

5.3 Télédétection aéro-spatiale et pêche thonière en Atlantique inter-tropical

Jean-Michel STRETTA¹ et Michel PETIT¹

¹ Océanographes de l'ORSTOM Centre ORSTOM BP 5045 34032 Montpellier cedex (France)

1. INTRODUCTION

Nous avons vu plus haut (chapitre 2.1) que parmi les paramètres couramment utilisés pour décrire l'environnement et la distribution des thons, la température et plus particulièrement la température de surface ont fait l'objet de nombreux travaux qui définissent les préférences thermiques où se rencontrent les différentes espèces de thonidés. De plus, de nombreux auteurs estiment que la nourriture va induire la distribution des thons au sein des bornes définies par les paramètres physiques et physiologiques (Blackburn 1965; Sund *et al.* 1981; Stretta, 1988).

2. PECHEs THONIÈRES ET CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT

2.1. Pêches thonières et température de surface dans le golfe de Guinée

Dans le Golfe de Guinée, les captures significatives d'albacores et listaois sont réalisées dans une gamme de température qui s'étend de 22 à 29° C. La distribution des prises en fonction de la température de surface est très variable suivant les régions considérées. Dans la récente synthèse thon-golfe de Guinée, Stretta (1988) définit pour cette région de l'Atlantique huit secteurs de pêche différente (cf figure 1); c'est ainsi que le maximum des captures dans le secteur du CAP LOPEZ se situe entre 23 et 25°C, alors que pour le secteur SHERBRO, ce maximum se situe entre 27 et 28°C. Au sein d'un même secteur de pêche, on peut également trouver une distribution de prises en fonction de températures très différentes selon la saison: dans le secteur GHANA, les prises maximales se font entre 25 et 26°C au cours du troisième trimestre, alors qu'au premier trimestre, la majeure partie des captures se fait dans des eaux à 27-28°C. Cela montre que la seule température de surface le jour de la pêche n'est pas le paramètre déterminant, d'autant plus que ce sont les mêmes poissons qui migrent du secteur CAP LOPEZ au secteur SENEGAL en passant par les secteurs SHERBRO et EQUATEUR (Miyabe et Bard 1986). A une température donnée correspondra donc une fertilité différente de la masse d'eau suivant la région et la saison.

2.2. Rappel des mécanismes d'enrichissement

A chacune des zones et/ou des périodes de pêche évoquées ci-dessus, est associé un phénomène d'enrichissement particulier qui débute quatre à six semaines auparavant (Stretta, 1988). Ces phénomènes d'enrichissement peuvent être :

- un upwelling côtier, avec pour corollaire la formation d'une zone frontale entre les eaux froides issues de l'upwelling et les eaux chaudes présentes. C'est le cas pour les périodes de pêche du Cap Lopez, du Sénégal, du Ghana et d'Angola en été boréal;
- un dôme thermique pour la zone SHERBRO en été boréal et la zone ANGOLA en hiver boréal;
- la divergence équatoriale pour la zone de pêche EQUATEUR en été boréal;
- la crête thermique pour la zone de pêche EQUATEUR.

Comme nous l'avons vu plus haut (chapitre 2.1.), ces zones d'enrichissement ont un point commun: celui des mouvements verticaux de la thermocline dans la couche euphotique. Ces mouvements verticaux amènent dans la couche éclairée des eaux infrathermoclineales riches en sels nutritifs. Toutefois, en saison chaude, surtout dans la zone équatoriale entre 1°N et 7°S, on assiste à une forme d'enrichissement plus difficilement quantifiable liée à l'action d'ondes longues piégées à l'équateur. Ce phénomène favoriserait également une remontée des eaux infrathermoclineales dans la couche euphotique.

2.3. Zones d'enrichissement et pêche

Les liataos et les juvéniles d'albacore sont pêchés dans des zones qui ont, au préalable, subi un processus

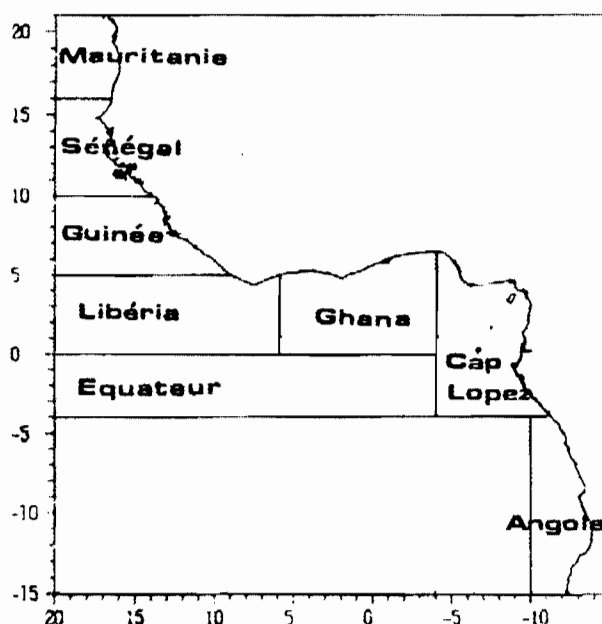


Figure 1. Secteurs de pêche en Atlantique d'après Stretta (1988)

d'enrichissement et de maturation de la masse d'eau; ils se déplacent au cours de leur migration d'une riche à une autre (Stretta et Slepoukha 1983a). Ces déplacements sont conditionnés par une quête incessante de nourriture pour répondre ainsi à leurs importants besoins physiologiques. Les zones de pêche sont associées à la présence d'une structure favorisant l'enrichissement de la masse d'eau avant l'arrivée du poisson. Ce qui importe dans l'étude de l'environnement des thons, ce n'est pas la température de surface relevée le jour de la pêche mais plutôt l'analyse du passé hydrologique de la masse d'eau.

Dans le golfe de Guinée, mises à part les pêches de thonidés associés à des systèmes concentrateurs de poisson (Stretta et Slepoukha, 1986), il arrive que des thons soient pêchés dans des eaux au sein desquelles aucun système productif ne se soit manifesté auparavant (ou tout au moins n'ait pas été détecté). Est-ce que l'absence (ou la faible intensité) de ces structures favorisant un enrichissement de la masse d'eau ou alors une extrême ampleur de ces mêmes structures, aura une influence sur la présence du poisson? Par ailleurs, Herbland *et al.* (1983) considèrent le fait que dans l'océan Atlantique tropical oriental les variations à court terme des conditions hydrologiques (circulation verticale et horizontale et mélange turbulent associé) ont probablement plus d'importance qu'on ne le pense et il semble que toute la zone équatoriale soit soumise à des sortes de « pulsations verticales » encore mal expliquées et en tout cas non modélisées. Parfois, ces cellules d'upwelling atteignent la surface: elles pourront alors être détectées par thermographie de surface. Ces variations hydrologiques à court terme – qui vont être à l'origine des conditions planctoniques et de la production d'animaux fourrage – sont si imprévisibles que la stratégie *r* de l'opportunisme est d'après Valiela (1984) favorable à long terme pour les animaux pélagiques.

3. BILAN DES RECHERCHES EN HALIEUTIQUE ET TELEDETECTION AEROSPATILE DANS L'ATLANTIQUE INTERTROPICAL

3.1. Historique

Les études classiques de l'environnement des thonidés dans le golfe de Guinée, au sein de contextes thermiques particuliers (les fronts thermiques) ce sont rapidement heurtées à la difficulté de cerner les « mouvements » d'une zone frontale à partir d'un navire océanographique. L'émergence, à cette époque, de la technique de la radiométrie infra-rouge laissait entrevoir les possibilités de mesurer la température de la mer à partir d'un avion. L'avantage d'un avion réside dans le fait qu'il est capable de couvrir rapidement une large zone océanique fournissant ainsi une vaste image quasi instantanée (de l'ordre de quelques jours) du champ thermique superficiel. L'utilisation de ce type de vecteur permet également de recenser toutes sortes d'apparences à la surface de la mer (bancs de thons, objets flottants, cétacés, etc...) et de les positionner dans un contexte thermique.

3.2. Groupe de radiométrie Aérienne Atlantique

Les opérations de radiométrie aérienne ont débuté en 1972 avec le concours du groupement d'armateurs INTERTHON² pour étudier au large des côtes du Gabon la zone frontale associée à de très importantes pêches de thonidés. L'avion³ d'INTERTHON était équipé d'un radiomètre infra-rouge⁴. De 1974 à 1976, des opérations du même type se sont poursuivies dans cette même région avec la collaboration étroite de divers organismes (CNEXO⁵, Laboratoire d'Optique Atmosphérique⁶ de Lille, CMS⁷, ORSTOM, INTERTHON) et des navires océanographiques Capricorne et Nizery. Ces opérations ont permis d'analyser les mouvements de la zone frontale, l'enrichissement des masses d'eau et les mécanismes de concentrations de thons (Dufour et Stretta, 1973; Stretta, 1977; Stretta *et al.*, 1973; Stretta et Surugue, 1977, Stretta *et al.*, 1977; Viollier, 1976). La méthodologie utilisée lors de ces opérations de radiométrie aérienne est décrite dans Marsac *et al.*, (1987).

3.3. Le Bureau d'Aide à la Pêche (BAP)

A partir de 1978, les opérations de radiométrie aérienne se sont déroulées dans le cadre du Bureau d'Aide à la Pêche (BAP). Créé fin 1977 par la signature d'une convention entre l'ORSTOM et INTERTHON, le BAP s'ouvrait en mars 1978 dans l'enceinte du Port de pêche d'Abidjan.

3.3.1. Objectifs du BAP

Cette convention fixait au BAP les objectifs suivants :

- collecter les informations concernant la pêche et les conditions hydrologiques dans le golfe de Guinée;
- tenir à jour des fichiers concernant ces données;
- fournir à la flottille thonière cotisant à INTERTHON des analyses sur les conditions hydrologiques dans le golfe de Guinée;
- conseiller l'équipage de l'avion⁸ d'INTERTHON dans l'établissement des plans de vol;
- prendre en charge les vols lors de la reconnaissance de nouvelles zones de pêche.

3.3.2. Actions entreprises

Dès la mise en place du BAP, nous avons collecté en routine les données suivantes :

- les paramètres écologiques associés aux bancs de thons en les relevant à partir des livres de bord remplis

2 INTERTHON : société anonyme. Coopérative d'intérêt maritime à capital variable. Concarneau (France).

3 Britten Norman (de 1972 à 1977)

4 Radiomètre infra-rouge BARNES PRT-5 (Fenêtre spectrale utilisée : 8-14 μ m)

5 CNEXO : ancien sigle de l'IFREMER (Institut Français pour l'Exploitation de la mer (Paris, France).

6 Faculté des Sciences et Techniques de Lille (France).

7 CMS : Centre de Météorologie Spatiale (Lannion, France).

8 Beech Craft 18 Volpar Turboliner (A partir de février 1978).

par les patrons. Seuls les coups de senne pour lesquels les patrons donnaient suffisamment de détails et de précisions ont été retenus. Nous avons ainsi fiché plus de 10 000 coups de senne (Stretta, 1985);

— les données historiques concernant les température de surface et de subsurface, la vitesse et la direction des vents;

— les données historiques concernant la pêche thonière par les flotilles internationales dans l'Atlantique intertropical;

— les données thermiques satellites compilées sur une semaine de la NOAA⁹ (cartes GOSSTCOMP¹⁰);

— les données thermiques fournies par le NWS¹¹;

— les données thermiques relevées par l'avion d'INTERTHON;

— les données thermiques du satellite européen METEOSAT;

— les données thermiques de surface et météorologiques fournies par les messages « Ships » des navires marchands reçus à l'ASECNA¹² à Abidjan.

Dans l'océan Atlantique, nous avons axé nos recherches sur le comportement des thons au sein d'une zone frontale en période de forte activité de pêche avec l'appui de l'avion d'INTERTHON. Grâce à une réelle coopération entre l'océanographe embarqué et l'équipage de l'avion, il a été possible d'assurer une veille radiométrique : ce type d'action est indispensable lorsque l'on est dans un contexte de pêche active.

Après le vol (ou le plus souvent à bord de l'avion en cours de vol), les données sont dépouillées manuellement et une cartographie du champ thermique de surface est réalisée. Cette rapidité d'exécution est de règle car elle permet :

— la modification éventuelle du plan de vol au cours de celui-ci.

— la diffusion par radio à partir de l'avion d'un « bulletin » donnant aux patrons des thoniers des informations sur la situation thermique de la journée et de son évolution par rapport aux jours précédents. Cette action a surtout été menée dans la zone du cap Lopez au moment où l'instabilité du front était maximale. Les thoniers pouvaient ainsi se situer au sein d'un système frontal aux mouvements incompréhensibles à l'échelle d'un navire recherchant du poisson;

— la communication à la flottille de la position et des caractéristiques des bancs repérés par l'avion ainsi que des prévisions à court terme (1 à 3 jours) sur l'évolution du système front-thonidés : ces tentatives ont été faites dès 1976 entre le cap Lopez et l'île de São Tomé;

— l'élaboration de petits documents de synthèse pour les pêcheurs sous la forme de cartes de température de surface.

Dans certains cas, le trajet de l'avion « dicté » par le radiomètre a été tenté avec succès par le pilote et l'océanographe afin de survoler les zones de même température où se concentrait le poisson. Ces vols ont

lieu au large du Gabon en juillet et au large de la Côte d'Ivoire en août-septembre.

En complément des données thermiques relevées à partir de l'avion, nous avons dès 1978 analysés des cartes de thermographie de surface dressées à partir de données satellitaires. C'est ainsi que de septembre 1978 à mai 1979, une collaboration entre la BAP, le CNES¹³, le CMS, le CNEXO et le Bureau de Télédétection de l'ORSTOM s'est instituée pour la réception, le traitement et l'envoi quotidien, sous forme de télex, de données thermiques du satellite européen METEOSAT-1 (Stretta *et al.*, 1980). La chaîne de traitement est présentée par Delclaux (1978 a et b). Devant le manque de fiabilité et la dérive du radiomètre du satellite l'expérience a été interrompue en mai 1979.

Du mois d'août 1981 à janvier 1983, profitant du Programme de l'Année Internationale du Listao Atlantique¹⁴, une nouvelle collaboration s'est instituée entre le BAP à Abidjan d'une part et l'Antenne OSTOM auprès du CMS de Lannion, la Météorologie Nationale (CMS), le CNEXO et le Secrétariat d'Etat à la Marine Marchande d'autre part, pour la transmission entre Lannion et Abidjan par télécopie, des cartes de température de surface du golfe de Guinée (Citeau *et al.*, 1981; 1986). La figure 2 présente un exemple de carte de température expédiée. Un autre mode de diffusion a été utilisé : le fac-similé. *En utilisant le réseau fac-similé de la Météorologie Nationale, les cartes émises à partir de Lannion sont parvenues (via Paris) dans de bonnes conditions sur le récepteur de l'ASECNA à Dakar. Afin de permettre la réception de ces mêmes cartes par les navires en mer, elles furent ré-émises par fac-similé radio dans la bande des 25 mètres (12 305 khz) à partir de l'émetteur de Sainte Assise (Météo-Paris) et dans la bande des 15 mètres (19 750 khz) à partir de l'émetteur de Dakar. Au terme d'une année et demie d'observations satellitaires régulières, la variété des situations océaniques et climatiques rencontrées, nous permet de dire que pour la plupart des anomalies ou événements majeurs avant une trace à la surface de l'océan, METEOSAT-2 a assuré une écoute fidèle et parfois même supérieure en qualité aux produits standards qui sont référence à la matière (Citeau *et al.*, 1984).*

Jusqu'au mois de décembre 1981, les données thermiques satellitaires étaient analysées visuellement. Il était parfois possible de cerner des zones les plus favorables à la pêche thonière en confrontant les données recueillies en temps réel (avion, thoniers, navires marchands, etc), les données reçues en temps quasi réel (cartes GOSSTCOMP, cartes METEOSAT) d'une part et les données historiques d'autre part.

A partir des résultats acquis dans la dynamique et dans les phénomènes d'enrichissement des masses d'eaux présentes dans un système frontal, il a été possible de développer une méthode d'analyse originale de prévisions de pêche. Cette méthode s'appuie presque exclusivement sur des données radiométriques satellitaires; l'information radiométrique aéroportée est alors utilisée pour vérifier la température de surface mesurée par satellite et la présence effective du poisson.

9 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration (USA).

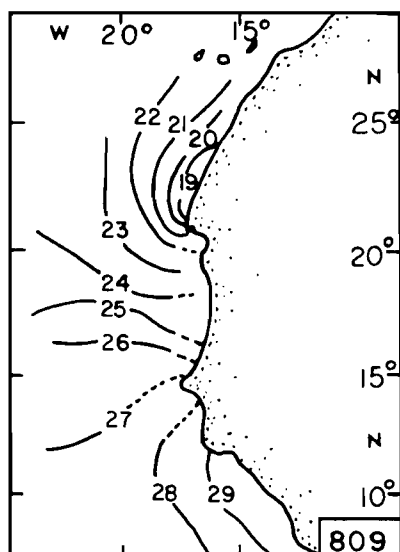
10 GOSSTCOMP : Global Operational Sea Surface Temperature Computation.

11 NWS : National Weather Service (USA).

12 ASECNA : Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne (Dakar, Sénégal).

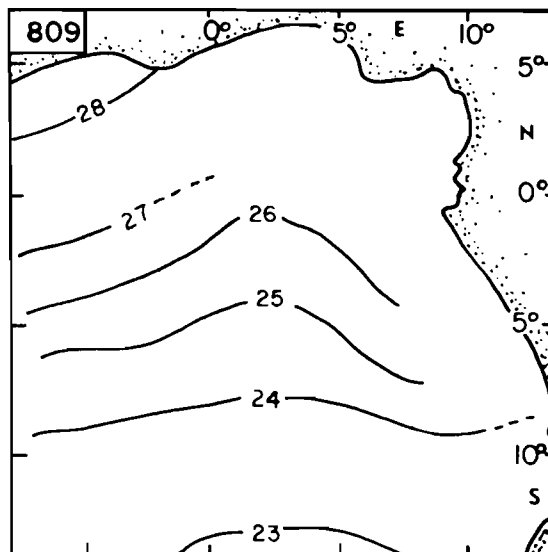
13 CNES : Centre National d'Etudes Spatiales (Toulouse, France).

14 International Skipjack Year Program (1979-1982) ICCAT (Madrid). Anonyme (1986).



SHIPS


du
9 - 12
au
15 - 12
1981



METEOSAT

du

5-6/12/1981

Chaud 164
Froid 172
Nuages 

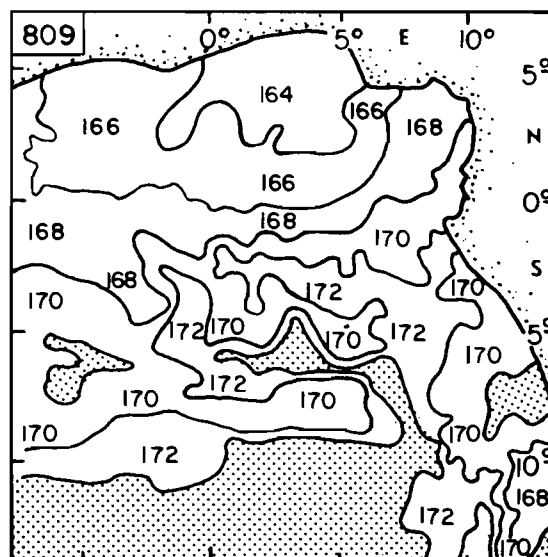


Figure 2. Exemple de document expédié par fac-similé (analyse METEOSAT et cartes SHIP d'après Citeau *et al.*, (1984)

A partir de janvier 1982, nous avons distribué auprès de la flottille INTERTHON des analyses prévisionnelles sous la forme d'un « BULLETIN PREVISIONNEL ». Ces bulletins sont réalisés à partir du logiciel prévisionnel PREVI-PECHE que nous avons développé dans le cadre du BAP. En raison du départ des flottilles thonnières française et ivoirienne pour l'océan Indien début 1985, nous avons interrompu la diffusion des bulletins prévisionnels.

Si l'on fait le bilan des activités du BAP il apparaît que :

- de 1978 à 1982 nous avons effectué environ un millier d'heures à bord de l'avion d'INTERTHON et permis à partir de l'avion équipé de son radiomètre infra-rouge de décrire les zones d'action de la flottille et de guider les thoniers au sein de structures thermiques parfois très complexes. Pendant cette période où notre action se faisait au jour le jour, nous avons diffusé à partir de l'avion plusieurs notes techniques à l'attention des patrons en mer (Marsac *et al.*, 1987);

Pour les années 1979 et 1981, il a été possible d'évaluer notre action aux alentours de 5-7 % des prises. Ce genre de calcul est difficile à faire car aucun patron

n'accepte de reconnaître la « paternité » du BAP sur les concentrations de thons trouvées par la flottille sur nos indications.

- de janvier 1982 à juillet 1984, nous avons diffusé 81 « BULLETIN PREVISIONNEL » valables pour l'Atlantique intertropical.

- à titre expérimental nous avons adapté notre logiciel aux données thermiques de l'océan Indien occidental en envoyant à l'équipe ORSTOM des Seychelles 27 « BULLETIN PREVISIONNEL EXPERIMENTAL » pendant l'année 1982.

3.4. Présentation du logiciel prévisionnel : PREVI-PECHE

3.4.1. Introduction

Jusqu'à ces dernières années, la stratégie de pêche se limitait au choix saisonnier des secteurs traditionnels de pêche. Avec l'apparition des moyens aériens pour la détection à vue et de la radiométrie aérienne, il est possible d'élaborer des tactiques opérationnelles par le guidage des bateaux sur les lieux de pêche ou par des prospections hors de la zone d'action de la flottille de

pêche. L'état actuel des connaissances sur l'environnement des thons, nous ont permis de jeter les bases du concept pour une stratégie de pêche à plus long terme. La conception et la mise au point du logiciel PREVIPECHE découle de ce besoin pour répondre aux conditions futures d'une exploitation rationnelle des stocks en liaison avec la concurrence entre les flottilles, aux lois qui se rapportent aux-ZEE et à la question permanente du pêcheur : où trouver le poisson ?

Comment répondre à cette question sachant qu'à l'heure actuelle, les mouvements des thons ne peuvent pas être observés directement depuis l'espace, nous devons donc les déduire en élaborant des modèles qui s'appuient sur les connaissances que nous avons du comportement des thons.

Si l'on part du principe que les concentrations de thons sont influencées par la température de surface et par la nourriture disponible, se pose alors le problème de la localisation de cette nourriture. Si l'on connaît, dans les grandes lignes, l'implication directe entre la présence des thons et les paramètres d'environnement, pourquoi ne pourrait-on pas utiliser l'implication inverse, à savoir déduire la présence des thons à partir des données d'environnement ?

Pour trouver les zones de concentration de thons, il nous faudrait donc rechercher les zones à forte densité de nourriture; le problème de la recherche de ces zones nous entraîne à trouver dans l'océan les zones à forte productivité.

Nous savons par ailleurs que les masses d'eau épipelagiques de l'océan inter-tropical sont pauvres dans des conditions de stabilité au sein de ce que Herbland et Voituriez (1977) ont appelé la Structure Tropicale Typique (STT). Il est toutefois possible de délimiter les zones riches en phytoplancton et zooplancton, zones où la nourriture potentielle du thon sera abondante. Nous avons vu plus haut que ce problème peut être abordé théoriquement en étudiant le passé hydrobiologique d'une masse d'eau. Cette analyse revient à rechercher la signature thermique en surface des mécanismes de fertilisation des masses d'eau (Stretta et Slepoukha, 1983).

3.4.2. Principe de la méthode

Une forte densité de nourriture pour les thons résulte d'une forte productivité de la masse d'eau. Dans l'océan tropical, le mouvement de la thermocline vers la surface (ou seulement dans la couche euphotique) a d'importantes conséquences pour l'enrichissement en sels nutritifs (Voituriez et Herbland, 1977). Le résultat de ce mouvement est une diminution de la température de surface (dans le cas bien sûr où la thermocline atteint la surface).

Au sein de la STT, le développement d'une forte productivité est le résultat d'un bouleversement écologique ou « catastrophe écologique » selon la théorie de R. Thom (Petit, 1986) comme dans les zones frontales (Dufour et Stretta, 1973), l'upwelling équatorial (Le Borgne, 1977; Voituriez et Herbland, 1982) et les dômes thermiques (Voituriez et Dandonneau, 1974). Le résultat de ces bouleversements est la production d'animaux fourrage pour les thons.

Dans leur étude de l'upwelling mauritanien, Herbland *et al.*, (1973) étudient l'évolution des paramètres de surface (dont la température) d'une masse d'eau pendant plusieurs jours en suivant sa dérive à l'aide d'une drogue le long de la côte depuis la source de l'upwelling

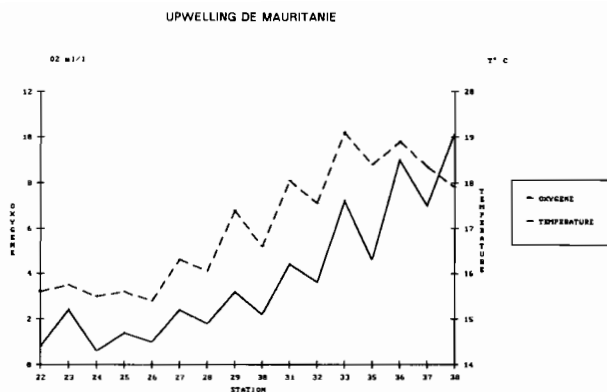


Figure 3a. Suivi de la drogue dans l'upwelling mauritanien d'après Herbland *et al.*, (1973); évolution de la température de surface et de la teneur en oxygène dissous

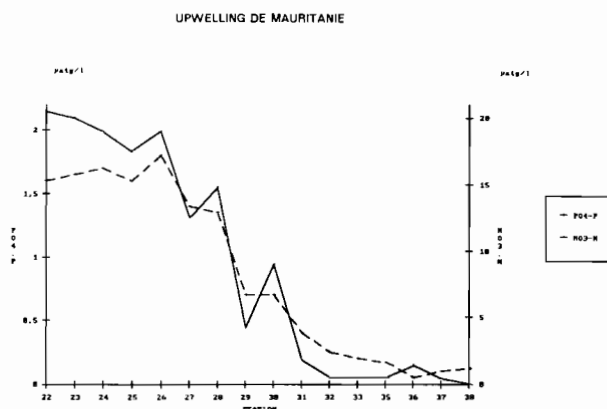


Figure 3b. Suivi de la drogue dans l'upwelling mauritanien d'après Herbland *et al.*, (1973); évolution de teneurs en sels nutritifs ($PO_4\text{-P}$ et $NO_3\text{-N}$)

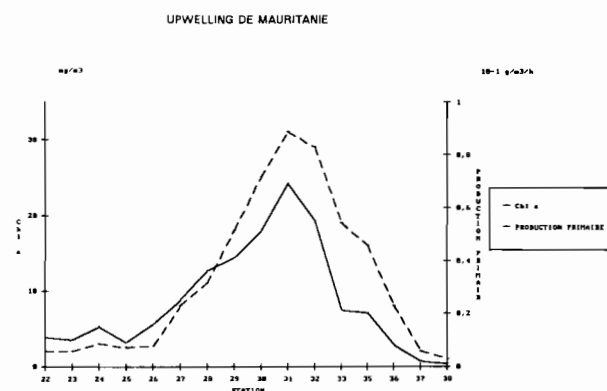


Figure 3c : Suivi de la drogue dans l'upwelling mauritanien d'après Herbland *et al.*, (1973); évolution de la biomasses du phytoplancton (exprimée en mg/m^3) et production primaire nette

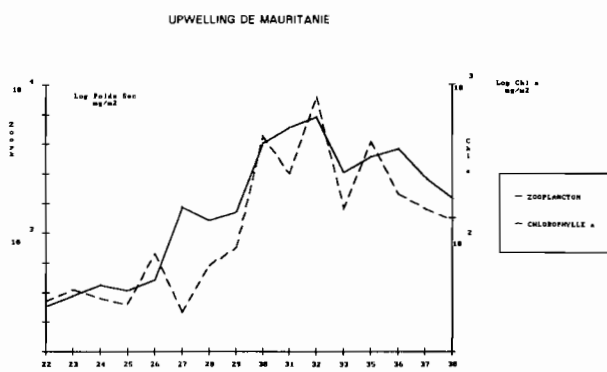


Figure 3d. Suivi de la drogue dans l'upwelling mauritanien d'après Herbland *et al.*, (1973); évolution de la biomasse du zooplancton et de la chlorophylle a (exprimées en $log\ mg/m^2$)

et ce pendant neuf jours avec deux stations par jour (stations 22 à 38). Ces auteurs mettent en évidence le fait qu'au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source de l'upwelling :

- la température de surface et la teneur en oxygène dissous augmentent (cf. figure 3a);
- les teneurs en sels nutritifs ($\text{PO}_4\text{-P}$ et $\text{NO}_3\text{-N}$) diminuent (cf. figure 3b);
- au niveau biologique, la biomasse du phytoplancton (exprimée en mg/m^3) et la production primaire (exprimée en $\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$) nette croissent pendant 4,5 jours (cf. figure 3c);
- la biomasse du zooplancton (exprimée en mg/m^2) croît parallèlement à l'accroissement de la chlorophylle *a* (exprimée également en mg/m^2) (cf. figure 3d); le taux moyen d'augmentation journalier du zooplancton est de 17 %. Ils concluent que : « la drogue a effectivement suivi une masse d'eau au sein de laquelle la production de matière vivante s'est régulièrement développée ».

Si l'apparition d'eaux froides à la surface de l'océan est le signe annonçant le début d'un enrichissement de la masse d'eau, il convient à présent de suivre les mécanismes de fertilisation. Alors se pose la question de savoir comment suivre dans le temps la maturation de la masse d'eau.

Le suivi de la drogue dans l'upwelling mauritanien par Herbland *et al.*, (1973) montre que l'augmentation de la température de surface reflète l'augmentation des biomasses du phytoplancton et du zooplancton (cf. figure 3a et 3d).

On peut donc dire qu'une diminution de la température de surface suivi d'une lente augmentation de cette température de surface représentent la signature thermique de surface des mécanismes de fertilisation et de maturation au sein de la masse d'eau.

Mais l'évolution de la température de surface est-elle un bon traceur de la productivité d'une masse d'eau ? Les travaux de Herbland *et al.*, (1973) le montrent. Sur le plateau continental de la Côte d'Ivoire, Dandonneau (1972) trouve que l'eau de surface est « très représentative de toute la zone euphotique en période de poussée phytoplanctonique ». Yentsh (1973) trouve que les prises de thonidés en Atlantique nord sont plus importantes dans des eaux de forte productivité et que globalement la mesure de la seule température de l'eau pourrait aider les pêcheries pélagiques.

Cette signature thermique de surface peut donc être détectée à distance par radiométrie infrarouge. Les outils privilégiés pour le repérage de ces variations des conditions hydrologiques de surface sont l'avion et le satellite météorologique équipés de radiomètres infrarouge. Toutefois, il serait préférable d'y ajouter une réserve à savoir que cette signature thermique de surface ne sera valable que si la masse d'eau qui arrive en surface est jeune, c'est-à-dire qu'elle provient d'une profondeur suffisamment importante pour être riche en sels nutritifs et pauvre en phytoplancton. Que se passerait-il dans le cas contraire, à savoir une masse d'eau qui atteint la surface après un séjour plus ou moins prolongé dans la couche euphotique ? La température de surface ne serait pas celle d'une eau jeune et froide et le processus de la production de matière vivante serait alors bien entamé. Dans ce cas, une partie du passé hydrologique de cette masse d'eau aura été masqué.

Quel est le délai entre l'apparition en surface des eaux froides et la présence de la nourriture des thons ? Ce délai entre le début du processus d'enrichissement et la

présence de la nourriture des thons est estimé entre quatre à six semaines par Mendelsshon et Roy, (1986).

En s'appuyant sur les évolutions des températures de surface pendant cinq saisons de pêche au large du cap Lopez (références citées dans le § 3.1.) et au large de la Côte d'Ivoire (Stretta *et al.*, 1973; Stretta et Petit, à paraître), nous avons tenté d'élaborer ce que nous avons appelé un « Scénario Thermique Idéal » (STI) pour déterminer quels sont les événements et leur durée qui concourent à l'obtention de conditions hydrologiques favorables à la pêche thonière.

Ce scénario thermique idéal bâti sur une analyse empirique des conditions hydrologiques de surface associées à des concentrations de thonidés dans la région du cap Lopez pourrait être le suivant :

- (1) apparition en surface des eaux froides issues de l'upwelling côtier;
- (2) maturation de ces eaux pendant 4 semaines;
- (3) stabilisation thermique pendant une à deux semaines au cours desquels la zone serait favorable à la présence de thon (cf. figure 4).

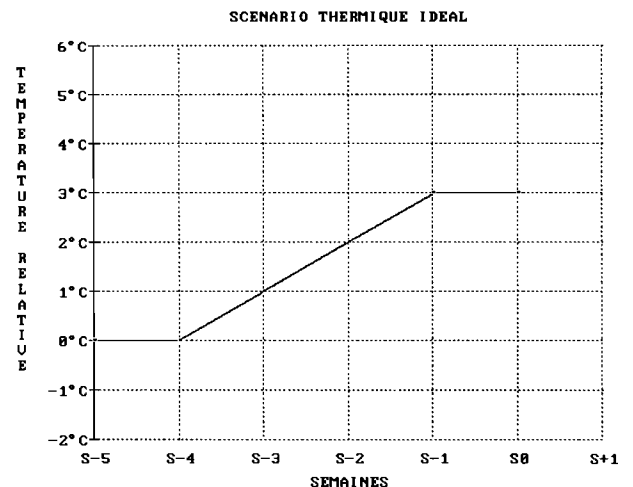


Figure 4. Scénario thermique idéal

Une nouvelle question se pose : comment traduire la maturation de la masse d'eau ? Entre la température de la masse d'eaux froides qui atteint la surface et la température de surface au moment du début de l'activité de pêche, nous pouvons traduire la maturité de la masse d'eau par une élévation de sa température de 1°C par semaine.

En s'aidant des évolutions des températures de surface pendant cinq saisons de pêche au large du cap Lopez (Gabon) et au large de la Côte d'Ivoire, nous avons constaté que la pêche ne débutait pas immédiatement après ce que nous nommons la période de maturation de la masse d'eau, mais qu'elle ne commençait qu'une à deux semaines après une période de stabilisation thermique en surface. A *contrario*, la saison estivale de pêche de 1974 au cap Lopez (Stretta, 1977), avait montré un bouleversement quasi quotidien des isothermes de surface après la période de maturation : il s'en était suivi une quasi absence de pêche.

Notre schématisation de l'écosystème est poussée à l'extrême car à partir d'une seule variable d'état (la température de surface), nous allons suivre dans l'espace et dans le temps une succession d'actions qui

début par l'arrivée en surface des eaux infra-thermoclinales jusqu'à la présence d'organismes proies pour les thons en passant par les actions d'enrichissement et de maturation de la masse d'eau.

Le modèle le plus simple consistera à suivre par satellite l'évolution dans l'espace et dans le temps de la masse d'eaux froides qui apparaît en surface afin de cerner, compte tenu de ce que nous venons d'exprimer sur les délais entre le déclenchement d'un processus d'enrichissement et celui de la présence du thon, la période et la zone où la probabilité de trouver des animaux proies sera la plus élevée. En fait, le modèle consistera à comparer le scénario thermique de toute masse d'eau au STI.

En résumé, c'est l'évolution de la température de surface dans le temps qui est le reflet du degré de maturité de l'eau et non pas la température de surface seule isolée de son contexte hydrologique passé. Nous associons la présence d'eaux froides issues d'une remontée d'eaux infra-thermoclinales, suivie d'une maturation de ces eaux pendant cinq semaines et de la stabilisation thermique pendant une à deux semaines avec la production d'animaux fourrage pour les thons. A l'issue de cette évolution thermique idéale, la zone sera favorable à la présence de thons.

C'est en partant du principe de l'analyse du passé hydrologique d'une masse d'eau que le modèle prévisionnel PREVI-PECHE développé par Stretta et Sle-poukha (1983; 1983a) définit des zones favorables à la présence de thons dans l'Atlantique tropical oriental.

3.4.3. PREVI-PECHE ou le calcul de la Potentialité de Pêche d'une Zone (PPZ)

Pour calculer des potentialités de pêche en Atlantique, nous avons divisé la région inter-tropicale entre 20° N et 10° S et entre la côte africaine et 50° W en 138 zones de 2° latitude par 5° longitude soit des zones d'une superficie de 36 000 miles² (figure 5). Ce découpage a été adopté pour respecter les échelles de corrélations observées pour les paramètres de surface tels la température de surface (Merle, 1977).

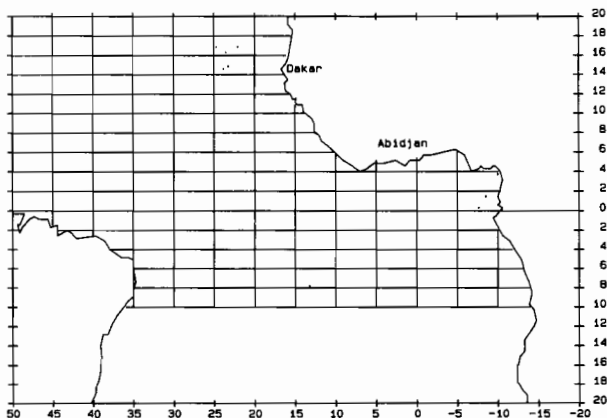


Figure 5. Découpage de l'océan Atlantique tropical entre 20°N et 10°S et entre la côte africaine et 50°W en 138 zones de 2° latitude par 5° longitude

Dans la pratique, dès la réception d'une carte de température (cartes GOSSTCOMP ou METEOSAT), nous extrayons les valeurs thermiques de 138 zones en « digitalisant » manuellement, c'est-à-dire que l'on prend dans la zone de 2° de latitude par 5° de longitude

la température prépondérante. Les valeurs thermiques sont saisies et ensuite nous lançons le programme interactif de calcul des potentialités de pêche et d'impression du « BULLETIN PREVISIONNEL ». Le calcul de la Potentialité de Pêche d'une Zone (PPZ) est présenté en annexe.

Ce « BULLETIN PREVISIONNEL » est immédiatement remis aux patrons des thoniers à quai sur le port d'Abidjan et aux représentants des armements. Ces derniers diffusent par radio à la flottille en pêche, lors des vacances radios, la liste des zones très favorables et moyennement favorables à la pêche.

3.5. Limites et bilan de PREVI-PECHE

Nous sommes parfaitement conscients que le modèle prévisionnel que nous avons développé est imprécis : en particulier, il est un phénomène que nous maîtrisons mal à savoir celui des courants. Une zone qui subit un important enrichissement en plancton végétal et animal va, sous l'influence des courants, fertiliser une ou plusieurs zones en aval du courant.

Auprès des pêcheurs, le succès de PREVI-PECHE a été immédiat malgré les aléas des délais postaux qui faisaient que parfois il nous arrivait de rester deux ou même plus de trois semaines sans pouvoir diffuser un bulletin prévisionnel.

Quant au degré de fiabilité de notre modèle prévisionnel, nous avons pu à partir des fichiers des prises de thonides de la flottille FIS comparer, de janvier 1982 à juillet 1983, les zones où il y a eu de la pêche et les zones que nous avons définies comme très favorables, moyennement favorables ou encore en évolution favorable. Durant ces dix-huit mois, nous avons publié 50 « BULLETIN PREVISIONNEL », dans lesquels nous avons signalé, de 20° N à 10° S et jusqu'à 50° W, 65 zones très favorables. Parmi ces zones signalées, seulement 25 ont été prospectées par des thoniers et 19 d'entre elles ont été le siège de pêche. Ce qui donne un coefficient de fiabilité de 76,0 %. Pour la détermination des zones moyennement favorables, notre coefficient de fiabilité est de 64,3 %. Quant aux zones en évolution favorable, notre coefficient de fiabilité est de 71,2 %.

Il est évident que nous n'avons pas prévu toutes les zones de pêche; en régime côtier notamment la prévision reste difficile voire impossible en raison du manque de fiabilité des données thermiques dans les zones côtières. Autre exemple, en 1982, la zone de pêche qui s'est déroulée dans la région de la crête thermique entre 2° et 4° sud a complètement échappé aux prévisions du modèle.

En conclusion, on peut souligner le fait que la traduction par un modèle empirique d'un système naturel en évolution ne doit pas nous faire perdre de vue qu'il est difficile (et hasardeux ?) de traduire toutes les multiples interactions qui existent entre les différents éléments d'un écosystème. Cette nouvelle forme d'analyse qui s'inspire de la théorie dynamique des systèmes a l'avantage de ce fait, selon Bertalanffy (1968), de coller à la réalité tout en manquant d'élégance mathématique et de puissance déductive; c'est pas essence une analyse empirico-intuitive. Comme le fait remarquer cet auteur, les premières versions d'un nouveau paradigme sont souvent assez grossières et les solutions obtenues sont loin d'être parfaites. Comme le souligne Rigler (1982), l'empirisme en écologie est une branche à haut risque mais très porteuse.

Nous avons vu plus haut (§ 3.3.2.) que le modèle prévisionnel PREVI-PECHE est bâti sur une analyse empirique des conditions hydrologiques de surface associées à des concentrations de thonidés. La clé caractéristique d'une théorie empirique est qu'elle n'est faite que pour des prévisions (Rigler, 1982). Il existe à présent une approche nouvelle pour modéliser des connaissances dans un domaine particulier : les systèmes experts (SE). Les SE utilisent essentiellement des méthodes empiriques qui reposent sur une connaissance heuristique permettant de trouver la meilleure solution et non pas la solution optimale.

Le but d'un SE 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).

La structure d'un SE est organisée autour de deux principaux éléments : une base de connaissance et un moteur d'inférence qui utilise le contenu de cette base. Chatain et Dussauchoy (1987) précisent qu'en ce qui concerne la base de connaissance :

- « les éléments qui la constituent sont indépendants les uns des autres;

- l'ordre dans lequel ces éléments sont introduits dans le système n'a pas d'influence sur les résultats;

- et contrairement à la programmation classique, la modification d'un de ces éléments n'a pas de conséquences catastrophiques sur le déroulement du programme ».

Citant toujours Chatain et Dussauchoy (1987), les SE ont la particularité de manipuler des connaissances essentiellement de nature symbolique par opposition aux données numériques utilisées par les programmes classiques.

Si le SE acquiert la connaissance spécialisée auprès d'un expert et l'enregistre dans sa base de connaissance, se pose alors le problème du choix de l'expert. Dans le cas de la pêche thonière, on pourrait avoir 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 on pourrait imaginer un SE dans lequel le pêcheur aidé en cela par un cogniticien transférerait ses connaissances vers le SE. Une solution mixte serait sans doute la plus souhaitable. Chatain et Dussauchoy (1987) distinguent cinq étapes pour établir un SE :

- L'identification du problème. Le rôle du cogniticien sera de formaliser les pratiques empiriques des deux types d'expert (halieute ou pêcheur).

- La conceptualisation. Cette phase consiste à déterminer les concepts clés et les relations existantes entre ces concepts.

- La formalisation : c'est-à-dire l'organisation des concepts.

- L'implantation du SE et la mise en place d'un prototype.

- La validation pour évaluer les performances et la base de connaissance.

Le transfert du savoir de l'expert est un processus long et incrémentiel constitué d'échanges constants entre l'expert et le cogniticien. Chatain et Dussauchoy (1987) estiment qu'il faut au minimum deux années pour bâtir un SE.

Un des problèmes majeurs (et peut-être une limite ?) dans le développement d'un SE est celui de l'extraction des connaissances surtout quand on s'adresse à des phénomènes biologiques.

4. CONCLUSIONS

Les études classiques de l'environnement des thonidés qui débutèrent dans le golfe de Guinée vers la fin des années 60 (en même temps que la pêche industrielle), qui se sont poursuivies dans les années 70 par des recherches sont le support de recherches appliquées utilisant des méthodes originales. Ces études ont permis de poser les prémices d'une recherche halieutique opérationnelle au cours de la décennie 80. Loin de se laisser enfermer dans le cadre purement technique de nouvelles méthodes et, soucieux de valoriser des résultats collectés à l'issue de prospection et de contact avec les pêcheurs, nous estimons que la création d'une cellule de consultance en matière de prévisions de pêche et d'évaluation du potentiel halieutique d'une zone pouvait être raisonnablement envisagée pour la nouvelle décennie.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anonyme (1986). — Rapport de la conférence ICCAT sur le Programme de l'Année Internationale du Listao. pp. : 13-22. *In* Proceedings of the ICCAT Conference on the International Shipjack Program. (P.E.K. Symons, P.M. Miyake and G.T. Sakagawa Editors) ICCAT 388 pp.
- Bertalanffy L. Von (1968). — Théorie générale des systèmes. DUNOD (Paris) : 296 pp.
- Blackburn M. (1965). — Oceanography and the ecology of tunas. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 3 : 299,322.
- Chatain J.-N. et A. Dussauchoy (1987). — Systèmes experts. Méthodes et outils. Editions Eyrolles (Paris). 279 pp.
- Citeau J., J.-Y. Le Gall et R. Pianet (1981). — Le satellite METEOSAT et la flottille thonière intertropicale. *La Pêche Maritime*. N° 1245. Décembre 1981 : 740-744.
- Citeau J., B. Guillot et R. Lae (1984). — Opération LISTAO : Reconnaissance de l'environnement physique en Atlantique intertropicale à l'aide des satellites METEOSAT et GOES-E. *Initiations - Documentations Techniques N° 63 (Télétection 10)* : 28 pp. Editions ORSTOM.
- Citeau J., B. Guillot, R. Lae, M. Slepoukha et J.M. Stretta (1986). — Opération Listao et télédétection : bilan d'une opération. pp. : 363. *In* Proceedings of the ICCAT Conference on the International Skipjack Program. (P.E.K. Symons, P.M. Miyake and G.T.T Sakagawa Editors) ICCAT 388 pp.
- Dandonneau Y. (1972). — Etude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. II Représentativité de l'eau de surface pour la description et l'interprétation des phénomènes dynamiques. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, Vol X (3) : 267-274.

Delclaux P. (1978a). — Aide à la pêche. Notice d'utilisation des programmes. Rapport CNES. CT/EMT/MT/AT/N° 558. Décembre 1978. 37 pp.

Delclaux P. (1978b). — Aide à la pêche. Description de la chaîne de traitement. Rapport CNES. CT/EMT/MT/AT/N°559 Décembre 1978. 61 pp.

Dincbas M. (1983). — Contribution à l'étude des Systèmes Expert. Thèse ENSAE 1983.

Dufour P. et J.-M. Stretta (1973). — Fronts thermiques et thermohalins dans la région du Cap Lopez (Golfe de Guinée) en juin-juillet 1972 : phytoplancton, zooplancton, micronecton et pêche thonière. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Abidjan Vol IV (3) : 99-142.

Hastenrath S. and P.J. Lamb (1977). — Climatic atlas of the tropical Atlantic and eastern Pacific oceans. The University of Wisconsin Press, 112 pp.

Herbland A., R. Le Borgne, A. Le Bouteiller et B. Voituriez (1983). — Structure hydrologique et production primaire dans l'Atlantique tropical oriental. Océanogr. trop. vol 18 (2) : 249-293.

Le Borgne R. (1977). — Etude de la production pélagique de la zone équatoriale de l'Atlantique à 4° W. II - Biomasse et peuplements du zooplancton. Cah. ORSTOM., sér. Océanogr. Vol XV(4) : 333-349.

Marsac F., M. Petit et J.-M. Stretta (1987). Radiométrie aérienne et prospection thonière à l'ORSTOM. Méthodologie, Bilan et Perspective. Initiations et Documents Techniques n° 68, (Télédétection 12). 33 pp. Editions ORSTOM.

Mendelsshon R. and C. Roy (1986). — Environmental influences on the F.I.S.M. tuna catches in the gulf of Guinea. pp. : 170-188. In Proceedings of the ICCAT Conference on the International Skipjack Program. (P.E.K. Symons, P.M. Miyake and G.T. Sakagawa Editors) ICCAT 388 pp.

Merle J. (1977). — Seasonal variations of temperature and circulation in the upper layer of the equatorial Atlantic Ocean (GATE Area). GATE Workshop, Miami, FL, February 28 to March 10, 1977.

Merle J. (1978). — Atlas hydrologique saisonnier de l'océan Atlantique intertropical. Travaux et Documents de l'ORSTOM. n : 82. 134 pp.

Miyabe N. and F.X. Bard (1986). — Movements of Skipjack in the eastern Atlantic, from results of tagging by Japan. pp. 342-347. In Proceedings of the ICCAT Conference on the International Skipjack Program. (P.E.K. Symons, P.M. Miyake and G.T. Sakagawa Editors) ICCAT, 388 p.

Petit M. (1986). — Coherent theory on tuna behavior. 35th Tuna Conference. Lake Arrowhead. May 1986. NMFS La Jolla.

Rigler F.H. (1982). — The relation between fisheries management and limnology. Transactions of the American Fisheries Society. Vol 111 (2) : 121-132.

Stretta J.-M. (1977). — Température de surface et pêche thonière dans la zone frontale du cap Lopez (Atlantique tropical oriental) en juin et juillet 1972, 1974 et 1975. Cah. ORSTOM ser. Océanogr., Vol. XV (2) : 163-180.

Stretta J.-M. (1985). — Description et mode d'emploi de la chaîne d'analyse des paramètres écologiques associés à la pêche thonière. Note à Diffusion Restreinte Cent. Rech. Océanogr. Abidjan 04/85 : 26 pp.

Stretta J.-M. (1988). — Environnement et pêche thonière en Atlantique tropical oriental. pp : 269-316. In Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est. (FONTENEAU A. et J. MARCILLE Eds). FAO Doc. Tech. Pêches, (292) : 391 pp.

Stretta J.-M., J. Noël et J.-C. Le Guen (1973). — Mesures de température de surface par radiométrie aérienne et concentrations de thons au large d'Abidjan en août 1973. Document Multigr. CRO Abidjan, 16 pp.

Stretta J.-M., J. Noël et L. Vercesi (1977). — Caractérisation des situations hydrobiologiques et potentialités de pêche thonière au Cap Lopez en juin et juillet 1972, 1974. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan Vol VI(2) : 59,74.

Stretta J.-M. et B. Surugue (1977). — Température de surface et pêche thonière. Film 16 mm, couleurs, son optique, 7 minutes, version française, anglaise, portugaise, arabe. (Disponible en vidéo U Matic 3/4 pouce) Production ORSTOM, Diffusion ORSTOM, SFRS, Médiathèque Centrale, ADPF.

Stretta J.-M., J.-C. Favard et J. Citeau (1980). — METEO-SAT et l'expérience d'aide à la pêche. Compte rendu du 6^e Symposium canadien sur la télédétection 21-31 mai 1980. Halifax, Canada.

Stretta J.M. et M. Slepoukha (1983). — Les satellites, l'ordinateur et l'aide à la pêche. La Pêche Maritime janvier 1983. N° 1258 : 38-41.

Stretta J.-M. et M. Slepoukha (1983a). — Analyse des températures de surface au sein des concentrations de listao en 1981. ICCAT, Doc. SKJ. Conf. 83/41.

Stretta J.-M. et M. Slepoukha (1986). — Analyse des facteurs biotiques et abiotiques associés aux bancs de listaos. pp. 161-169. In Proceedings of the ICCAT Conference on the International Skipjack Program. (P.E.K. Symons, P.M. Miyake and G.T. Sakagawa Editors) ICCAT, 388 p.

Stretta J.-M. et M. Petit (A paraître). — L'environnement des thonidés au large de la Côte d'Ivoire. In Synthèse Maritime Côte d'Ivoire. Editions ORSTOM.

Sund P.N., M. Blackburn and F. Williams (1981). — Tunas and their environment in the Pacific Ocean : a review Océanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 19 : 443,512.

Valiela (1984). — Marine ecological processes. Springer Advanced Texts in Life Sciences (D.E. Reichle, Ed.). Springer-Verlag. 546 pp.

Viollier M. (1976). — Contribution à l'étude du rayonnement retrodiffusé par l'océan : application à la télédétection de la chlorophylle. Thèse doctorat de spécialités. Université des Sciences et Techniques de Lille. N° 610. 90 pp.

Voituriez B. et Y. Dandonneau (1974). — Relations entre la structure thermique, la production primaire et la régénération des sels nutritifs dans le dôme de Guinée. Cah. ORSTOM. sér. Océanogr., Vol XIII : 245-255.

Voituriez B. et A. Herbland (1977). — Etude de la production pélagique de la zone équatoriale de l'Atlantique à 4° W. I- Relations entre la structure hydrologique et la production primaire. Cah. ORSTOM. sér. Océanogr., vol XV, n° 4, 1977 : 313-331.

Voituriez B. et A. Herbland (1982). — Comparaison des systèmes productifs de l'Atlantique Tropical Est : dômes thermiques, upwellings côtiers et upwelling équatorial. Rapp. P.-V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer, 180 : 114,130.

Yentsch C.S. (1973). — Remote sensing for productivity in pelagic fisheries. Nature Vol. 224 (5415) : 307-308.

6. ANNEXE

6.1. PREVI-PECHE ou le calcul de la potentialité de pêche d'une zone (PPZ)

Comme nous l'avons vu plus haut, pour calculer des potentialités de pêche en Atlantique, nous avons divisé la région inter-tropicale entre 20°N et 10°S et entre la

côte africaine et 50°W en 138 zones de 2° latitude par 5° longitude soit des zones d'une superficie de 36 000 miles² (figure 5).

A la réception d'une carte des températures de surface de la mer mesurées par satellite (cartes GOSST-COMP ou carte METEOSAT), nous sommes à la semaine S0. Cette semaine correspond au mois M. Pour chaque zone, nous calculons :

- la Potentialité Historique de Pêche (PHP);
- la Potentialité de Pêche en Cours (PPC);
- la Potentialité de Pêche d'une Zone (PPZ) qui est égale à la somme entre la PHP et la PPC;
- l'Evolution de la Probabilité de Pêche (EPP).

6.1.1. Potentialité historique de pêche (PHP)

Pour le calcul de la PHP, nous retiendrons différentes données thermiques relevées dans l'atlas compilé par Hastenrath et Lamb (1977); Merle. (1978). Ces températures historiques utilisées sont :

- la température historique du mois M : (THM);
- la température historique du mois précédent (THM1);
- la température historique du mois suivant (THMS);
- la température historique la plus froide (THF) relevée dans la zone.

En calculant dans la zone étudiée la différence thermique entre la température historique la plus froide (THF) relevée et la température historique du mois précédent celui ou débute l'analyse des températures de surface (THM1), il est possible d'apprécier de façon théorique et globale un certain niveau de productivité de la masse d'eau étudiée. Plus la productivité de la masse d'eau est élevée, plus la probabilité de pêche théorique est élevée. Dans cette notion de PHP, nous ne faisons pas intervenir les pêches de thonidés dont la zone étudiée a pu être l'objet dans le passé.

La PHP résulte de la comparaison entre la température de surface de la mer historique relevée le mois précédent celui ou débute l'analyse des températures de surface et la température la plus froide relevée au cours de l'année dans la zone (THF). Si la température la plus froide relevée au cours de l'année dans la zone est supérieure à 25°C, on considère cette zone comme ayant peu de chances d'être enrichie par des remontées d'eaux infra-thermoclinales. La PHP est égale à 0/1. En revanche, la PHP est égale à 1/1 si la THF est inférieure à 25°C et si le mois où elle apparaît est situé le mois précédent celui de la réception de la dernière carte de température.

En résumé :

- si $THF > 25.0^{\circ}C$ alors $PHP = 0/1$
- si $THF < 25.0^{\circ}C$ et $THF = THM1$ alors $PHP = 1/1$.

C'est à partir de la dernière carte reçue (S0) que nous allons à présent analyser le scénario thermique de la zone depuis cinq semaines.

6.1.2. Potentialité de Pêche en Cours (PPC)

Quand l'on reçoit une carte de température de surface de la mer élaborée à partir des données de METEOSAT

ou de la NOAA, nous sommes à la semaine S0 et la température de surface est TS0.

Pour une zone étudiée, après le calcul de la PHP, nous analysons l'évolution de la température de surface fournie par les cartes satellites sur une période de cinq semaines. Nous batissons le scénario thermique de la zone étudiée des semaines S-5 à S0 et le comparons au scénario thermique idéal par une série de cinq tests. A l'issue de cette analyse, nous obtenons la potentialité de pêche en cours (PPC) pour la zone étudiée.

6.1.3. La Potentialité de Pêche d'une Zone (PPZ)

Nous avons vu ci-dessus que la potentialité de pêche d'une zone est égale à la somme de la PHP et de la PPC : le modèle accorde à la zone étudiée une valeur de probabilité de pêche comprise entre 0 et 6. La PHP participe à la potentialité de pêche d'une zone à hauteur de 1/6 et la PPC à hauteur de 5/6. Une probabilité de pêche égale à 0 ou 1 définit une zone théoriquement défavorable à la présence de thons : en revanche, une probabilité de pêche égale à 5 ou 6 définit une zone théoriquement très favorable à la pêche. Les valeurs intermédiaires définissent des zones favorables (valeur égale à 4), moyennement favorables, (valeur égale à 3) à la pêche ou peu favorables (valeur égale à 2) à la pêche. Cette probabilité de pêche ainsi calculée est valable pour une période de dix à quinze jours après le dernier relevé thermique soit pour les semaines S+1 et S+2.

6.1.4. Evolution de la Probabilité de Pêche (EPP)

Pour s'affranchir du retard dans la réception des cartes de température mesurées par satellites en provenance des USA pour les cartes GOSSTCOMP, nous nous livrons à une projection dans l'avenir. Pour cela, nous calculons de nouvelles probabilités de pêche en fonction d'une évolution possible de la température lors de la semaine S+1 que nous n'avons pas encore reçue. Cette projection dans l'avenir permet d'évaluer les potentialités de pêche d'une zone trois semaines à un mois après les dernières informations thermiques reçues. Au cours de ce nouveau traitement, le modèle prévisionnel analyse et propose différents scénarios thermiques. Afin de faire varier la température de surface de la semaine S+1 dans une gamme plausible, nous allons calculer son intervalle de variation. Pour cela nous prenons la valeur absolue de la différence entre la température de surface de la semaine S0 et la température de surface historique du mois suivant le mois correspondant à la semaine S0 (THMS). A cette valeur absolue nous ajoutons 1°C pour ne pas négliger d'éventuelles variations des conditions de surface.

La température de surface de la semaine S+1 variera entre :

$$\left| TS0 - THMS \right| + 1 \text{ et } - \left| TS0 - THMS \right| + 1.$$

Cette variation est limitée à plus ou moins 2°C. En Atlantique intertropical, des variations de la température de surface supérieures à 2°C sont rares sauf en régime d'upwelling.

Pourqu'une zone soit déclarée « EN EVOLUTION FAVORABLE », il faut que la première probabilité de pêche (celle issue du scénario thermique entre les

semaines S0 et S-4) soit égale ou inférieure à 1/6 et que les cinq probabilités de pêche issues des scénarios thermiques entre les semaines S+1 et S-3 soient supérieures ou égales à 3/6.

Prenons un exemple concret (Stretta et Slepoukha, 1983) : « Dans le bulletin prévisionnel n° 28 (figure 6) du 4 octobre 1982, le modèle avait qualifié la zone 48 de zone moyennement favorable. Si l'on n'avait pas calculé les différentes probabilités de pêche en fonction d'une évolution possible de la température dans le temps on pourrait voir sur la figure 7 que la probabilité de pêche pour la période du 15 septembre au 28 septembre 1982 était de 1/6 c'est-à-dire que cette zone était considérée comme défavorable. Cependant, dans le cas de la zone 48, en calculant une évolution possible de la température, la probabilité de pêche passe de 1/6 à 3 ou même 4/6 pour la période du 29 septembre au 12 octobre 1982 : la zone devenant ainsi moyennement favorable. En fait, la masse d'eau était en cours de maturation et le processus de fertilisation, tout en n'étant pas exceptionnel, était cependant suffisamment avancé pour ne pas être perturbé par une évolution possible de la température de surface ».

« Prenons à présent l'exemple de la zone N° 13 : on peut voir sur le texte sorti de l'imprimante (figure 7) que les probabilités de pêche calculées pour les différents scénarios thermiques sont égales à 0/6 ou 1/6. Quelle que soit l'évolution de la température de surface de cette zone, la potentialité de pêche pour la quinzaine suivante est théoriquement nulle. Dans le cas, la masse d'eau n'avait subi aucune fertilisation au cours des six dernières semaines et une évolution possible de la température n'y pourrait rien changer ».

MINISTRE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE D'OUTRE MER
CENTRE DE RECHERCHES OcéANOGRAPHIQUES
BP V 18 ABIDJAN COTE D'IVOIRE
BUREAU D'AIDE A LA PECHE ORSTOM/INTERTHON
BULLETIN N:28 DU 4/10/1982
Ref. 1583/JMS/hp

* PROBABILITES DE PECHE THONIERE *
* EN ATLANTIQUE INTERTROPICAL *

PROBABILITES VALABLES POUR LA PERIODE DU: 29/9 AU 12/10/1982
Probabilités de pêche calculées à partir de températures de surface mesurées par satellite.
Origine des données: NOAA (USA)

ZONES TRES FAVORABLES
81 82 108

ZONES MOYENNEMENT FAVORABLES
40 48 58 59 60 62 69 72 73 80 84 86 87 91 94
95 96 105 106 107 115 120 128 132 137

ZONES PEU FAVORABLES
4 18 27 28 35 39 42 43 49 50 55 63 68 74 75
83 92 93 97 98 101 102 103 104 110 111 112 113 121 124
130 131 133 134 135 138

ZONES EN EVOLUTION FAVORABLE
58 73 86 95 105 137

PAS D'INFORMATION EXPLOITABLE POUR LES AUTRES ZONES
PREVISIONS FAITES PAR J.M. STRETTA ET M. SLEPOUKHA sur ordinateur HP/100
avec le logiciel PREVI-PECHE

Figure 6. Reproduction du « BULLETIN PREVISIONNEL n° 28 » distribué aux pêcheurs le 4 octobre 1982.

« Dans l'exemple de la zone n° 108, on peut voir sur le texte sorti de l'imprimante (figure 7) que la probabilité de pêche reste stationnaire et élevée quelle que soit l'évolution de la température de surface. Cependant, au sein de cette zone, nous savons que la rencontre d'épaves est possible (Stretta, 1985; Stretta et Slepoukha, 1986). Ce facteur qui reste aléatoire et non quantifiable n'est pas à négliger, surtout lorsque la probabilité de pêche est élevée. C'est pourquoi la zone est qualifiée de très favorable à la pêche ».

Dans le bulletin prévisionnel n° 28 (figure 6) du 4 octobre 1982, la zone 73 est qualifiée de zone en EVOLUTION FAVORABLE. On peut voir sur le texte sorti de l'imprimante (figure 7) que la première probabilité de pêche (celle issue du scénario thermique entre les semaines S0 et S-4) est égal à 0 et que les probabilités de pêche issues des scénarios thermiques entre les semaines S+1 et S-3 sont égales à 3/6 ou 4/6.

PROBABILITES DE PECHE ET EVOLUTION
POUR L'ATLANTIQUE INTERTROPICAL
BULLETIN N:28

PREVISIONS FAITES PAR J.M. STRETTA ET M. SLEPOUKHA
BUREAU D'AIDE A LA PECHE ORSTOM/INTERTHON ABIDJAN LE:4/10/82

NUMERO DE LA ZONE : 13 TEMPERATURE HISTORIQUE : 26.0
LA DERNIERE CARTE THERMIQUE RECUE COUVRE LA PERIODE DU:8/9 AU 14/9/82
TEMPERATURE DE SURFACE DANS CETTE ZONE A CETTE PERIODE: 23.0C
PROBABILITE DE PECHE POUR LA PERIODE DU:15/9 AU 28/9/82 : 0/6

EVOLUTION DE LA PROBABILITE DE PECHE DANS CETTE ZONE
POUR LA PERIODE DU:29/9 AU 12/10/82 SI LA TEMPERATURE
DU 15/9 AU 21/9/82 SE TROUVE ETRE EGALE A:
25.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 0/6
24.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 1/6
23.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 0/6
22.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 0/6
21.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 0/6

NUMERO DE LA ZONE : 48 TEMPERATURE HISTORIQUE : 27.0
LA DERNIERE CARTE THERMIQUE RECUE COUVRE LA PERIODE DU:8/9 AU 14/9/82
TEMPERATURE DE SURFACE DANS CETTE ZONE A CETTE PERIODE: 26.0C
PROBABILITE DE PECHE POUR LA PERIODE DU:15/9 AU 28/9/82 : 1/6

EVOLUTION DE LA PROBABILITE DE PECHE DANS CETTE ZONE
POUR LA PERIODE DU:29/9 AU 12/10/82 SI LA TEMPERATURE
DU 15/9 AU 21/9/82 SE TROUVE ETRE EGALE A:
28.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 3/6
27.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 4/6
26.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 3/6
25.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 3/6
24.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 3/6

NUMERO DE LA ZONE : 108 TEMPERATURE HISTORIQUE : 23.0
LA DERNIERE CARTE THERMIQUE RECUE COUVRE LA PERIODE DU:8/9 AU 14/9/82
TEMPERATURE DE SURFACE DANS CETTE ZONE A CETTE PERIODE: 21.0C
PROBABILITE DE PECHE POUR LA PERIODE DU:15/9 AU 28/9/82 : 4/6

EVOLUTION DE LA PROBABILITE DE PECHE DANS CETTE ZONE
POUR LA PERIODE DU:29/9 AU 12/10/82 SI LA TEMPERATURE
DU 15/9 AU 21/9/82 SE TROUVE ETRE EGALE A:
23.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 4/6
22.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 5/6
21.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 4/6
20.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 4/6
19.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 4/6

NUMERO DE LA ZONE : 73 TEMPERATURE HISTORIQUE : 24.0
LA DERNIERE CARTE THERMIQUE RECUE COUVRE LA PERIODE DU:8/9 AU 14/9/82
TEMPERATURE DE SURFACE DANS CETTE ZONE A CETTE PERIODE: 23.0C
PROBABILITE DE PECHE POUR LA PERIODE DU:15/9 AU 28/9/82 : 0/6

EVOLUTION DE LA PROBABILITE DE PECHE DANS CETTE ZONE
POUR LA PERIODE DU:29/9 AU 12/10/82 SI LA TEMPERATURE
DU 15/9 AU 21/9/82 SE TROUVE ETRE EGALE A:
21.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 4/6
22.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 3/6
23.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 4/6
24.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 4/6
25.0C LA PROBABILITE DE PECHE DEVIENDRAIT EGALE A: 4/6

Figure 7. Sortie de l'imprimante montrant les probabilités de pêche calculées.