

## Analyse non paramétrique des influences de l'environnement et de l'effort sur l'estimation des biomasses locales de thons albacore (*Thunnus albacares*) dans l'Atlantique. Utilisation des méthodes GAM.

Olivier MAURY<sup>(1)</sup>, Didier GASCUEL<sup>(1)</sup>, Alain FONTENEAU<sup>(2)</sup>.

(1) ENSAR halieutique, 65 route de S' Briec, F35042 Rennes cedex France.

(2) ORSTOM HEA, 911 av. Agropolis B.P. 5045, F34032 Montpellier cedex 1 France

### INTRODUCTION

Les thons albacore sont répartis dans l'ensemble de l'Atlantique tropical. L'étude de la distribution spatiale de telles espèces à larges aires de répartition ne peut se faire qu'en utilisant des données de captures commerciales. On utilise alors le rendement des navires (les captures par unité d'effort CPUE) comme une mesure de l'abondance locale des poissons. Le problème est que la capturabilité  $q$  (la probabilité pour une unité de biomasse d'être capturée par une unité d'effort de pêche) liant CPUE et biomasses locales ( $CPUE=q.B$ ) est extrêmement variable, en fonction des tactiques utilisées par les pêcheurs pour localiser les poissons et des conditions hydrologiques locales.

Dans cette étude, on analyse les relations non linéaires liant les CPUE des flottilles de senneurs français et de palangriers japonais aux efforts de pêche et à la profondeur de la thermocline (la thermocline est une zone de variation thermique brutale séparant les eaux de surface chaudes des eaux profondes plus froides). Pour caractériser ces relations sans hypothèses de linéarité, on utilise les techniques de modélisation GAM (Generalized Additive Models) (Hastie and Tibshirani, 1990).

### Utilisation des modèles additifs généralisés (GAM)

La forme des relations fonctionnelles recherchées étant inconnue, l'utilisation de méthodes d'estimation sans hypothèses paramétriques *a priori* est intéressante. Les méthodes GAM sont des généralisations non paramétriques des techniques de régression linéaire multiples (Hastie and Tibshirani, 1990; Swartzman *et al.*, 1992). Ces techniques non paramétriques récentes commencent à être régulièrement utilisées en halieutique dans des études exploratoires (Cury *et al.*, 1992 ; Swartzman *et al.*, 1992, 1994, 1995...). Elles sont fondées sur des transformations empiriques des variables par des techniques de lissage. Leur formulation générale est donnée par :

$$S(Y_j) = \sum_i T_i(X_i(j)) + \varepsilon(j)$$

où  $Y_j$  est la variable modélisée pour l'observation  $j$  ;  $X_i$  sont les covariables ;  $S(\cdot)$ , la fonction lien et  $T(\cdot)$  sont des fonctions inconnues estimées de manière non paramétrique grâce à des fonctions de lissage et  $\varepsilon(\cdot)$  est une variable aléatoire.

Dans les modèles GAM, la distribution des variables peut être choisie dans toute la famille des distributions exponentielles (qui inclut les distributions normale, de Poisson et binomiales). Dans notre étude, les données sont supposées avoir une distribution normale. Dans ce cas, il n'y a pas de transformation  $S(\cdot)$  (Swartzman *et al.*, 1994). L'espérance de la variable  $Y$  est donc exprimée comme une somme de lissages des covariables :

$$E(Y / X_i) = \sum_i T_i(X_i)$$

Le logarithme des  $CPUE+1$  est modélisé ici comme une somme de fonctions indéterminées des covariables. La transformation logarithmique est utilisée d'une part pour normaliser la distribution dissymétrique des CPUE et d'autre part à cause de la nature *a priori* multiplicative des processus étudiés. En effet, pour pouvoir interpréter les CPUE comme des indices d'abondance locaux ( $B$ ), les effets influant sur la capturabilité ( $q$ ) doivent être retirés. Ainsi, en cohérence avec la relation  $CPUE = q.B$ , la forme générale des modèles que nous avons ajustés est :

$$\ln(CPUE + 1) = \sum_i T_i(X_i) + \sum_j T_j(X_j)$$

où les  $X_i$  sont les covariables liées à la capturabilité et  $X_j$ , les covariables liées à l'abondance locale. Nous avons utilisé un lisseur spline à l'ordre trois pour estimer les fonctions  $T(\cdot)$  et le logiciel S-plus pour les ajustements.

Une approximation non paramétrique de test F (Hastie and Tibshirani, 1990) a été calculée systématiquement pour chaque covariable. Un pseudo  $R^2$  défini comme la fraction de la déviance totale expliquée par le modèle a également été systématiquement calculé. Bien que différent du  $R^2$  classique, cette définition donne une bonne mesure du pouvoir explicatif du modèle considéré (Swartzman *et al.*, 1992). Une analyse de la déviance a été également réalisée pour avoir une idée de l'inertie expliquée par chaque facteurs.

Les données de pêche proviennent de l'ICCAT (International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas), leur résolution est de 1°latitude x 1°longitude x 15 jours pour les senneurs et 5°latitude x 5°longitude x 30 jours pour les palangriers. Les données hydrologiques fournies par Météo-France proviennent du modèle hydrodynamique OPA7.1 (Delecluse *et al.*, 1993). Le tableau des données de senneurs couvre la période 1980-1993. Il contient 35725 observations. Différents modèles ont été testés. Le modèle retenu a la forme générale suivante:

$$\ln(CPUE + 1) = s(\text{année}) + s(\text{quinzaine} * \text{zone}) + s(\text{effort}) + s(\text{profondeur de la thermocline}) \\ + s(\text{effets d'interaction thermocline:température})$$

Sur la même période, le tableau des données de palangriers contient 5035 observations. Le modèle ajusté a la forme générale suivante :

$$\ln(CPUE + 1) = s(\text{année}) + s(\text{latit.} * \text{longit.} * \text{mois}) + s(\text{effort}) + s(\text{profondeur de la thermocline}) \\ + s(\text{effet d'interaction thermocline:température})$$

## Résultats

### Relation CPUE-effort

Pour les senneurs français comme pour les palangriers japonais, l'effort de pêche a un effet systématiquement hautement significatif ( $p(F)=0,0$ ) et explique la plus grande partie de la variabilité des CPUE (93% pour les senneurs et % pour les palangriers). La relation entre  $\ln(CPUE+1)$  et l'effort de pêche est non linéaire pour les deux flottilles considérées. Pour les senneurs, la courbe croît rapidement pour des valeurs d'effort inférieures à un seuil de 500 heures de pêche. Puis, soit elle continue à croître lentement pour les âges 0, 1, 2 et 3 soit elle décroît pour les âges 4 et 5+ (fig. 1). Pour les palangriers, la courbe décroît de façon monotone avec une forme exponentielle négative (fig. 2).

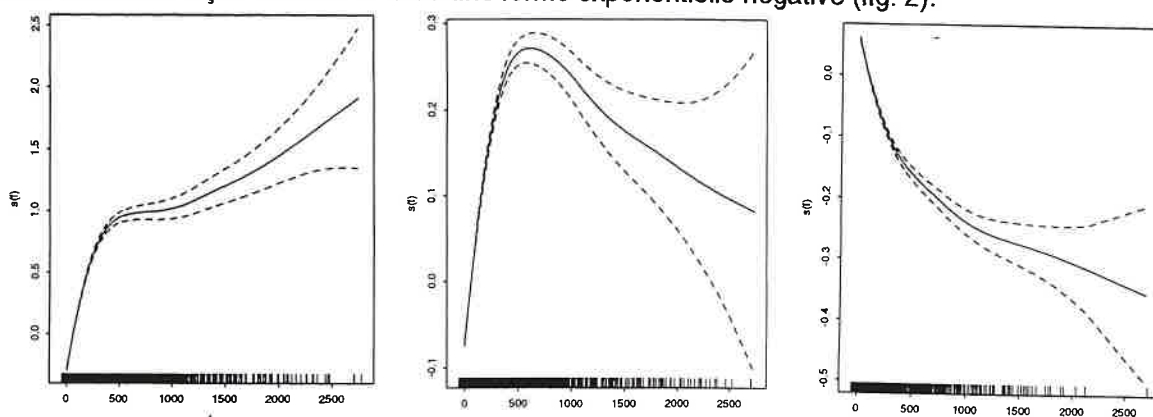


fig. : Relations obtenues entre  $\ln(CPUE+1)$  et l'effort de pêche. A gauche, CPUE d'albacores d'âge 1 pour la flottille de senneurs, au milieu, CPUE d'albacores d'âge 5+ pour la flottille de senneurs et à droite CPUE d'albacores d'âge 4-5+ pour la flottille de palangriers.

### Relation CPUE-thermocline

La profondeur de la thermocline a un effet négatif sur les CPUE de senneurs pendant la période considérée. Plus la thermocline est profonde, plus les CPUE sont faibles. Les CPUE sont en moyenne plus faibles que la moyenne quand la thermocline est en dessous de 50m et elles sont supérieures au-dessus. La prise en compte d'un effet d'interaction avec la température de surface est important car les thons se concentrent dans les eaux chaudes et la température et la profondeur de la thermocline ne sont pas des variables indépendantes : plus la thermocline est proche de la surface, plus les eaux de surface sont froides et réciproquement. Sans l'effet d'interaction, la relation avec la thermocline n'est pas claire. Pour les palangriers qui pêchent en profondeur, la profondeur de la thermocline a un effet positif monotone et explique une part importante de la variance du modèle (17,4%). Plus elle est profonde, plus les rendements (CPUE) des palangriers sont élevés.

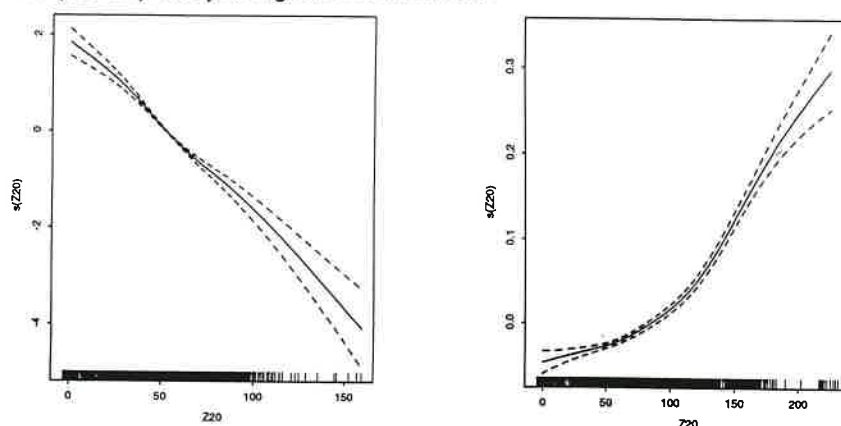


fig. : Relations obtenues entre  $\ln(\text{CPUE}+1)$  et la profondeur de la thermocline. A gauche, cas de la flottille de senneurs, à droite, cas de la flottille de palangriers.

### Discussion

Comme pour toute analyse statistique, les résultats de l'analyse GAM sont sensibles à un grand nombre de facteurs et doivent être considérés prudemment. L'interprétabilité des résultats et leur cohérence avec la théorie écologique reste un prérequis indispensable à leur utilisation.

#### L'utilisation des CPUE comme un indice d'abondance local

La CPUE est l'indice d'abondance le plus fréquemment utilisé en halieutique. Pourtant, son emploi est délicat et pose un certain nombre de problèmes dus à la non linéarité de la relation CPUE/abondance. Un certain nombre de phénomènes bien connus sont à l'origine de cette non linéarité. Ils sont en général liés à l'hétérogénéité spatiale de la ressource et au comportement de recherche des navires (Hilborn and Walters, 1992 ; Gauthiez, 1997). Dans le cas des pêcheries thonières, l'utilisation des CPUE comme indices d'abondance local est encore compliquée par des phénomènes spécifiques responsables d'une non linéarité et d'une forte variabilité de la relation PUE/effort locale :

- l'accroissement d'efficacité des flottilles de senneurs quand leur effort de pêche augmente ;
- les très forts taux d'exploitation locaux qui entraînent des phénomènes de surexploitation locale (Fonteneau *et al.*, 1997).
- les importantes variations spatio-temporelles de capturabilité dues à l'environnement et aux comportements migratoires et agrégatifs saisonniers.

Maury et Gascuel (soumis) ont étudié à l'aide de simulations théoriques la non linéarité de la relation CPUE/effort pour des pêcheries thonières. Ils ont montré qu'une telle relation non linéaire peut être interprétée en terme de stratégie de répartition et de coopération entre navires pour la partie ascendante de la courbe et de surexploitation locale pour la partie décroissante (fig.).

Ainsi, quand l'effort des senneurs augmente (*i.e.* le nombre d'heures de recherche), la puissance locale des navires s'accroît car les bateaux coopèrent (ou s'espionnent) pour repérer les mattes de thon. Elle

atteint ensuite un palier quand le nombre total d'heures de recherche de l'ensemble des bateaux est suffisant pour repérer presque à tous les coups les plus fortes concentrations de thons de la zone considérée. Ce seuil est d'environ 500 heures de recherche par carré de 1 degré pendant 15 jours (fig.). Pour les jeunes poissons, très nombreux dans le milieu, les taux d'exploitation locaux demeurent faibles malgré l'augmentation de l'effort et les CPUE continuent à augmenter quand l'effort augmente. Pour les poissons âgés moins nombreux dans le milieu, l'augmentation de puissance locale entraîne un phénomène de surexploitation locale et les PUE des navires tendent alors à décroître.

De la même manière, les palangriers épuisent vraisemblablement localement leur zone de pêche quand ils sont nombreux et leurs rendements chutent quand leur effort local augmente. La diminution locale d'abondance qu'ils provoquent peut être compensée par l'arrivée de poissons par diffusion. Ces poissons proviennent alors d'une fraction « cryptique » de la biomasse (Fonteneau *et al.*, 1997) provenant de zones non exploitées (ou non exploitables).

Il est bien connu que l'environnement hydrologique modifie la capturabilité (Fonteneau and Marcille, 1988). Nos résultats précisent la relation fonctionnelle entre environnement et capturabilité :

L'influence négative de la profondeur de la thermocline sur la capturabilité des senneurs est probablement due à son rôle de barrière pour les thons albacores et particulièrement les jeunes poissons qui ne peuvent pas nager dans les eaux froides. Quand la thermocline est profonde, les thons s'échappent facilement de la senne et les CPUE chutent. Un tel phénomène est probablement responsable des très bas niveaux de capture observés en 1984. En effet, cette année, une anomalie environnementale de type *el nino* a entraîné un enfoncement de la thermocline et de très faibles rendements (Fonteneau, 1991).

## CONCLUSION

Malgré leurs limitations, les données provenant de pêcheries commerciales sont bien souvent le seul moyen d'estimer la répartition des thons à grande échelle. Pour cela, l'identification des relations entre la capturabilité et les facteurs humains et environnementaux est une étape nécessaire à l'utilisation des CPUE comme indices d'abondance locaux. Dans cette optique, les modèles GAM permettant l'identification de telles relations non linéaires constituent des outils extrêmement intéressants pour les halieutes.

## BIBLIOGRAPHIE

- Cury P., C. Roy, R. Mendelsohn, A. Bakun, D.M. Usby et R.H. Parrish, 1995. Moderate is better : exploring nonlinear climatic effects on the Californian anchovy (*Engraulis mordax*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*
- Delecluse P., M. Imbard, C. Lévy, G. Madec, 1993: OPA Ocean General Circulation Model, reference manual, 93/03.
- Fonteneau A. et J. Marcille, 1988. *Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre-Est*. FAO document technique sur les pêches. Fonteneau A. Et Marcille J. Eds. 391p.
- Fonteneau A., 1991. La surexploitation du stock d'albacore en 1984 : mythe ou réalité ? *Rec. Doc. Scient. ICCAT. Vol. XXXVI*, pp 348-379.
- Fonteneau A., D. Gascuel, P. Pallares Soubrier 1997. Vingt cinq ans d'évaluation des ressources thonières dans l'Atlantique : quelques réflexions méthodologiques. *in* : Ouvrage du Symposium ICCAT, Les Açores, Juin 1996. A paraître.
- Gauthiez F. 1997. Structuration spatiale des populations de poissons marins demersaux. Caractérisation, conséquences biométriques et halieutiques. Thèse de doctorat. ENGREF.
- Hastie T. and R. Tibshirani, 1990. *Generalized Additive Models* Chapman and Hall, London. 335p.
- Hilborn R., C. J. Walters 1992. Quantitative fisheries stock assessment. Choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, 570p.
- Maury and Gascuel (soumis). The local overfishing concept. Simulations in SHADYS. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Soumis.
- Swartzman G., C. Huang and S. Kaluzny, 1992. Spatial Analysis of Bering Sea Groundfish Survey Data Using Generalized Additive Models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1366-1378.
- Swartzman G., W. Stuetzle, K. Kulman et M. Powojowski, 1994. Relating the distribution of pollock schools in the Bering Sea to environmental factors. *ICES J. Mar. Sci.*, 51 : 481-492.
- Swartzman G. E. Silverman, N. Williamson, 1995. Relating trends in walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) abundance in the Bering Sea to environmental factors. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52 : 369-380.