

## ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DES RELATIONS THONS-ENVIRONNEMENTS. UTILISATION DES DONNÉES OPA ET DES OUTILS D'ANALYSE SIG ET GAM

de Rosa, A.L.<sup>1</sup>, O. Maury<sup>1</sup>

### SUMMARY

Generalized Additive Models (GAM), a non-parametric generalization of multiple linear regression and Geographic Information System (GIS) were used for the first time to explore the interactions between CPUE of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*, Bonnaterre, 1788) and the different eastern tropical Atlantic environment parameters. CPUE are provided by ICCAT (International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas) and environmental data is from the Atlantic Operational Model (OPA 7) developed by the LODYC (Laboratoire d'océanographie Dynamique et de Climatologie).

Significant effects are found between local abundance and salinity, temperature factors (sea surface temperature, thermal gradient). Distinct behavior has been isolated following the ages and the zones.

### RÉSUMÉ

Les modèles additifs généralisés (GAM), généralisation non paramétrique des régressions linéaires multi-variables, les systèmes d'informations géographiques (SIG) ont été utilisés pour la première fois en pêcherie thonière afin d'explorer les relations entre la prise par unité d'effort de thons albacores (*Thunnus albacares*; Bonnaterre 1788) et différents paramètres hydrologiques de l'environnement de l'Atlantique Tropical Est. Les prises par unité d'effort sont fournies par l'ICCAT (International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas) et les données environnementales sont issues du Modèle Opérationnel de l'Atlantique (OPA 7) du LODYC (Laboratoire d'océanographie Dynamique et de Climatologie).

Des effets significatifs ont été trouvés entre l'abondance locale d'albacore et la salinité; les facteurs thermiques (température de surface, gradient thermique spatial). De plus l'influence de comportements distincts selon l'âge ou la zone ont été mis en évidence.

### RESUMEN

Se utilizaron por vez primera en la pesquería de tónidos los modelos aditivos generalizados (GAM), una generalización no paramétrica de regresiones lineales multivariadas y los sistemas de información geográfica (SIG), con el fin de explorar las relaciones entre la captura por unidad de esfuerzo del rabil (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788) y diferentes parámetros hidrológicos del medio ambiente del Atlántico tropical oriental. LA Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (CICAA) facilitó los datos de captura por unidad de esfuerzo y los datos de medio ambiente proceden del Modelo Operacional del Atlántico (OPA 7) del "Laboratoire d'Océanographie Dynamique et de Climatologie".

Se observaron efectos significativos entre la abundancia local del rabil y la salinidad: los factores térmicos de la temperatura (temperatura de superficie, gradiente térmico espacial). Además se puso de relieve la influencia de los distintos comportamientos según la edad o la zona.

De nombreuses études ont déjà été menées sur les relations thons - environnement. Elles décrivent aussi bien les tolérances physiologiques des thons vis à vis des paramètres de l'environnement que les variables environnementales influençant les migrations des thons dans l'Atlantique (Fonteneau et Marcille, 1988). Le but de cette étude est de développer ces analyses en utilisant les nouveaux outils d'analyse que sont les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) et les modèles additifs généralisés (GAM), ainsi que des données issues d'un modèle de circulation océanographique, le modèle Opérationnel de l'Atlantique (données OPA : laboratoire de LODYC). L'utilisation de ces nouveaux outils permet de visualiser les formes empiriques des relations entre les prises par unités d'effort (PUE) et les différents paramètres de l'environnement.

L'analyse spatio-temporelle de ces relations permet de définir un habitat correspondant à un environnement favorable où les thons, selon leur état physiologique, peuvent remplir leurs fonctions vitales de nutrition, croissance et reproduction. Le présent travail se propose donc d'analyser à une échelle fine (1°x1°/quinzaine), les relations thons - environnement et de caractériser les préférendums vis à vis des conditions environnementales. Le cas concret qui est abordé est celui du thon albacore (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788) dans l'Atlantique Tropical Est sur la période 1980 à 1991. Une analyse générale des relations entre la PUE et les principaux paramètres de l'environnement (salinité, température de surface, gradient thermique spatial) est présentée. Des comportements distincts, selon l'âge ou les zones sont mis en évidence.

### DONNEES

#### *Les données environnementales*

Les données OPA 7 sont utilisées pour décrire les paramètres de l'environnement (salinité, température de surface). Ces données sont issues du modèle Opérationnel

<sup>1</sup> Laboratoire Halieutique, Ecole National Supérieure Agronomique de Rennes, 65 rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes cedex, France.

de l'Atlantique (OPA), qui a été établi par une équipe du LODYC (Laboratoire d'Océanographie Dynamique et de Climatologie). Le modèle simule la courantomie et l'évolution des caractéristiques hydrologiques de l'Atlantique Tropical Est. Le modèle est forcé par des données météorologiques (vent) et ses résultats assimilent des données réelles.

L'utilisation des données OPA 7 permet d'analyser les relations thons - environnement à une échelle fine, puisque les données sont fournies à un pas de temps de 5 jours pour une unité d'espace de 0.5° longitude x 0.5° latitude. Une certaine vigilance dans l'interprétation de ces données est toutefois nécessaire, car ces paramètres environnementaux ne sont qu'un reflet de la réalité. Néanmoins, elles permettent de donner les grandes tendances de l'évolution des conditions environnementales. Les frontières méridiennes du modèle OPA sont 20° Sud - 20° Nord. Au voisinage de la côte, une frontière verticale au niveau du plateau continental est considérée, ce qui est gênant dans le cas de petit pélagiques côtiers, mais qui n'est pas déterminant dans des études portant sur des espèces hauturières comme les thonidés évoluant peu sur le plateau continental (Fonteneau, 1991). Une première analyse (De Rosa, 1997) a permis d'analyser les relations PUE - environnement en prenant en compte différents paramètres (profondeur de thermocline, gradient de thermocline, gradient thermique temporel...). Dans cet article, l'influence de quelques paramètres est exposée, la salinité et la température de surface issues du modèle OPA 7 et le gradient thermique spatial calculé sous SIG.

**Les données halieutiques**

Les données utilisées sont issues du suivi de pêche de l'ICCAT, disponible pour les seneurs FIS, à une résolution spatio-temporelle de 1° de longitude et 1° de latitude par quinzaine. Elles permettent de calculer les prises par unité d'effort (PUE). Ici, les PUE sont exprimées en nombres d'individus pêchés par heures de prospection. Elles sont calculées pour chaque année (de 1980 à 1991), pour chaque groupe d'âge (de 0 à 5'), pour chaque unité d'espace (carré 1°x1°), pour chaque pas de temps (tous les 15 jours).

$$PUE_{(année, âge, espace, temps)} = \frac{[ \text{Captures en nombre (année, âge, espace, temps)} ]}{\text{effort (année, espace, temps)}}$$

- ✦ Les variations des prises par unités d'effort reflètent les variations de la capturabilité (q) et de l'abondance du stock (N).  $PUE = q \times N$
- ✦ Les PUE ont une distribution très dispersée. Une transformation logarithmique ( $\ln(PUE+1)$ ) permet d'obtenir une distribution plus homogène et plus symétrique.

De plus la transformation logarithmique permet d'avoir un modèle additif du logarithme des PUE et donc un modèle multiplicatif des PUE interprétable en terme d'abondance locale et de capturabilité locale.

- ✦ L'effort est considéré de façon systématique pour expliquer les variations de PUE.

**OUTILS**

**Le Système d'Informations Géographiques (SIG)**

Le SIG (SAVANE, © 1995 ORSTOM/SB2) permet la collecte, la gestion et l'analyse des données. Il met en cohérence des données graphiques et des données descriptives qui y sont associées. Il est constitué d'un ensemble de bases de données géoréférencées. En plus de la cartographie, le SIG permet la manipulation et la structuration des données dans l'espace afin d'en extraire commodément des synthèses utiles à la compréhension des processus relevant des différents paramètres, et à la prise de décision. Ainsi, il est possible de superposer des informations dans l'espace (ex : PUE et paramètre de l'environnement) et de réaliser de multiples applications (croiser des données à des résolutions différentes, créer de nouveaux paramètres...).

**Le Modèle Additif Généralisé : GAM**

✦ Le GAM (GAM; Hastie and Tibshirani, 1990), est une généralisation non paramétrique des régressions linéaires multiples qui permet d'explorer les formes empiriques des relations existant entre une variable prédictrice et plusieurs variables explicatives, ainsi que leurs interactions. Le GAM utilise des lisseurs locaux, il déplace une fenêtre de façon continue sur chaque valeur de la variable et ajuste localement une fonction en réalisant plusieurs itérations afin de converger vers une solution optimale. Quand le GAM converge vers une solution optimale par itération, il tient compte de la distribution de probabilité des résidus. De ce fait, la supposition de normalité est peut être étendue, et inclue les différentes distributions de probabilité de la famille exponentielle (distribution de Poisson, Gamma, Normale et Binomiale). Ainsi, cette méthode fait des suppositions moins strictes de normalité et de linéarité que les régressions linéaires. Dans cette étude, la fonction de lissage choisie est s : lisseur spline d'ordre 3 et la distribution de probabilité des résidus suit une loi Normale.

✦ Le GAM permet de décrire la variable à prédire (ici le logarithme népérien de la prise par unité d'effort) comme une somme de fonctions indéterminées des variables explicatives choisies, fonctions auxquelles peuvent être également intégrées les interactions entre ces variables explicatives. Les effets des variables testées et de leurs interactions sont visualisés sur différents graphiques.

➤ Analyse générale  
 $\ln(PUE_{(année, âge, espace, temps)}+1) = \alpha + s(an) + s(saison) + s(zone) + s(effort) + s(\text{variable environnementale}) + \dots$

➤ Analyse par âge  
 $\ln(PUE_{(année, âge, espace, temps)}+1) = \alpha + s(an) + s(saison) + s(zone) + s(effort) + s(\text{variable environnementale}) + \dots$   
 les jeunes (groupe d'âge 1) : individus immatures en début de croissance, les adultes (groupes d'âge 4 et 5'), individus en fin de croissance et matures

➤ Analyse par zone  
 $\ln(PUE_{(année, âge, espace, temps)}+1) = \alpha + s(an) + s(saison) + s(effort) + s(\text{variable environnementale}) + \dots$   
 zones ICCAT : Sénégal, Sherbro, Picoles, Ghana, Cap- Lopez / Angola, Larga. (cf. Annexe 1)

α : réponse moyenne  
 s( ) : fonctions de lissage de chacun des effets. La variabilité annuelle et saisonnière est toujours prise en compte, ainsi que la variable effort.  
 s : erreur de distribution

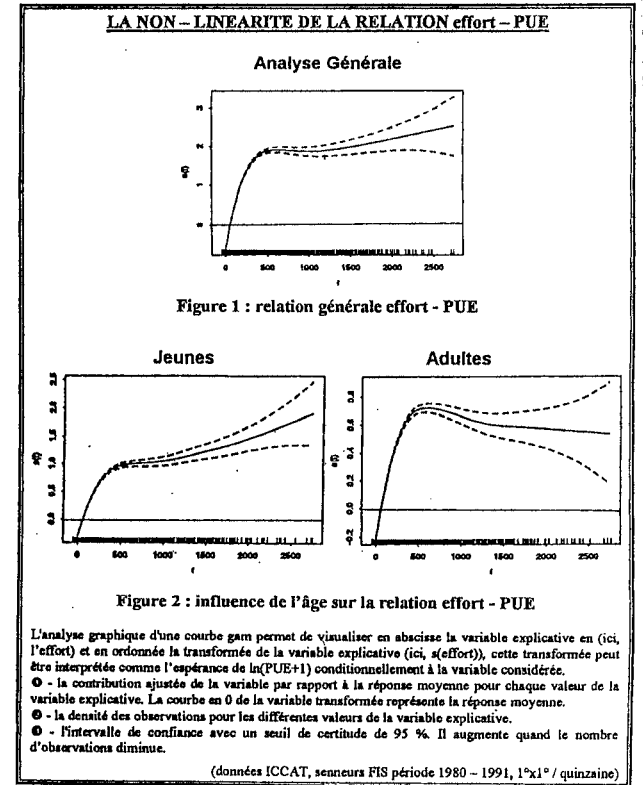
✦ L'avantage de cette méthode réside dans le fait qu'elle conserve la non linéarité des effets et donne la forme de la relation. Par contre, elle sous estime la largeur des limites de confiance sur les facteurs potentiellement importants et surestime le nombre de facteurs significatifs (In Venables and Ripley, 1994). C'est pourquoi le GAM ne peut être utilisé que de façon qualitative pour identifier les facteurs et déterminer la nature de leur influence. Par la suite, cette première approche doit être complétée par une analyse paramétrique.

**RESULTATS**

Les données halieutiques recueillies sont des données de pêche. La répartition spatio-temporelle de ces données n'est rien d'autre que le reflet direct des trajets effectués par les navires au cours de leurs campagnes de pêche. C'est pourquoi, il convient de commencer par déterminer les relations effort -PUE avant de présenter l'influence des paramètres de l'environnement sur les PUE.

**La non - linéarité de la relation effort - PUE**

La relation reliant les PUE à l'effort sur toute la zone est non linéaire et peut se découper en deux parties : Les PUE sont croissantes puis atteignent un palier (Figure 1).



✦ La partie ascendante de la courbe effort - PUE est toujours observé. Elle montrerait une dépendance de l'effort vis à vis de conditions environnementales défavorables qui influent sur l'abondance locale ou sur l'activité de pêche. De ce fait, les zones peu poissonneuses ainsi que les zones où les conditions climatiques défavorables à la pêche (vent, courant et cisaillement par les courants) ne sont pas attractives. Ainsi, les zones où les conditions environnementales sont défavorables entraînent des efforts de pêche faibles. De plus, dans les zones peu prospectées, les PUE observées seraient en général faibles, ceci pourrait être interprété comme une relation de cause à effet. En effet, un seneur prospectant seul une zone aura un rendement plus faible que des seneurs coopérant lors de leurs recherches. Ainsi, la partie ascendante de l'effort pourrait aussi s'expliquer par une augmentation locale de la puissance de pêche et d'une coopération entre bateaux.

⇨ Le pallier correspondrait à des PUE indépendantes de l'effort. Il est modifié suivant les influences testées. En effet, La comparaison des différentes relations effort - PUE montre que dans le cas des jeunes, le pallier fait place à une tendance croissante, tandis que dans le cas des adultes, moins nombreux que les jeunes dans le milieu, les PUE suivent une tendance décroissante (Figure 2). De plus, dans la zone Sénégal, où la ressource est saisonnièrement présente, donc limitée, la tendance est décroissante. Dans ces deux dernier cas où la tendance est décroissante, la ressource n'est pas indéfiniment renouvelable. Ces observations conduiraient à penser que la tendance décroissante reflète l'épuisement local de la ressource. Par contre, la tendance croissante pourrait être la conséquence d'une augmentation locale de la puissance de pêche et d'une coopération entre bateaux.

⇨ Ainsi, dans l'analyse générale, à partir d'une valeur d'effort correspondant à l'établissement du pallier constant, on pourrait donc considérer que les PUE dépendraient des variations d'abondance du stock et de la coopération entre pêcheurs. L'établissement d'un pallier constant serait donc la résultante d'une compensation entre le stock et les efforts déployés pour l'exploiter, (Figure 3).

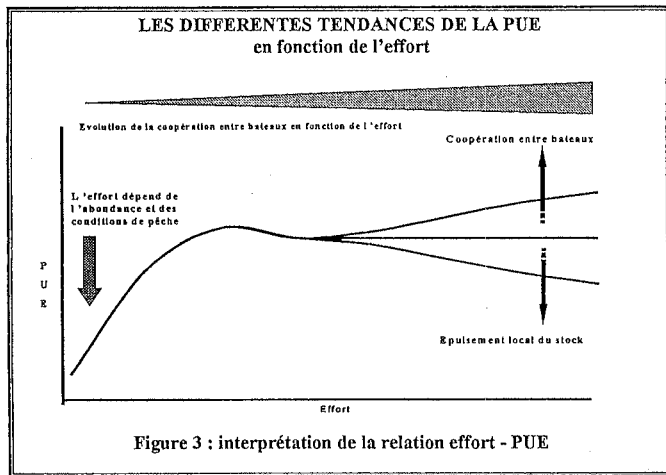


Figure 3 : interprétation de la relation effort - PUE

**La salinité comme facteur explicatif de la répartition spatiale ?**

La salinité est un paramètre explicatif important. La tendance générale de la relation salinité - PUE est décroissante (Figure 4). Autrement dit les PUE les plus élevées sont rencontrées dans les zones où les valeurs de salinité sont les plus faibles. Par âges, le comportement vis à vis de la salinité est différent selon les catégories : les PUE des individus d'âges inférieurs à 4 ans sont les plus élevées dans les eaux dessalées. Cette tendance décroît avec l'âge et disparaît pour les adultes. Les valeurs de salinité sont très stables saisonnièrement. La zone dans laquelle les PUE sont les plus élevées correspond à des eaux dessalées (< 31 ‰), localisées dans le fond du Golfe de Guinée. La zone, où la relation salinité - PUE est décroissante (valeurs comprises entre 31 ‰ et 34 ‰) s'étend le long des côtes africaines. La zone où la salinité a peu d'influence sur les PUE est transatlantique (Figure 5).

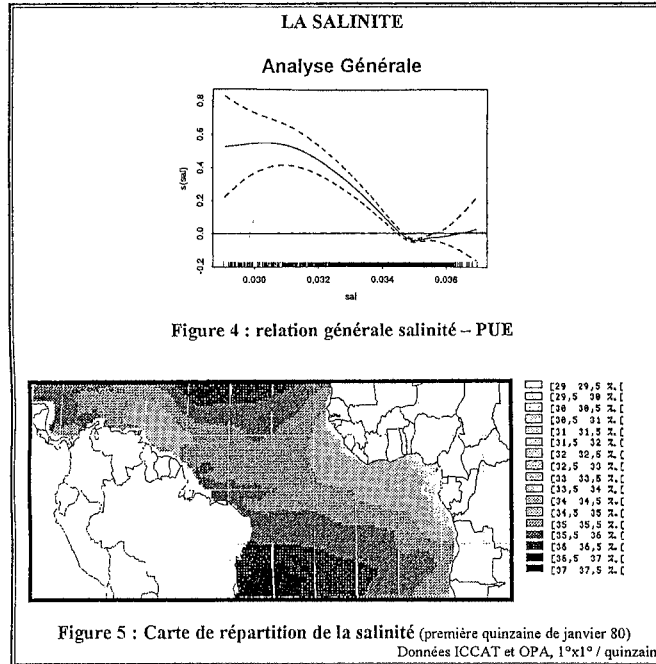


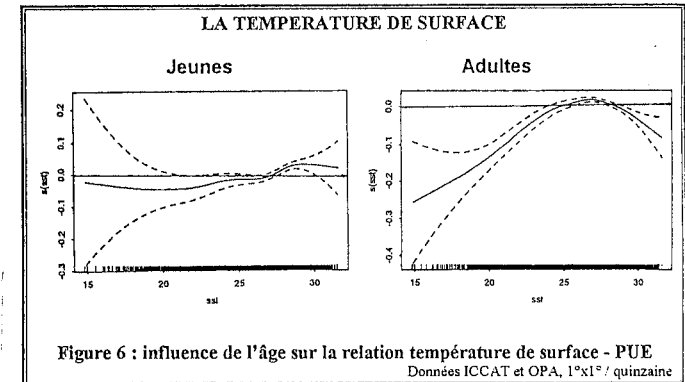
Figure 5 : Carte de répartition de la salinité (première quinzaine de janvier 80)

⊗ Ces résultats montrent que la salinité a surtout une influence sur les jeunes. Ce paramètre pourrait guider les adultes qui reviennent pondre dans des zones favorables aux larves et aux jeunes. Ainsi, la salinité pourrait être un critère favorable de la survie des larves et un facteur explicatif de la répartition spatiale. Elle pourrait permettre d'identifier les zones de ponte et les limites de l'aire de répartition du thons albacores en Atlantique. En effet, Ce paramètre très stable dans l'espace et dans le temps permettrait d'identifier les zones favorables aux larves (< 31 ‰), les zones de ponte (entre 31 ‰ et 34 ‰) et les limites de l'aire de répartition du thons albacores en Atlantique (< 36 ‰).

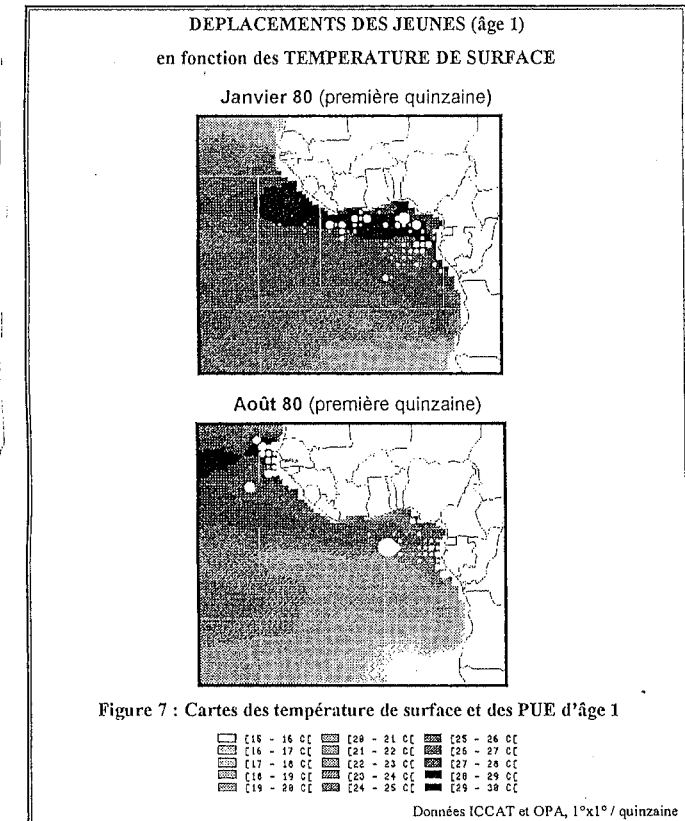
**La température de surface comme facteur explicatif des déplacements saisonniers ?**

La gamme de température de surface observées sur toute la zone Atlantique Tropical Est, où des albacores ont été sennés sont comprises entre 15 °C et 30 °C. Ce résultat laissent apparaître des valeurs extrêmes très discutables (dûes peut être à l'utilisation des données OPA).

Il est mis en évidence que les jeunes et les adultes ont un comportement différent vis à vis de la température de surface. En effet, les jeunes (âge1) sont plus sensibles aux températures de surface et préfèrent les eaux chaudes. Ils ont une gamme de températures favorables plus élevées comprise entre 27 et 30 °C, tandis que celle des adultes est comprise entre 25 et 29 °C (Figure 6). Leurs migrations saisonnières dans l'Atlantique Tropical Est correspondraient aux déplacements des masses d'eau chaude, tandis que les adultes resteraient localisés aux zones Ghana et zone Cap-Lopez / Angola (Figure 7).

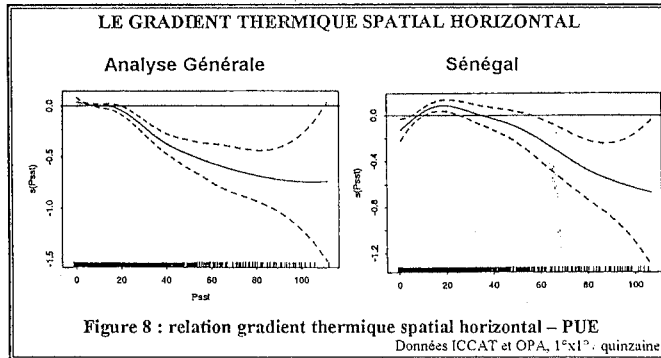


⊗ Ainsi la température de surface joue manifestement un grand rôle dans la répartition de la ressource thonière, elle pourrait être un facteur explicatif des migrations saisonnières et un critère distinctif du comportement entre jeunes et adultes.

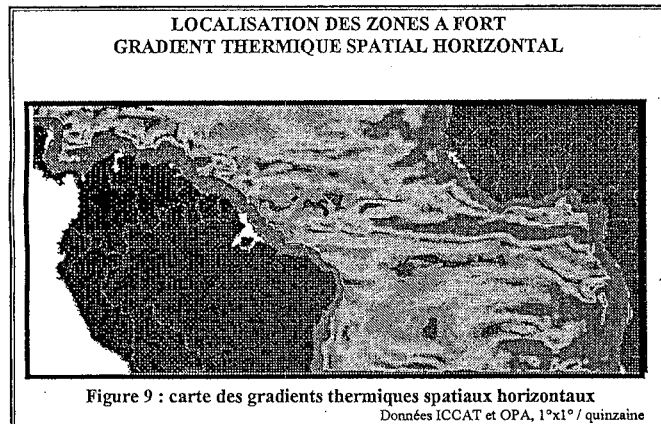


### Le gradient thermique spatial horizontal comme facteur explicatif des phénomènes de concentrations ?

Le gradient thermique spatial horizontal, quand il a un effet significatif, est un facteur qui est plus explicatif que la température de surface elle-même. La relation générale gradient thermique horizontal - PUE (tous âges et toutes zones confondus) et les relations par âge ont un profil quasiment identique (Figure 8). Les plus faibles gradients ( $< 0.02$  °C/km) sont favorables à l'observation des PUE les plus élevées. Ensuite, plus le gradient augmente et plus les PUE diminuent, tout d'abord rapidement entre 0.02 et 0.04 °C/km puis plus lentement au delà de 0.04 °C/km.



⊗ Cela signifierait que les thons se trouveraient en général en fortes concentrations dans les zones de faibles gradients thermiques. Ils préféreraient, en général, les zones où les températures de surface sont spatialement homogènes. Dans le cas particulier de la zone Sénégal, la relation gradient thermique spatial horizontal - PUE se décompose en deux parties seulement et permet d'observer un optimum pour des gradients de 0.02 °C/ km (Figure 8). Dans cette zone où les températures de surface ne sont pas favorables, les gradients thermiques spatiaux permettraient d'expliquer la présence de thons. Dans ce cas, les albacores se concentreraient dans les zones de forts gradients où fronts chaud et froid s'affrontent. Ils se placeraient ainsi du côté chaud et se nourriraient dans les eaux froides trophiquement riches. Ainsi, on pourrait penser que le gradient thermique spatial horizontal est un facteur explicatif des phénomènes de concentration locaux (Figure 9).



## CONCLUSION

Ces premiers résultats obtenus avec les outils d'analyse SIG et GAM et utilisant les données environnementales OPA (issues du modèle Opérationnel de l'Atlantique) permettent de confirmer et de préciser les connaissances déjà établies. Ils permettent de mettre en évidence les principaux paramètres de l'environnement qui ont un effet sur la disponibilité et l'abondance. Il faudrait donc poursuivre cette étude par une combinaison de ces facteurs pour mettre en évidence l'effet des interactions entre ces paramètres, car la présence de thons est la conséquence de plusieurs conditions environnementales réunies. De plus, il faudrait introduire des facteurs inter - spécifiques (prises de Listao ou Patudo) et prendre en compte plusieurs types de flottilles en considérant d'autres métiers que les senneurs FIS (senneurs espagnols ou japonais, palangriers, canneurs).

## Liste Bibliographique

- DE ROSA A. L., 1997. Analyse spatio-temporelle des relations thons - environnement. Mémoire de DAA - Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.
- FONTENEAU A. et MARCILLE J, 1988. Eds. Ressources pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre-Est. FAO Doc. Tech. Pêches 292 : p 391.
- FONTENEAU A., 1991. In CURY P. et ROY C., 1991. (Eds. ORSTOM). Pêcheries Ouest - Africaines, Variabilité, Instabilité et Changement : p 311 - 319.
- HASTIE T. and TIBSHIRANI R., 1990. Generalized Additive Models. Chapman and Hall, London. p 335.
- VENABLES W. N. and RILEY B. D., 1994. Statistics and Computing. Modern Applied Statistics with S-Plus. Springer-Verlag, New York. p 462.

## ANNEXE

