

STÉPHANIE MAHEVAS

VERENA TRENKEL

**Utilisation de modèles mixtes pour décrire la  
distribution spatio-temporelle du temps de pêche  
de la flottille française en mer celtique**

*Journal de la société française de statistique*, tome 143, n° 1-2 (2002),  
p. 177-186

[http://www.numdam.org/item?id=JSFS\\_2002\\_\\_143\\_1-2\\_177\\_0](http://www.numdam.org/item?id=JSFS_2002__143_1-2_177_0)

© Société française de statistique, 2002, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société française de statistique » (<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

# UTILISATION DE MODÈLES MIXTES POUR DÉCRIRE LA DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DU TEMPS DE PÊCHE DE LA FLOTTILLE FRANÇAISE EN MER CELTIQUE

Stéphanie MAHEVAS \*, Verena TRENKEL

## RÉSUMÉ

Pour décrire l'allocation du temps de pêche dans l'espace et dans le temps de la flottille française opérant en mer Celtique, nous avons effectué une analyse des données de temps pêche disponibles par bateau, par unité spatiale et temporelle sur la période 1991 à 1998. Les modèles statistiques utilisés sont des modèles linéaires généralisés avec effets fixes et/ou aléatoires prenant explicitement en compte les corrélations temporelles et spatiales. Les variables explicatives disponibles pour cette modélisation sont l'unité spatiale, le mois, et l'année. Ce papier présente l'analyse exploratoire et le choix du modèle qui décrit au mieux l'hétérogénéité de la distribution spatio-temporelle du temps de pêche pour permettre la définition de saisons et zones de pêche homogènes. Ce modèle fait apparaître une corrélation temporelle d'ordre un et une corrélation spatiale du temps de pêche ainsi qu'une stabilité annuelle de l'activité de pêche sur la période.

## ABSTRACT

The spatial and temporal allocation of fishing time of the French fleet operating in the Celtic sea was modelled using spatially explicit fishing trip data for the years 1991 to 1998. Generalised linear mixed models with and without random effects taking account of spatial and temporal correlations were used. The available explanatory variables were the spatial unit, the month and the year. This paper presents the exploratory data analysis and the choice of the model best describing the heterogeneity of the data in order to define homogeneous fishing seasons and fishing areas. This final model revealed both a temporal correlation of order one and a spatial correlation of the fishing time. It also showed that the fishing activity was stable over the study period.

## 1. Introduction

La description de l'activité de pêche est une préalable essentielle des modèles d'estimation d'abondance des populations exploitées par la pêche et des modèles de simulation pour évaluer l'impact de mesures de gestion. Une

---

\* auteur correspondant, stephanie.mahevas@ifremer.fr  
Laboratoire MAERHA, IFREMER BP 21105, 44311 Nantes Cedex 03, France

définition simple de l'activité de pêche est le choix d'une zone de pêche à un moment donné de l'année (Hilborn et Ledbetter, 1979). Ce choix est guidé essentiellement par les espèces ciblées selon plusieurs contraintes, à savoir les caractéristiques techniques du bateau, les engins disponibles, la météo, le contexte économique, etc. Non seulement les déplacements des espèces liés à leur cycle de vie ou à la recherche de nourriture (Biseau, 1998; Vignaux, 1996) mais aussi les fluctuations économiques ou les aléas météorologiques (Holland et Sutinen, 1999; Sampson, 1991) rendent l'activité de pêche variable dans le temps et dans l'espace.

De manière classique, ces fluctuations sont étudiées à l'aide de modèles linéaires simples ou généralisés décrivant les captures par unité d'effort (Biseau, 1998; Stocker et Fournier, 1984; Gaertner, 1996; Vignaux, 1996) ou les rendements en valeur (Holland et Sutinen, 1999) par bateau. La démarche choisie dans cette étude pour définir les éléments structuraux du modèle de l'activité de pêche (saisons et zones) est basée sur la caractérisation des variations du temps de pêche de la flottille par unité temporelle et unité spatiale. Le choix de l'unité temporelle et de l'unité spatiale est naturellement guidé par le niveau de précision des données disponibles. Lorsque l'analyse porte sur une période de plusieurs années, il est intéressant de considérer l'année comme variable explicative pour étudier les changements de la distribution spatio-temporelle annuelle du temps de pêche sur la période. Si tel est le cas, les zones et saisons de pêche à l'échelle de l'année sont définies pour toute la période. La famille de modèles envisagés pour étudier ces variations est celle des modèles linéaires généralisés à effets fixes ou aléatoires ayant au minimum une variable explicative temporelle et une variable explicative spatiale. Ces modèles s'adaptent bien aux contraintes de nos données car ils permettent de concilier des distributions des observations autres que la loi normale, des variations aléatoires des variables explicatives et des corrélations fonctionnelles explicites des observations. En effet, dans notre contexte, la variable d'observation est le temps de pêche dont le domaine de variation est  $R^+$ . De plus les variables explicatives citées ci-dessus (et plus particulièrement l'année) sont susceptibles de se comporter comme des variables aléatoires. Par ailleurs, le temps de pêche à un mois donné dans une unité spatiale est corrélé aux temps de pêche dans les unités spatiales contiguës et au temps de pêche du mois précédent dans cette unité spatiale (Vignaux, 1996; Holland et Sutinen, 1999; Hilborn et Ledbetter, 1979). Le modèle de base s'exprime de la façon suivante : Temps de pêche  $\sim$  effet fixe(unité spatiale) + effet fixe(unité temporelle) + effet aléatoire(année) + CorTemporelle(AR1) + CorSpatiale(exp) +  $\varepsilon$ . Le logiciel utilisé pour réaliser cette analyse est Splus6.0 pour Unix et la méthode d'estimation est le maximum de vraisemblance restreint (Pinheiro et Bates, 2000).

À partir de ces ajustements, on peut procéder aux regroupements des modalités de la variable spatiale, respectivement temporelle, pour définir des zones, respectivement des saisons, de pêche homogènes à l'échelle de l'année. Dans ce document, nous nous concentrons sur l'étape d'ajustement des modèles linéaires et le choix du modèle le plus adapté à notre problématique.

Après avoir détaillé la méthodologie générale, une application et une discussion de cette méthode au cas d'étude de la flottille française en mer Celtique sont proposées.

## 2. Données

Pour ce travail, nous nous sommes intéressés à l'activité de pêche de la flottille française ciblant les poissons de fond en mer Celtique (Figure 1). Les données disponibles sont le temps de pêche de la flottille par mois par rectangle statistique (unité spatiale de gestion européenne :  $1^\circ \times 0.5^\circ$ ) en mer Celtique entre 1991 et 1998. Les variables explicatives sont pour les variables temporelles le mois (unité temporelle) et l'année, pour les variables spatiales le rectangle statistique (unité spatiale). Les pêcheurs sont tenus de fournir des estimations des captures par unité spatiale pour chaque sortie en mer. Cependant, cette information étant d'une qualité très hétérogène, elle a été volontairement non utilisée. L'analyse sans décomposer le temps de pêche selon les engins ayant donné des résultats très satisfaisants, la variable explicative engin n'a pas été utilisée. Une analyse préliminaire des données pour justifier de la pertinence du modèle exposé ci-dessus a été réalisée. On s'est tout d'abord attaché à étudier la distribution des observations. Il est apparu une grande hétérogénéité des variations du temps de pêche par rectangle et notamment un nombre important de rectangles au sein desquels pour beaucoup de mois le temps de pêche était nul. Pour ces mêmes rectangles, lorsque le temps de pêche était non nul, les captures associées correspondaient à des espèces profondes. Il a donc été décidé de restreindre l'analyse à la zone centrale de la mer Celtique où l'activité de pêche concerne la pêche de poissons de fond non profonds (<500m). Pour caractériser la distribution du temps de pêche une analyse du logarithme de la variance des observations sur la période en fonction du logarithme de la moyenne a été effectuée. Conforté par de nombreux histogrammes du temps de pêche en fonction des différentes variables explicatives, il s'est avéré que la distribution probabiliste la plus proche de nos données était la loi normale après transformation du temps de pêche par la fonction racine cubique (Figure 2).

Ensuite, une analyse des différents effets potentiellement intéressants dans l'approche présentée ci-dessus a été réalisée. Concernant le temps de pêche moyen sur la période, représenté graphiquement pour chaque rectangle au moyen d'un rayon de taille proportionnelle au temps de pêche pour chaque mois de l'année (Figure. 3), il apparaît des variations spatiales significatives. Par contre, la figure Figure. 4 illustrant les variations du temps de pêche moyen par rectangle par année ne montre pas de tendance particulière dans les années suggérant un effet annuel de type aléatoire. Étant donné les séries temporelles de temps de pêche mensuel par rectangle, nous nous sommes intéressés à la corrélation temporelle et spatiale de nos observations. Une analyse de l'autocorrélation par le test de Durbin Watson a permis de mettre en évidence l'existence d'une autocorrélation temporelle d'ordre 1 et d'une autocorrélation spatiale à décroissance exponentielle inférieure mais non négligeable.

## UTILISATION DE MODÈLES MIXTES

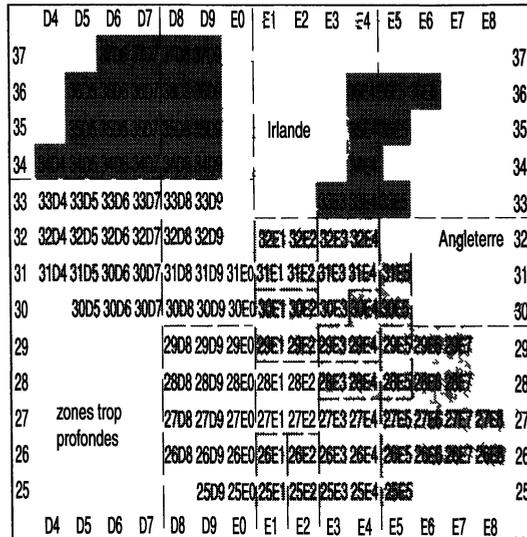


FIG 1. – La mer Celtique et les rectangles statistiques associés

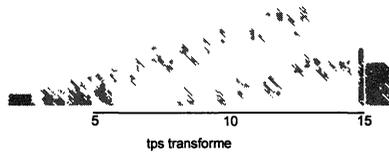


FIG 2 – Histogramme des temps de pêche dans la zone centrale de la mer Celtique après transformation par la fonction racine cubique

### 3. Résultats

Suite aux résultats de l'analyse exploratoire des données, et étant donné les outils disponibles pour établir des diagnostics sur les modèles statistiques mixtes généralisés, la liste des modèles étudiés est détaillée dans la table Tableau 1.

Les figures 5 et 6 montrent qu'à l'exception de mod3, la qualité d'ajustement des différents modèles est correcte.

Le modèle mod1 est le modèle de base intégrant les variables explicatives permettant de définir les regroupements saptio-temporels homogènes. L'absence de significativité de ces derniers permettrait de conclure que la distribution spatio-temporelle du temps de pêche est indifférenciée à l'échelle de l'unité spatiale et temporelle choisie pour la décrire. Dans notre cas d'étude ce modèle entraîne une chute de déviance de 54%. Les modèles mod2 et mod4 sont à comparer avec le modèle mod1 pour tester la stabilité sur la période d'étude des variations spatio-temporelles du temps de pêche. Le modèle mod4 à la différence de mod1 fait l'hypothèse que les variations annuelles du temps de pêche sont aléatoires selon une distribution normale. Le modèle mod2 ex-

UTILISATION DE MODELES MIXTES

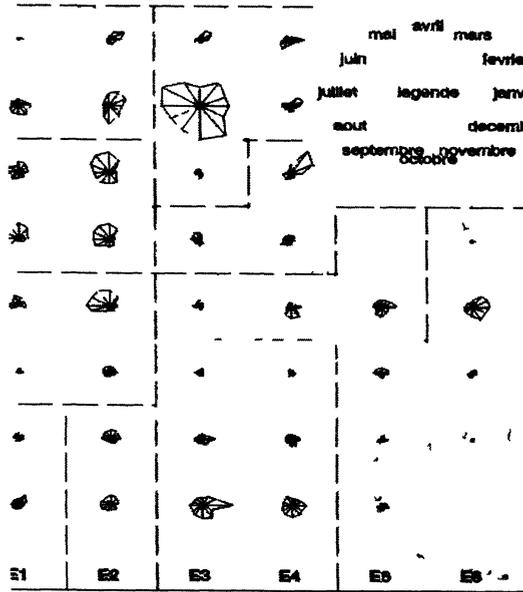


FIG 3 – Representation graphique du temps de pêche moyen sur la période par mois pour chaque rectangle statistique

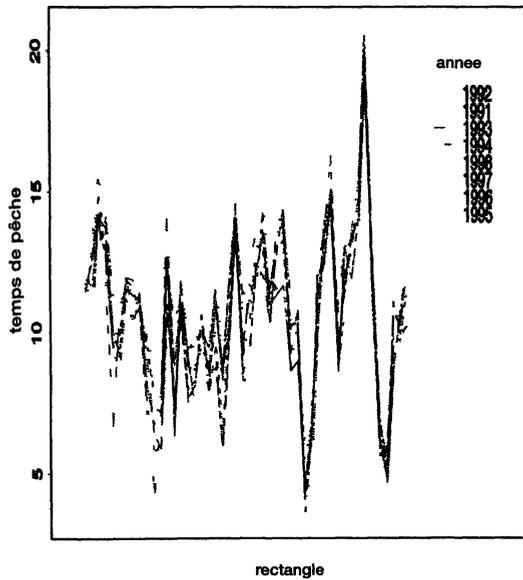


FIG 4 – Évolution du temps de pêche moyen sur la période par rectangle statistique

UTILISATION DE MODÈLES MIXTES

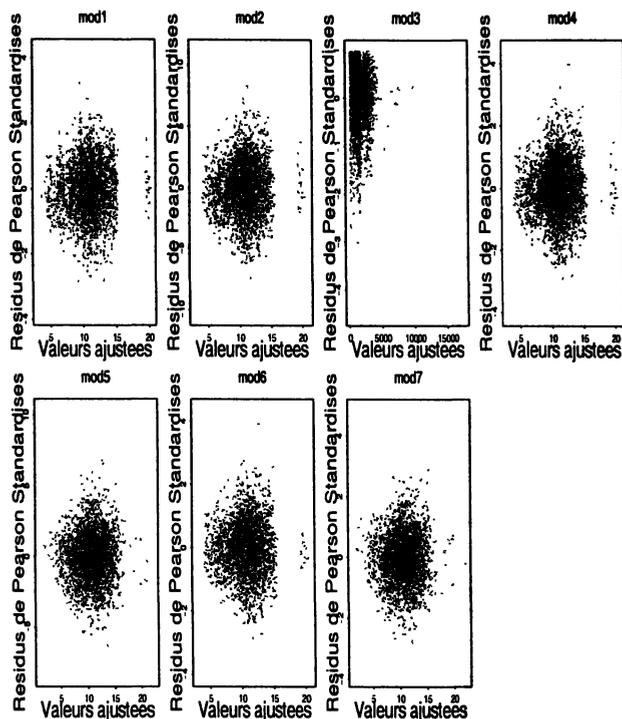


FIG. 5. – Pour chacun des modèles ajustés, représentation des résidus de Pearson standardisés en fonction des valeurs ajustées.

TABLEAU 1. – Liste des modèles ajustés pour décrire la distribution spatio-temporelle du temps de pêche. La notation  $\epsilon(\cdot)$  désigne la distribution des résidus :  $\mathcal{N}$  pour une distribution normale et  $\mathcal{G}$  pour une distribution Gamma.

Observations	Modèle	Nom
$\sqrt[3]{Tps\ pêche}$	mois + rect + $\epsilon(\mathcal{N})$	mod1
$\sqrt[3]{Tps\ pêche}$	mois + rect + année + $\epsilon(\mathcal{N})$	mod2
$Tps\ pêche$	mois + rect + année + $\epsilon(\mathcal{G})$	mod3
$\sqrt[3]{Tps\ pêche}$	mois + rect + random(année) + $\epsilon(\mathcal{N})$	mod4
$\sqrt[3]{Tps\ pêche}$	$\sqrt[3]{Tps\ pêche(mois - 1 rect)}$ + mois + rect + année + $\epsilon(\mathcal{N})$	mod5
$\sqrt[3]{Tps\ pêche}$	mois + rect + année + corExp(rect) + $\epsilon(\mathcal{N})$	mod6
$\sqrt[3]{Tps\ pêche}$	$\sqrt[3]{Tps\ pêche(mois - 1 rect)}$ + mois + rect + année + corExp(rect) + $\epsilon(\mathcal{N})$	mod7

## UTILISATION DE MODÈLES MIXTES

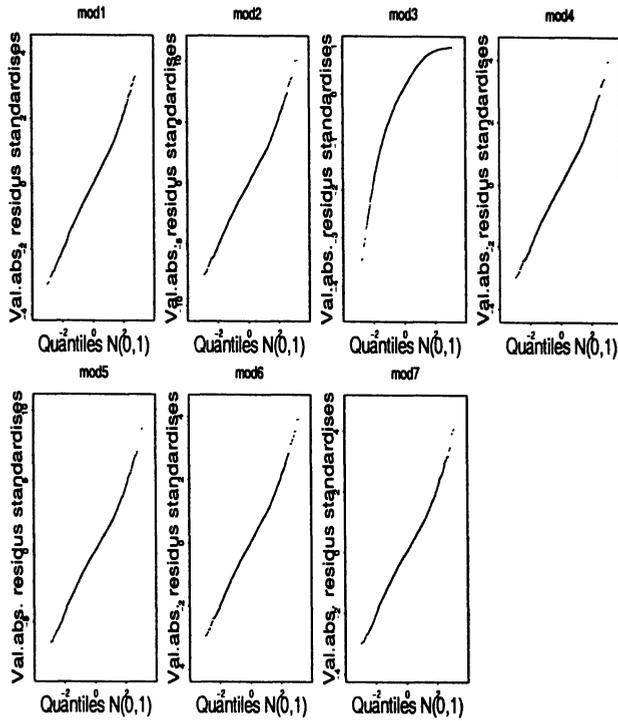


FIG. 6. – Pour chacun des modèles ajustés, représentation des résidus en fonction des quantiles d'une loi normale standardisée.

plique 55% de la déviance du modèle nul et la variable non aléatoire discrète année entraîne une chute de déviance significative au test du Chi2. Concernant l'ajustement avec la variable année traitée en effet aléatoire, la valeur de l'AIC (ou du BIC) de mod4 est légèrement plus faible que celle de mod1 passant de 21621.00 pour mod1 à 21564.18 pour mod4. Néanmoins, l'ajustement de mod4 donne une estimation de l'écart type de l'effet aléatoire année inférieure à celle de l'écart type intra modalité de la variable année. Il apparait donc préférable de considérer l'année comme un effet fixe pour expliquer les variations spatio-temporelles du temps de pêche. Le modèle mod3 a été ajusté dans la même perspective d'explication que celle du modèle mod2 tout en évitant le biais de l'estimation du temps de pêche lié à la transformation de l'effort de pêche par la fonction racine cubique. Les troisièmes graphiques des figures 5 et 6 montrent la mauvaise qualité d'ajustement de mod3 infirmant le choix d'une distribution Gamma des observations non transformées.

Pour prendre en compte de manière explicite la double corrélation temporelle et spatiale des données et ajuster un tel modèle en utilisant le logiciel Splus (dont la fonction CorStruct de gls ou lme n'offre pas cette possibilité), il a été nécessaire de rajouter en effet fixe la variable explicative temps de pêche (transformé par racine cubique) au mois précédent par rectangle. Les modèles mod5 et mod6 qui intègrent respectivement la corrélation temporelle et la

## UTILISATION DE MODÈLES MIXTES

corrélation spatiale sont à comparer à mod2 pour quantifier et tester l'apport d'explication de ces effets. La déviance expliquée et les valeurs des AIC dans la table Tableau 2 montrent que ces deux corrélations prises individuellement expliquent une part importante des variations du temps de pêche.

TABLEAU 2. – Valeur de l'AIC et test sur le rapport de vraisemblance pour mod 2, mod5 et mod6.

Modèle	AIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
mod2	21589.36	-10727.68			
mod5	20037.18	-9950.59	mod2 vs mod5	1554.174	<.0001
mod6	20945.13	-10403.56	mod2 vs mod6	648.2307	<.0001

Finalement le modèle mod7 synthétise l'ensemble de cette analyse reprenant les effets de base et les corrélations spatiales et temporelles. Ce modèle a une valeur de AIC égale 19568.26 plus faible que celle du modèle mod5 (20037.18) et montre au travers de la non significativité de la variable année (Tableau 3), la stabilité sur la période 1991-1998 de la distribution spatiale et saisonnière du temps de pêche.

TABLEAU 3. – Test de significativité des différentes variables explicatives de mod7.

Var explicative	numdf	F-value	p-value
(intercept)	1	37107.00	<.0001
tps.peche.trans.prec	1	8536.40	<.0001
mois	11	8.28	<.0001
annee	7	0.52	0.8191
rect	47	17.01	<0.0001
Corr Struct	lower	est.	upper
spatial range	7.12e-01	7.75e-01	8.43e-01

## 4. Discussion et perspectives

Dans cette étude, nous proposons une méthodologie générale pour caractériser la dynamique spatio-temporelle de l'activité de pêche d'une flottille. Elle est basée sur l'utilisation de modèles linéaires généralisés mixtes explicitant les variations du temps de pêche par unité temporelle et spatiale. Son application à la flottille française capturant des poissons de fond non profonds en mer Celtique entre 1991 et 1998 a permis d'illustrer la sélection de modèles pour obtenir celui le plus adapté à ce cas d'étude, mettant en évidence les facteurs déterminants de la distribution spatiale et saisonnière du temps de pêche de cette flottille. Le temps de pêche alloué à un mois donné dans un rectangle précis est dépendant de manière significative du mois, du rectangle de pêche,

## UTILISATION DE MODÈLES MIXTES

du temps de pêche au mois précédent dans ce rectangle ainsi que du temps de pêche alloué dans les rectangles voisins. Par contre, il est apparu que l'année ne permettait de distinguer les variations du temps de pêche sur la période. Ce résultat a pour conséquence de considérer ces dernières comme stables à l'échelle de l'année sur la période. La finalité de cette analyse est de définir des saisons (respectivement zones) de pêche homogènes sur la période en réalisant un regroupement des coefficients estimés pour chaque modalité de la variable temporelle (respectivement spatiale). La méthode pourrait être une classification avec contraintes de contiguités spatiales et temporelles en utilisant comme distance entre deux éléments la valeur  $1 - p$ ,  $p$  étant la *pvalue* du test de Wald testant l'égalité entre ces deux éléments. Une telle méthode présente l'avantage par rapport à une analyse factorielle classique, d'avoir une estimation inférentielle des variations du temps de pêche par unité spatiale et par unité temporelle, nettoyée des corrélations spatio-temporelles puisque le modèle permet de les prendre explicitement en compte.

L'activité de pêche peut être très hétérogène de par la grande variété de métiers pratiqués au sein de la flottille (Biseau, 1998 ; Pelletier et Ferraris, 2000). Si l'on souhaite détailler les variations spatio-temporelles du temps de pêche pour les différents métiers de la flottille, l'engin et les captures par espèces sont des variables explicatives potentiellement intéressantes à intégrer dans cette approche.

## Remerciements

Ce travail a été financé par le projet européen DST2 QLK5-CT1999-01609. Les auteurs souhaitent remercier Ludger Evers, stagiaire dans le laboratoire IFREMER/MAERHA en 2001, dont le travail très sérieux a en partie initialisé cette approche. Un sincère remerciement à B. Mesnil et aux deux référés anonymes pour leur relecture et leurs commentaires constructifs sur ce document.

## RÉFÉRENCES

- BISEAU A. (1998), Definition of a directed fishing effort in a mixed-species trawl fishery, and its impact on stock assessments, *Aquatic Living Resources*, 11 (3), 119-136.
- CAMPBELL H.F., HAND A.J. (1999), Modelling the spatial dynamics of the U.S. purse-seine fleet operating in the western Pacific tuna fishery, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56, 1266-1277.
- GAERTNER D. (1996), Utilisation de modèles linéaires généralisés pour évaluer les stratégies de pêche thonière à la senne en présence d'espèces associées dans l'Atlantique ouest, *Aquatic Living Resources*, 9, 305-323.
- HILBORN R., LEDBETTER M. (1979), Analysis of the British Columbia salmon purse-seine fleet : dynamics of movement, *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 36, 384-391.
- HOLLAND D.S., SUTINEN J.G. (1999), *An empirical model of fleet dynamics in New England trawl fisheries*, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 56. 253-264.

## UTILISATION DE MODÈLES MIXTES

- PELLETIER D., FERRARIS J (2000), A multivariate approach for defining fishing tactics from commercial catch and effort data, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57 (1), 51-65.
- PINHEIRO J., BATES D. (2000), Mixed-Effects Models in S and S-PLUS, *Statistics and computing*, Springer, New-York
- SAMPSON D B. (1991), Fishing tactics and fish abundance, and their influence on catch rates, *ICES Journal of Marine Sciences*, 48, 291-301.
- STOCKER M., FOURNIER D. (1984), Estimation of relative fishing power and allocation of effective fishing effort, with catch forecasts, in a multi-species fishery, *International North Pacific Fish Commission*, Bulletin N° 42, 7pp.
- VIGNAUX M. (1996), Analysis of vessel movements and strategies using commercial catch and effort data from the New Zealand hoki fishery, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53, 2126-2136