés taille/âge: application aux captures d'albacores (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique Est. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, (sous presse).
- Gulland J., 1956. On the fishing effort in the English demersal fisheries. *Fish. Invest. London*, Ser. 2, **20**, 41 p.
- Gulland J., 1965. Estimation of mortality rates. Annex to Arctic Fisheries Working Group Report. ICES CM Gadoid Fish Committee/3, 9 p.
- Gulland J., 1969. Manuel des méthodes d'évaluation des stocks d'animaux aquatiques. Première partie: analyse des populations. *Man. FAO Sci. Halieut.*, **4**, 160 p.
- Hervé A., F. X. Bard, F. Gonzales Costas, 1990. Facteurs d'accroissement potentiels de la puissance de pêche des senneurs tropicaux français et espagnols entre 1985 et 1989. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **35**, 8-13.
- Kleiber P., C. Perrin, 1991. Catch-per-effort and stock status in the U.S. north Pacific albacore fishery: reappraisal of both. *Fish. Bull.*, **89**, 379-386.
- Laloë F., 1989. Un modèle global avec quantité de biomasse inaccessible dépendant de la surface de pêche. Application aux données de la pêche d'albacore (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique Est. *Aquat. Living Resour.*, **2**, 189-266.
- Laurec A., 1977. Analyse et estimation des puissances de pêche. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, **37**, 173-185.
- Laurec A., A. Fonteneau, 1979. Estimation de l'abondance d'une classe d'âge. Utilisation des c.p.u.c. de plusieurs engins, en différentes zones et saisons. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **8**, 79-100.
- Laurec A., J. C. Le Guen, 1981. Dynamique des populations marines exploitées. Tome I: concepts et modèles. *Rapp. Sci. Tech. CNEXO*, **45**, 117 p.
- Laurec A., J. G. Shepherd, 1983. On the analysis of catch and effort data. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, **41**, 81-84.
- Marsac F., 1991. Étude des relations entre l'hydroclimat et la pêche thonière tropicale dans l'océan indien occidental. Thèse dr. Univ. Bretagne occidentale, Brest, 350 p.
- Pella J. J., C. T. Psaropoulos, 1975. Measure of tuna abundance from purse-seine operations in the eastern Pacific Ocean adjusted of fleet-wide evolution of increased fishing power, 1960-1971. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, **16**, 281-400.
- Pope J. G., 1972. An investigation of the accuracy of Virtual Population Analysis using cohort analysis. *ICNAF Res. Bull.*, **9**, 65-74.
- Pope J. G., J. G. Shepherd, 1982. A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age data. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, **40**, 176-184.
- Pope J. G., J. G. Shepherd, 1985. A comparison of the performance of various methods for tuning VPAs using effort data. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, **42**, 129-151.
- Punsly R., 1987. Estimation of the relative annual abundance of Yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean during 1970-1985. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, **19**, 265-306.
- Robson D. S., 1966. Estimation of the relative fishing power of individual ships. *ICNAF Res. Bull.*, **3**, 5-15.