

# **Intégration de la télédétection aérospatiale dans la base de données d'un système expert dédié à la pêche thonière**

par

**JEAN-MICHEL STRETTA**

**MICHEL PETIT**

**MONIQUE SIMIER**

*Institut français de recherche scientifique  
pour le développement en coopération (ORSTOM)  
Centre ORSTOM  
B.P. 5045, 34032 Montpellier Cedex (France)*

## **RESUME**

Une nouvelle forme d'investigation est à présent possible avec les systèmes experts et l'intelligence artificielle. Si un système expert prend en compte les connaissances d'un expert dans sa base de données, dans le cas de la pêche se pose le problème du choix de l'expert: un halieute ou un pêcheur? La première solution donne la priorité aux données de l'environnement récoltées par télédétection, tandis que la seconde privilégie le comportement du thon. La solution est peut-être dans un système expert regroupant les deux termes de cette alternative. L'approche par l'intelligence artificielle pour la modélisation des mouvements des thons se focalise sur la représentation et la simulation

du comportement animal et sur les interactions entre l'animal et son environnement.

Ces types de démarches débouchant sur de nouveaux modèles prévisionnels pourraient être une voie pour le développement des pêcheries thonières dans les prochaines années.

### ABSTRACT

A new form of investigation is now possible with expert systems and artificial intelligence. If an expert system records an expert's specialised knowledge in its data base, we must face the problem of the choice of the expert. We can choose between a fishery biologist and a fisherman. The first solution gives priority to environmental data gathered with remote sensing, the second solution gives priority to tuna behaviour. The solution perhaps lies in an expert system mixing both solutions. The artificial intelligence methods focuses on the representation and simulation of animal behaviour and the relations of the animal and its environment for the modelisation of the relations between organisms and between organisms and their environment

This type of forecasting model could be the solution for the development of tuna fisheries for the next few years.

---

Les thonidés, comme beaucoup de poissons, ont un comportement de groupe et vivent en bancs de plusieurs centaines d'individus. Ces regroupements évoluent dans le temps et l'espace en fonction des conditions environnementales et de la biologie des individus qui les composent.

L'hypothèse de départ que nous adopterons pour tenter de modéliser les déplacements de ces bancs est que le but principal d'un banc est de se nourrir pour survivre\*. Dans ce cadre, son comportement sera donc régi exclusivement par cet aspect de la relation avec le milieu.

### POSITION DU PROBLEME ET OBJECTIFS

Dans la ceinture intertropicale de l'océan mondial, les thonidés ont *"un habitat très étendu qui les amène de manière encore inexplicite à fréquenter des zones oligotrophes (injustement qualifiées de pauvres) qui représentent en surface la plus grande partie de cet habitat"* [Thons et

---

\* Dans une première approche, on n'envisagera pas les autres aspects de son comportement, comme la reproduction, mais ceux-ci devront pouvoir être intégrés plus tard au système.

environnement, 1989]. Au sein de ces zones oligotrophes, des "processus d'enrichissement engendrés par le vent à une petite échelle espace-temps (micro-upwellings) très variables, donneraient à ces vastes zones un aspect de «peau de panthère»" [Thons et environnement, 1989]. Dans cet océan oligotrophe, HERBLAND et VOITURIEZ [1977] ont mis en évidence une structure tropicale typique qui est un système à deux couches dont celle de surface est dépourvue de nitrate. Dans ce type de situation, la remontée de la thermocline en surface va créer un enrichissement du milieu et des anomalies dans la répartition des paramètres d'environnement (température, salinité, turbidité, etc.). Le thon, qui est un poisson d'interface, est attiré par une anomalie ou un fort gradient qu'il détecte dans son champ de perception selon les critères établis par PETIT [1986]. C'est ainsi que les thons sont attirés par les anomalies thermiques de surface (exemple des zones frontales entre les eaux chaudes et les eaux froides issues d'un upwelling côtier) ou verticales (cas des dômes thermiques où la thermocline est proche de la surface sans l'atteindre), par une anomalie bathymétrique (exemple d'un haut-fond ou d'un guyot, etc.). La recherche de ces anomalies qui sont sources d'enrichissement, donc de nourriture disponible, permettrait de prévoir les zones de rassemblement des thons à leur proximité. Les objets ou systèmes flottants au sens large tels que les épaves ou les associations avec d'autres espèces pélagiques ont un effet attractif sur les thons sans qu'il y ait une source d'enrichissement évidente.

## LES OUTILS DE MODELISATION EXISTANTS

Le modèle prévisionnel PREVI-PECHE qui est le résultat d'une analyse praxéologique des conditions de surface permet de définir les zones favorables à la pêche thonière [STRETTA, 1990]. Ce modèle est bâti sur une analyse empirique des conditions hydrologiques de surface associées à des concentrations de thonidés. Ce passé hydrologique de la masse d'eau est mesuré à partir de données thermiques satellitaires. Sommairement, PREVI-PECHE compare l'évolution des températures à une évolution thermique idéale (scénario thermique idéal) et évalue selon l'écart à ce scénario idéal la probabilité de pêche dans la zone considérée.

Le problème de la modélisation des déplacements des bancs de thons (donc de leur prévision) peut être également envisagé en termes de modélisation classique en utilisant un algorithme. Ce type d'approche est développé par EDWARDS et KLEIBER [sous presse] avec le modèle TOPS\*. Ce modèle permet de simuler le comportement des bancs de dauphins et des thoniers qui recherchent ces bancs\*\*, dans une zone où les conditions environnementales (ramenées en fait à un paramètre appelé qualité du milieu) sont fixées arbitrairement au départ.

---

\* TOPS : Tuna-vessel Observer Program Simulator.

\*\* Dans l'océan Pacifique oriental, l'essentiel des prises de thonidés est effectué sur des bancs mixtes dauphins-thons.

Ce modèle est fondé sur le fait que les dauphins ont tendance à se regrouper dans les zones qui leur sont le plus favorables et les thoniers à suivre les dauphins dès qu'ils les repèrent.

On pourrait facilement concevoir le couplage entre les modèles TOPS et PREVI-PECHE, le premier simulant le déplacement des thonidés dans une zone où les conditions environnementales sont optimales et définies par le second. Ce type d'approche ou ce type de modélisation pourrait être adapté à notre problème ; il présente l'inconvénient d'être un peu trop figé dans une démarche purement mathématique. Les connaissances que l'on a des lois qui régissent les interactions entre les thons et leur environnement relèvent davantage de l'expertise que de la modélisation analytique. Comme le soulignent SAARENMAA et NIKULA [1989], l'élaboration d'un modèle de simulation en écologie relève encore plus de l'art que de la science.

## SYSTEME EXPERT ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Il existe à présent une approche nouvelle pour modéliser des connaissances dans un domaine particulier : l'intelligence artificielle et les systèmes experts, qui utilisent essentiellement des méthodes empiriques reposant sur un savoir heuristique permettant de trouver la meilleure solution et non pas la solution optimale [CHATAIN & DUSSAUCHOY, 1987]. Ces auteurs précisent que les systèmes experts ont la particularité de manipuler des notions principalement de nature symbolique par opposition aux données numériques utilisées par les programmes classiques. Le but d'un système expert est *"la modélisation du comportement d'un expert humain, accomplissant une tâche de résolution de problèmes pour laquelle on ne dispose d'aucun algorithme et ce dans un domaine bien précis"* [DINCBAS, 1983]. Le transfert de la compétence de l'expert est un processus long et incrémentiel constitué d'échanges constants entre l'expert et le cognicien. Mais se poserait alors le problème du choix de l'expert. Dans le cas de la pêche thonière, on aurait le choix entre deux types d'expert : l'halieute ou le pêcheur. Si l'on privilégie l'analyse des conditions hydrologiques de surface associées à des concentrations de thonidés, l'expert sera l'halieute; en revanche il serait possible d'imaginer un système expert dans lequel le pêcheur, aidé en cela par un cognicien, transférerait ses connaissances vers le système expert [BARD communication personnelle]. Une solution mixte serait sans doute la plus souhaitable.

Dans une autre direction, des chercheurs travaillant dans le domaine de l'intelligence artificielle ont développé plusieurs techniques symboliques et non algorithmiques qui imitent et/ou reproduisent l'apprentissage humain, les perceptions dans un environnement, les prises de décision, etc. Ces techniques visent à reproduire l'intelligence humaine et pourront être adaptées à la modélisation de processus similaires chez les animaux pour des applications impliquant l'hétérogénéité spatiale de l'environnement, des comportements dirigés,

des interactions au sein et/ou entre les systèmes, la mémoire des relations spatiales. Ces nouvelles méthodes, qui se focalisent sur la représentation et la simulation du comportement animal et sur les interactions entre l'animal et son environnement, utilisent les techniques de la programmation orientée objet pour modéliser les interactions parmi les organismes ainsi que les interactions entre les organismes et leur environnement.

A partir de règles établies par des experts, de connaissances sur les besoins énergétiques des thons, d'études sur les réactions des thons en fonction du milieu et de données disponibles sur le milieu marin, on pourrait, en utilisant les techniques de l'intelligence artificielle, prévoir les déplacements des bancs de thons.

### POURQUOI SE TOURNER VERS L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE?

Si l'on fixe une situation initiale concernant une population thonière dans une zone et que l'on associe à cette population un jeu de paramètres environnementaux, il faudrait en déduire une situation finale pour cette même population dans le temps et dans l'espace.

Il serait également intéressant d'appliquer un raisonnement inverse, à savoir, de repartir de cette situation finale pour recomposer et retrouver de nouveaux jeux de paramètres qui aboutiraient à cette même situation finale, mais par des voies différentes.

Les modes de déduction par chaînage avant et chaînage arrière propres aux systèmes experts nous semblent coïncider avec ce type de raisonnement. Mais ce type de démarche se heurte au problème de la représentation du milieu dans l'espace et à la question de l'intégration des différents niveaux d'influence de l'environnement sur les thons. Sachant que le thon est attiré par un gradient, et non par la distribution homogène d'un paramètre, se pose également le problème du codage de l'information dont on dispose sur ces paramètres environnementaux. Il s'agit de découper le milieu en sous-zones élémentaires qui soient mises à jour régulièrement durant le déroulement d'une simulation par l'acquisition de nouvelles valeurs. Mais ce découpage doit être flou et modifié en fonction des conditions environnementales. D'aucuns verront ici la pierre d'achoppement de cette modélisation : la connaissance des paramètres de l'environnement doit être très fine tant en résolution spatiale que temporelle. C'est là que la télédétection intervient comme outil capable d'assurer ce continuum afin d'alimenter et de mettre à jour la base de données à caractère environnemental.

Par ailleurs, la programmation orientée objet permet la représentation du domaine des connaissances sous forme "d'objets" caractérisés par leurs attributs et par des méthodes, c'est-à-dire les opérations qui se rapportent à l'objet considéré. Le deuxième concept

(qui n'est pas propre à l'intelligence artificielle) est celui des méthodes de recherche pour trouver et évaluer les différents chemins pour relier une situation de départ à une situation d'arrivée. Sur ces deux points, les travaux de SAARENMAA *et al.* [1988] sur les élans de Finlande nous apportent des éléments intéressants concernant une approche de la modélisation en écologie mettant en oeuvre les concepts de la programmation orientée objet. Pour être à même de prédire les dommages causés par les élans, SAARENMAA & NIKULA [1989] tentent de reproduire le raisonnement de l'élan quand il est à la recherche de nourriture ou d'autres besoins.

En reprenant cette démarche, il serait possible de l'appliquer au comportement d'un banc de thons en partant du principe qu'il se déplace en permanence à la recherche de nourriture et qu'il perçoit une information sur une fraction seulement du milieu qui l'entoure. Lorsque le banc "détecte" un environnement qui lui est favorable, c'est-à-dire riche en nourriture, il réagit en s'orientant vers cet environnement. Un banc ne pourra prospérer que dans la mesure où il tire plus d'énergie de sa nourriture qu'il n'en dépense pour l'atteindre.

## LA MODELISATION

### Réalisation du modèle

De quelles données disposons-nous pour développer ce type d'approche dans le domaine de l'halieutique thonière ?

Pour la "philosophie" du déplacement, de la formation et de la dispersion des bancs, nous travaillerons sur les calculs et hypothèses exposés dans PETIT [1988].

Pour l'instanciation des paramètres de l'environnement, il faut disposer de volumes importants de données sous forme de fichiers informatisés. Pour les températures de surface, on utilisera les données obtenues par satellites avec les capteurs infrarouge classiques ou les capteurs micro-ondes tel que SMMR\* pour s'affranchir des problèmes de nébulosité. On disposera également, à défaut de carte exhaustive des fonds sous-marins, d'une liste de positions de hauts-fonds connus repérés par les satellites SPOT [PETIT *et al.*, 1989] ou SEASAT ou GEOS-3 [BAUDRY, 1986]. A terme, il faut prévoir l'accès à tout type de fichier pouvant apporter une information utile : températures de surface de la mer, données bathymétriques, courants, vents, etc.

Pour la représentation des connaissances, on considérera l'objet bancs de thon comme l'entité de base (et non l'individu-poisson). Comme proposé par PETIT [1988], cet objet banc est caractérisé par la liste des attributs suivants : la taille, la position, le rayon de perception (zone dans laquelle le banc peut détecter une variation de qualité du milieu), le potentiel physiologique, la vitesse et l'orientation du déplacement et un facteur mémoire du banc. La vitesse de nage du banc

---

\* SMMR : Scanning Multichannel Microwave Radiometer.

est fonction du milieu, du potentiel physiologique du banc et d'un facteur aléatoire. L'attribut orientation du déplacement est fonction également du milieu et d'un facteur mémoire que l'on attribue au banc. Cette mémoire du banc est fondée sur l'idée que plus le banc avance dans une direction sans rien trouver, plus l'intérêt de continuer dans cette direction diminue pour lui.

Pour déterminer l'indice de productivité potentielle d'une zone, on utilisera le modèle prévisionnel PREVI-PECHE [STRETTA, 1990]. Les résultats de ce modèle peuvent se traduire en termes de nourriture disponible et utilisés en entrée d'une simulation. Il s'agit ici d'arriver à représenter géographiquement ces zones pour lesquelles on connaît l'affinité particulière du thon et d'arriver à quantifier leur influence. On considérera que la quantité de nourriture disponible a un effet direct sur la présence de thons, tout simplement par le fait qu'un thon se déplaçant sans trouver la nourriture nécessaire s'affaiblira progressivement et finira par mourir après désagrégation du banc ; inversement, lorsqu'il rencontrera une zone riche, il aura tendance à y rester.

### **Validation du modèle**

Pour la validation du modèle, on dispose de données sur les prises des flottilles thonières. Ces fichiers portent sur les enquêtes réalisées sur plusieurs années auprès de patrons pêcheurs en Atlantique tropical et Pacifique occidental. Elles décrivent les prises journalières ou de chaque coup de filet. Les informations dont on dispose sont : la date, la position exacte du bateau, le poids total de poisson pêché en tonnes (dans une première approximation, nous assimilons cette information à la taille du banc) et enfin la répartition selon la taille et l'espèce des poissons pêchés. On peut ainsi localiser chaque jour pendant plusieurs années la position de quelque cent à deux cents bancs de thons dans différentes zones de pêche. De telles données peuvent permettre d'initialiser une simulation et de vérifier ensuite dans quelle mesure les résultats obtenus correspondent à une réalité.

En résumé, ce genre de simulation nous permettrait d'accéder rapidement et efficacement à tous ces fichiers de données qui constituent une part essentielle de la connaissance dans ce domaine.

## **CONCLUSION**

Après avoir tenté d'approcher le problème du déplacement des thons avec des modèles indirects qui s'appuient sur une analyse des conditions hydrologiques de surface mesurées par satellite ou à partir de modèles fondés sur les réactions des thons face à des conditions de milieu stables et utilisant des langages de programmation procédurale, l'exploration des possibilités des techniques d'intelligence artificielle devrait être un moyen d'affiner ce que l'on sait (et que l'on croit savoir).

dans le domaine des relations thon-environnement. Mais plusieurs difficultés subsistent, en particulier celles liées à la représentation du milieu dans l'espace et le temps.

La télédétection, par la bonne réactualisation des bases de données environnementales qu'elle permet, tant en précision relative des paramètres qu'en couverture spatio-temporelle, est un outil de choix pour aider à les résoudre. La limite actuelle réside plutôt, comme il arrive souvent pour les techniques d'intelligence artificielle appliquée à la télédétection, dans l'extraction des connaissances des processus biologiques.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAUDRY (N.), 1986. - Filtering SEASAT and GEOS-3 altimeter data in the southwest Pacific. Rapport - *ORSTOM Nouméa, géologie-géophysique*, N 4-86, 11 p.
- CHATAIN (J.-N.) & DUSSAUCHOY (A.), 1987. - *Systèmes experts, méthodes et outils*. - Paris : Eyrolles. - XXX-279 p.
- DINCBAS (M.), 1983. - Contribution à l'étude des systèmes experts. *Thèse docteur-ingénieur, ENSAE Toulouse*, 178 p.
- EDWARDS (E.F.) & KLEIBER (P.), sous presse. - Effects of non-randomness on line transect estimates of dolphin abundance. *Fishery bulletin*.
- HERBLAND (A.) & VOITURIEZ (B.), 1977. - Production primaire, nitrate et nitrite dans l'Atlantique tropical. I. - Distribution du nitrate et production primaire. *Cahiers ORSTOM, série océanographie*, 15, 1, pp. 47-55.
- PETIT (M.), 1986. - Coherent theory on tuna behavior, in : *Proceedings of the 36th annual tuna conference, May 18-21, 1986*, ed. R.W. Brill, p. 14. - Honolulu : Southwest fisheries center NMFS.
- PETIT (M.), 1988. - Tuna school, predation strategy and oceanic resources, in : *Proceedings of the 38th annual tuna conference, Lake Arrowhead, California, May 17-20, 1987*, p. 22. - La Jolla : Inter-American tropical tuna commission.
- PETIT (M.), STRETTA (J.-M.), SIMIER (M.) & WADSWORTH (A.), 1989. - Anomalies de surface et pêche thonière : SPOT et la télédétection de zones de pêche par l'inventaire des hauts-fonds. *Mappemonde*, 89, 3, pp. 13-19.



SAARENMAA (H.) & NIKULA (A.), 1989. - Managing moose damage in forest plantations: a deep model of animal behavior on a geographic information system platform, in: *9th international workshop on expert systems and their applications, Avignon, France, May 29-June 2, 1989*, pp. 825-831.

SAARENMAA (H.), STONE (N.D.), FOLSE (L.J.), PACKARD (J.M.), GRANT (W.E.), MAKELA (M.E.) & COULSON (R.N.), 1988. - An artificial intelligence modelling approach to simulating animal/habitat interactions. *Ecological modelling*, **44**, pp. 125-141.

STRETTA (J.-M.), 1990. - La télédétection infrarouge thermique peut-elle aider à la prévision des zones de pêche ? La réponse praxéologique. *Bulletin de l'Institut océanographique, Monaco*, n° spécial **6**, pp. 173-198.

*Thons et environnement, Paris du 12 au 15 septembre 1988*. - Paris : ORSTOM, 1989. - 84 p. - (Colloques et séminaires).