

INTERACTIONS ENVIRONNEMENT-THONIDES: DIFFICULTES DE MODELISATION DE L'AGREGATION DES BANCS

M. Petit, J. M. Stretta, M. Simier
Centre ORSTOM, B.P. 5045, Montpellier-Cédex, France

SUMMARY

In the framework of a more general simulation on tuna behavior with artificial intelligence tool, we show the difficulties in modeling the tuna schools concentration phenomena. Research on the rules which control this phenomena is proposed by the accurate analysis of the schools breakdown by time position (operational research) and space position (aggregative phenomena). The results lead us to think that the classical accepted thesis are, in fact, difficult to validate.

RESUME

Dans le cadre d'une étude plus générale de simulation du comportement des thonidés en intelligence artificielle, nous abordons les difficultés de modélisation du phénomène de concentration des bancs. Une recherche sur les lois qui président à de tels phénomènes est proposée dans l'analyse fine de la répartition dans le temps (recherche opérationnelle) et dans l'espace (phénomènes agrégatifs). Les résultats amènent à penser que les hypothèses classiquement admises restent difficiles à valider.

RESUMEN

En el contexto de una simulación más general del comportamiento mediante un instrumento de inteligencia artificial se muestran las dificultades que se encuentran para modelizar los fenómenos de concentración de bancos. Se propone efectuar una investigación sobre las normas que controlan estos fenómenos mediante un análisis fino del reparto en el tiempo (investigación operacional) y en el espacio (fenómenos de agregación). Los resultados conducen a pensar que las tesis clásicamente aceptadas son difíciles de validar.

1 INTRODUCTION

La grande majorité des auteurs s'accordent à reconnaître que le comportement agrégatif de base des poissons est la mise en banc et de nombreuses études sur ces bancs et leur déterminisme ont été faites. Il est tout aussi admis que, les migrations de ces bancs, quel'en soit la cause, peuvent engendrer des concentrations. Selon notre approche ces migrations sont en relation avec les facteurs de l'environnement qui en régent en fait vitesse et direction (PETIT, 1986). Cette conception présente l'avantage de réduire le phénomène de migration à une fonction émergente de comportements élémentaires individuels de banc ou de poisson très simples, voire dichotomiques. L'application à la modélisation du mouvement des bancs de thons s'en trouve facilitée surtout au travers d'une programmation orientée objet (STRETTA *et al.*, 1990a; STRETTA *et al.* 1990b).

Toutefois, pour garantir ce type de programmation, il est utile de vérifier si la répartition spatio-temporelle des bancs obéit aux lois statistiques classiques car peu ou pas d'études ont été faites sur ce sujet en ce qui concerne les thonidés. Tout au plus est-il admis que dans l'espace temps océanique, les apports énergétiques auxiliaires - donc la cascade des productivités induite - sont répartis en "tâche". On peut donc s'attendre à ce que cette répartition des bancs dans l'espace suive une loi agrégative et celle de leur arrivée une loi de Poisson.

2. ETUDE DE LA REPARTITION TEMPORELLE DES BANCS DE THONIDES

Pour une étude de la répartition spatiale des bancs de thonidés, il ne serait pas sérieux d'utiliser les données de pêche compte tenu du biais lié au comportement grégaire très marqué... des pêcheurs. Cependant, pour une étude temporelle, ce biais intervient dans une proportion beaucoup plus faible. C'est ainsi qu'à partir des bases de données, recueillies par les observateurs lors des années "Listao" et "Albacore", nous avons pu calculer le temps passé par un bateau en recherche, c'est-à-dire le temps " t_a " passé entre "l'arrivée" de deux bancs, au sens recherche opérationnelle du terme. Bien entendu, pour cela nous avons déduit le temps lié au sennage complet. Ce temps " t_a " peut s'assimiler à une durée de service (ou recherche du banc) et chaque bateau à une station. Nous obtenons le tableau 1 et la figure 1.

A partir de ce tableau, il est trivial de calculer le temps moyen " m " d'attente entre deux bancs :

$$m = 3 \text{ h } 09 \text{ mn}$$

d'où une espérance théorique de Poisson de :

$$l = m^{-1} = 0.318 \text{ banc/heure}$$

L'ajustement à une loi de Poisson - classique pour une loi d'arrivée - de type :

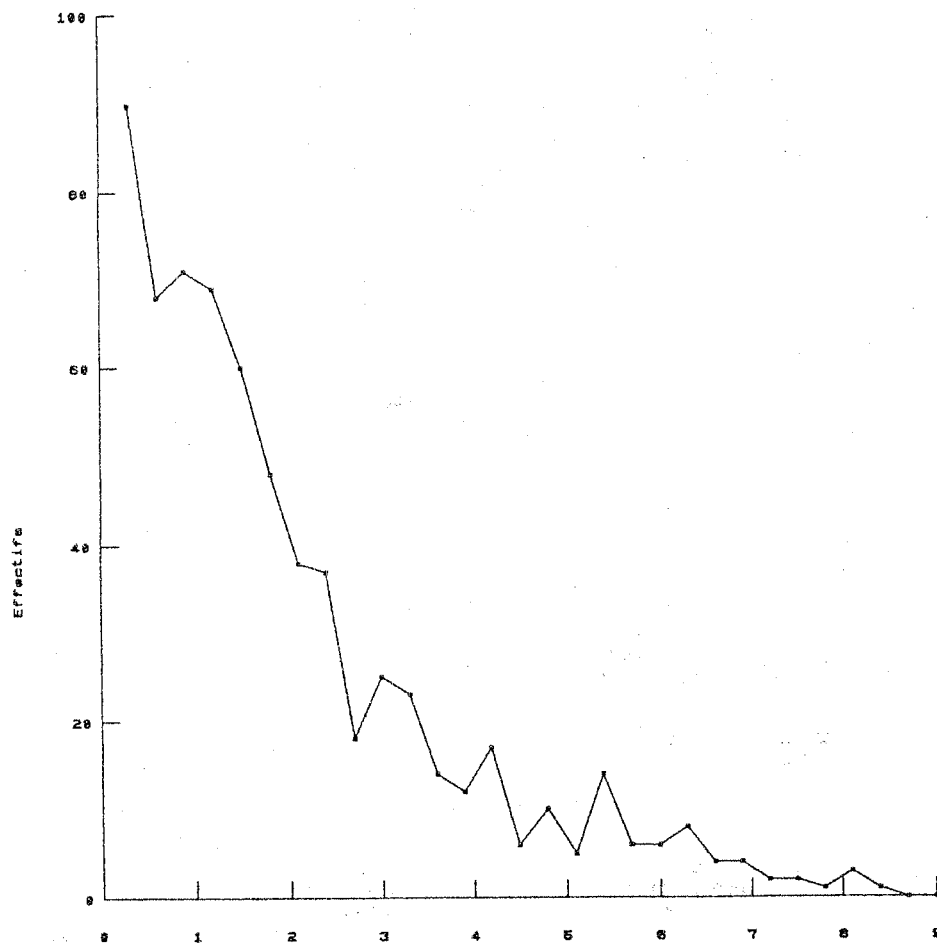
$$p(H) = l e^{-lH}$$

donne un test du CHI-2 qui n'est pas statistiquement significatif.

Nous avons confronté ce résultat avec ceux d'une étude similaire sur la base de données RAPT (Radiométrie Aérienne et Prospection Thonière) qui, elle, n'est pas tributaire de la pêche et du comportement des bateaux. Dans ce cas là, les biais sont différents et liés à la proximité des terrains d'atterrissage et des prospections "en étoile". Néanmoins, les résultats restent tout à fait comparables : on obtient une loi de type exponentielle négative mais qui ne s'ajuste pas à une loi de Poisson.

Figure 1: OBSERVATIONS PECHES ATLANTIQUE

DELAI D'ATTENTE ENTRE DEUX MATTES



Intervalles de temps (classes de 30 mn)

(x 200) born.

En conclusion, les durées entre deux repérages de thon en surface, depuis un bateau ou un avion ne suit pas une loi de Poisson et les méthodes d'investigation de recherche opérationnelle classique sur la distribution temporelle fine des bancs restent de ce fait limitée.

Durée du service compris entre	Nombre de services (total 662)	f obs.	f théorique
0 - 1 h	90	13.6	14.7
1 - 2 h	68	10.3	12.5
2 - 3 h	71	10.7	10.7
3 - 4 h	69	10.4	9.1
4 - 5 h	60	9.1	7.8
5 - 6 h	48	7.3	6.6
6 - 7 h	38	5.7	5.7
7 - 8 h	37	5.6	4.8
8 - 9 h	18	2.7	4.1
9 - 10 h	25	3.8	3.5
10 - 11 h	23	3.5	3.0
11 - 12 h	14	2.1	2.6
12 - 13 h	12	1.8	2.2
13 - 14 h	17	2.6	1.9
14 - 15 h	6	0.9	1.6
15 - 16 h	10	1.5	1.4
16 - 17 h	5	0.8	1.2
17 - 18 h	14	2.1	1.0
18 - 19 h	6	0.9	0.8
19 - 20 h	6	1.2	0.7
20 - 21 h	8	0.6	0.6
21 - 22 h	4	0.6	0.5
22 - 23 h	4	0.3	0.4
23 - 24 h	2	0.3	0.4
24 - 25 h	2	0.2	0.3
25 - 26 h	1	0.5	0.3
26 - 27 h	3	0.2	0.2
27 - 28 h	1	0	0.2

Tableau 1. Analyse des arrivées des bancs de thon.

3. MODELE DE REPARTITION SPATIALE

Nous avons vu plus haut que l'étude de la répartition spatiale fine de ces mêmes bancs était très délicate à faire à partir des données de pêche et que le recours à la modélisation était une voie plus rigoureuse. 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.

Le thon, qui est un poisson d'interface (PETIT, 1986), est attiré par une anomalie ou un fort gradient qu'il détecte dans son champ de perception. 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 verticaux (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, permettait de prévoir les zones de rassemblement des thons à leur proximité.

D'autre part, 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 pouvoir compenser ses dépenses énergétiques par un apport extérieur, s'affaiblira progressivement et finira par mourir ; inversement, lorsqu'il rencontrera une zone riche, il aura tendance à y rester.

Des études antérieures, (PETIT, 1988), ont mis en relation l'indice de productivité potentielle d'une zone avec la densité et la taille des bancs de thons présents sur cette zone. L'hypothèse de départ que nous adopterons pour tenter de modéliser les déplacements des bancs de thonidés et que leur but principal est de se nourrir pour survivre. Une simulation, écrite en turbo-pascal orienté objet (version 5.5) modélise ces hypothèses. Comme dans d'autres modèles de type analytique (EDWARDS et KLEIBER, sous presse) le déplacement des bancs s'effectue dans une zone de l'océan comportant un gradient de "richesse", quant à la nourriture. La quantité de nourriture nécessaire à la survie d'un banc est calculée en fonction de son tonnage. Chaque banc se voit attribuer une valeur d'"état physiologique" qui décroît tant qu'il ne peut se nourrir. Sa vitesse de nage est ajustée selon son état physiologique. L'orientation de ses déplacements est déterminée par la richesse nutritive des masses d'eau qu'il traverse, avec toutefois une composante aléatoire qui laisse place aux aspects non modélisés de son comportement. Enfin, un banc a la possibilité de se scinder en deux, ce qui peut lui permettre de survivre dans une zone où la densité de nourriture est moins importante. Inversement, il peut se regrouper avec d'autres bancs lorsque les conditions sont bonnes.

L'entité de base considérée est le banc auquel sont associées, selon la notion de programmation orientée objet, un certain nombre de caractéristiques propres, les attributs et les méthodes. Les attributs sont par exemple la position du banc dans l'espace, ou son tonnage, etc. Les méthodes sont des procédures décrivant des opérations s'appliquant exclusivement à des objets du type banc. C'est la méthode qui permet de déplacer un banc d'une position à une autre, en réalisant automatiquement toutes les mises à jour des attributs qui en découlent ; ou encore la méthode qui évalue la biomasse-proie nécessaire à la survie du banc.

A partir de cette entité de base, est construit un objet complexe que nous appellerons population. Il s'agit d'une liste chaînée circulaire constituée de l'ensemble des objets banc définis dans la zone de simulation. Un pointeur est associé à chaque banc, le reliant au banc suivant la liste. Des méthodes s'appliquant à cet objet complexe sont également définies : ajouter ou supprimer un banc dans la liste, scinder un banc en deux sous-unités, regrouper plusieurs bancs voisins, etc. La population est initialisée sous forme d'une liste de bancs au tonnage et à la position aléatoire.

Le milieu est représenté par une zone de simulation, dont les dimensions sont paramétrables, et quadrillée en parcelles de 10 km de côté. A chaque parcelle est associée une variable qualité représentative de la biomasse proie disponible à l'alimentation des thons. Dans l'état actuel du modèle, une fonction mathématique est utilisée pour valoriser ce paramètre. Elle définit dans la zone de simulation un certain nombre de régions riches sous forme de "taches" concentriques. A l'initialisation, chaque parcelle reçoit comme attribut une valeur de biomasse disponible variant entre 20 mg/m³ et 80 mg/m³, valeurs mesurées par ailleurs au cours de campagnes océanographiques (ROGER, 1982).

Le pas de temps choisi est le jour. A chaque pas de temps, la population est traitée entièrement par :

- Déplacement de tous les bancs, en fonction de leur direction et de leur vitesse courantes. La vitesse de déplacement s'adapte à l'état physiologique.
- Evaluation de la mortalité au sein de la population : pour chaque banc, évaluation de son état physiologique et élimination si la valeur létale est atteinte.
- Evaluation des besoins et de la disponibilité en nourriture. Si la biomasse-proie disponible ne satisfait pas aux besoins énergétiques du banc, celui-ci se scinde en deux, sinon il se maintient dans son intégralité, ou éventuellement se regroupe avec d'autres bancs voisins. L'interaction environnement-thon n'est traitée ici que dans un sens, à savoir que la biomasse consommée par le thon, lorsqu'il est présent sur une zone, n'est pas prise en compte. La valeur de biomasse disponible reste constante durant toute la simulation.

Nous allons maintenant chercher à caractériser le modèle de répartition spatiale, généré par le programme, des bancs dans la zone de simulation. Nous prendrons pour exemple les résultats de deux simulations de dix jours, à partir d'une distribution initiale régulière de vingt bancs. La première simulation se fait dans une zone comportant une seule concentration de nourriture alors que la deuxième se déroule avec quatre pôles de richesses. Les deux simulations sont ensuite comparées à deux distributions théoriques : aléatoire et régulière dans le tableau suivant et les figures 2 et 3 (cette étude a fait l'objet d'un module de diplôme d'université, SIMIER, 1990).

	Simulation avec un pôle de richesse	Simulation avec 4 pôles de richesse	Distribution aléatoire	Distribution régulière
Total des bancs recensés	130	82	130	121
Moyenne par quadrat*	1.30	0.82	1.30	1.21
Variance interquadrat	4.09	1.42	1.40	0.23
Indice de dispersion	3.15	1.73	1.08	0.19
Indice de Lloyd	3.45	1.55	1.38	0.40
Estimation du paramètre d'une binomiale négative	0.61	1.12	16.24	-1.49

* La zone de l'océan en simulation est découpée en cent quadrats où un recensement des bancs est effectué.

L'indice de dispersion caractérise bien l'agrégation dans les deux simulations puisque largement supérieur à 1. L'indice d'attroupement moyen de Lloyd reste bien proche de la moyenne comme dans le cas de répartition aléatoire. Ceci est également bien caractérisé par la forte valeur du paramètre de la loi binomiale négative.

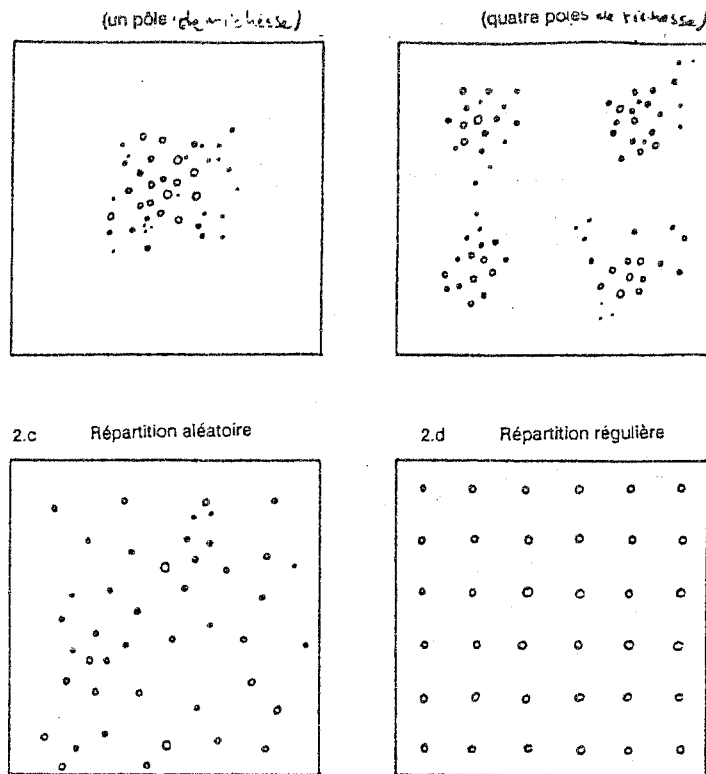


Figure 2 Quatre types de répartitions des bancs de thonidés dans la zone de simulation.

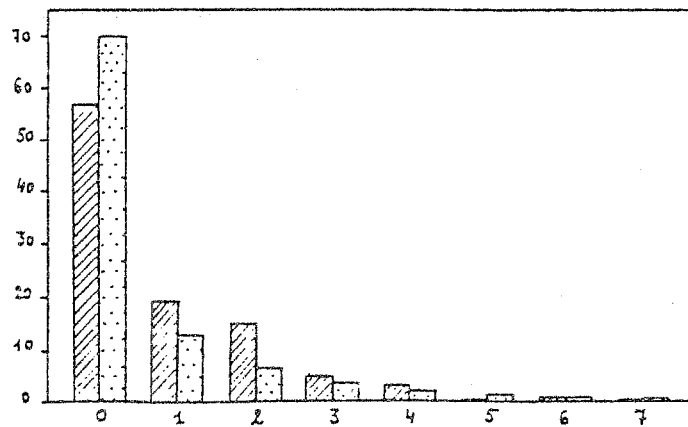


Figure 3 Distribution des fréquences observées (hachuré) et théoriques (pointillé) du nombre de bancs par unité d'échantillonnage. Répartition agrégée de type (b).

L'agrégation est ainsi mise en évidence par divers estimateurs et les faibles valeurs de k pour les deux simulations nous incitent à essayer un ajustement sur la loi correspondante. Pour cela nous utiliserons un autre estimateur de k que celui présenté dans le tableau précédent car non adéquat (rapport k /moyenne trop faible). Nous prendrons donc l'estimateur qui résout :

$$k = \log(1 + \text{moyenne}/k) = \log(n/f_0)$$

où n est le nombre de bancs recensés total et f_0 la fréquence de la classe d'effectif nul $k = 0.25$.

Le résultat est donnée sur la figure 3. Compte tenu des effectifs de classes, un test G pour réaliser l'ajustement est préférable au CHI-2. Ce test rejette (à 5 %) l'hypothèse de conformité à la loi binomiale négative.

4. CONCLUSION

Les deux résultats sur la répartition fine spatio-temporelle, des bancs de thons bien que négatifs montrent combien la modélisation et l'intégration du comportement de déplacement sont difficiles et qu'il faut être particulièrement vigilant quant à l'acceptation d'hypothèses qui, au premier abord, semblent acquises au vu d'études graphiques sommaires ou d'analyses élémentaires des bases de données.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- EDWARDS E.F. & KLEIBER P. (sous presse). Effects of non-randomness one line transect estimates of dolphin abundance. Fishery Bulletin.
- PETIT M. (1986). A coherent theory on tuna behaviour. In Proceedings of 36th Tuna conference, Lake Arrowhead NMFS-IATTC. May 1986. ed. R.W. Brill, p.14.
- PETIT M. (1988). Tuna school, predation strategy and oceanic resources. In Proceedings of 37th annual tuna conference, Lake Arrowhead, May 1987, NMFS-IATTC, p.22.
- ROGER C. (1982). Macroplankton et micronecton de l'Atlantique tropical, 1 Biomasse et composition taxonomique. Océano trop.17 (1) : 85-86.
- SCHERRER B. (1984). Biostatistiques Gaëtan Marin Editeur.
- SIMIER M. (1990). Répartition spatiale des bancs de thonidés dans une zone de l'océan. Diplôme d'Université option Méthodes statistiques des Sciences de la Nature et de la Vie.
- STRETTA J.M., PETIT M. & SIMIER M. (1990a). Intégration de la télédétection aérospatiale dans la base de données d'un système expert dédié à la pêche thonière. Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco n° spécial 6.
- STRETTA J.M., PETIT M. & SIMIER M. (1990b). Simulation du comportement adaptatif des thonidés. SCRS, ICCAT 1990.