

Michel PETIT*
Jean-Michel STRETTA*
Monique SIMIER*
Alain WADSWORTH**

Anomalies de surface et pêche thonière: SPOT et la détection de zones de pêche par l'inventaire des hauts-fonds

RESUME Par une analyse théorique et quelques exemples pratiques, il est montré que, dans une zone de pêche des thonidés, la présence de hauts-fonds est un facteur d'amélioration des rendements, et que, par l'utilisation des caractéristiques spécifiques de l'imagerie SPOT et par un traitement simple, la télédétection des hauts-fonds est réalisable. Une nouvelle stratégie d'exploitation de cette imagerie est proposée.

ABSTRACT Through theoretical analysis and some examples, we try to point out that in a tuna fishing area, seamounts are factors of increasing catches. On the other hand, through SPOT images and their specific characteristics, a plain image processing shows that seamounts remote sensing is possible. A new strategy using SPOT system is proposed.

RESUMEN Valiéndose de un análisis teórico y de algunos ejemplos prácticos, los autores muestran que, dentro de una zona de pesca del atún, la presencia de bajíos es un factor de mejora de los rendimientos. La utilización de las características específicas de las imágenes SPOT y un tratamiento sencillo permiten la teledetección de los bajíos. Los autores proponen una nueva estrategia para la utilización de dichas imágenes.

- HAUTS-FONDS
- HOULE
- OCEANOGRAPHIE
- PECHE THONIERE
- SPOT

- OCEANOGRAPHY
- SEAMOUNTS
- SPOT
- SWELL
- TUNA FISHERY

- BAJIOS
- OCEANOGRAFIA
- OLEAJE
- PESCA ATUNERA
- SPOT

La tendance des bancs de poissons à se concentrer près des structures hydrologiques marquées (forts gradients thermiques ou halins), des épaves ou des hauts-fonds, est connue des pêcheurs et des scientifiques depuis longtemps. Pour les thonidés, en particulier, une théorie cohérente sur leur comportement (Petit, 1986) tente d'expliquer cette tendance en intégrant la corrélation entre les concentrations de bancs de thons et les anomalies qu'ils détectent dans leur champ de perception. Les anomalies peuvent correspondre à des fronts thermiques ou halins, à des zones de courant, à des épaves ainsi qu'à des gradients bathymétriques (pentes récifales, guyots et hauts-fonds). C'est ce dernier cas qui va retenir ici notre attention.

Problématique et support théorique

Pour appréhender les possibilités de développement des pêches dans une zone océanique, il faut en estimer son potentiel biologique, qui dépend généralement de systèmes hydrologiques résidents. Les systèmes capables d'engendrer un fort enrichissement de la masse d'eau (Stretta, 1988) peuvent être: les remontées côtières, la remontée équatoriale, les eaux côtières, les eaux issues de «bouffées» de sels nutritifs, les zones de convergence, les dômes thermiques ou les zones de guyots ou de hauts-fonds.

Le système d'enrichissement en rapport avec cette dernière situation, bien qu'exploité par les pêcheurs, est mal connu des océanographes (Klimley et Butler, 1988). La plupart des patrons des thoniers que nous rencontrons possèdent une liste, jalousement tenue secrète, de hauts-fonds connus ou inconnus sur lesquels il se rendent volontiers.

Que se passe-t-il à proximité d'un guyot? Les analyses indiquent en général:

- une remontée des isothermes. Elle est liée à des remontées d'eaux qui se produisent le long de la pente du haut-fond en amont et en aval du courant (Uda et Ishino, 1958). Généralement, la remontée des isothermes n'atteint pas la surface de la mer. On se trouve en fait devant une structure thermique de même type que celle d'un dôme ou de la crête thermique en Atlantique vers 2°S. Cette remontée des isothermes au-dessus d'un guyot est nette et apparaît avec une fréquence suffisante pour fournir des preuves de l'existence des colonnes de Taylor (Boehlert et Genin, 1987). Ces mini-upwellings très localisés amènent des sels nutritifs dans la couche euphotique, zone où le facteur limitant de la production primaire se trouve être la quantité en sels nutritifs. C'est ainsi que certains auteurs (Genin et Boehlert, 1985) ont comparé des profils de chlorophylle au dessus d'un guyot (Minami-Kasuga Seamount) et dans une zone témoin située à 10 km de son centre. Ils ont observé,

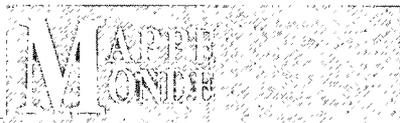
* Centre ORSTOM de Montpellier - B.P. 5045 - 34032 Montpellier Cédex FRANCE.
** GDTA (IFP), 18 avenue Edouard BELIN - 31055 Toulouse Cédex FRANCE.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 30148, ex 1

Cote : B

20 JUN 1990



au-dessus de ce guyot, une augmentation de la chlorophylle entre 80 et 100 m part rapport aux stations témoins. Cette profondeur correspond au point haut de la structure en dôme des isothermes. Dans la couche superficielle proche du guyot, les teneurs en chlorophylle ne varient pas par rapport à celles des stations témoins. L'augmentation de chlorophylle précédemment décrite n'a toutefois pas été observée au cours d'autres radiales à quelques jours d'intervalle; les auteurs en concluent que la colonne de Taylor qui se forme sous l'effet d'un courant doit se maintenir pendant quelques jours pour créer une augmentation de chlorophylle.

- La présence de vortex cycloniques et anticycloniques. A partir d'images satellites, a été mise en évidence l'influence d'une chaîne de guyots sur les méandres du Gulf Stream (Cornillon, 1986), corroborée par une simulation avec un modèle numérique (Adamec, 1987). Cette simulation peut apporter un début de réponse à la question de savoir dans quelle mesure l'enrichissement très localisé que l'on note dans la région d'un guyot ne va pas être immédiatement dispersé par la circulation générale du lieu. Cela ne semble pas être le cas (Boehlert et Genin, 1987), en effet, des mesures lagrangiennes de courant au-dessus de guyots suggèrent l'existence d'ondes piégées pendant plusieurs semaines (Richardson, 1980). Il a été noté (Cheney, Richardson et Nagasaka, 1980) qu'une bouée dérivante s'est trouvée piégée par un tourbillon pendant six semaines sur un guyot isolé.

Bien que les observations de l'effet des guyots sur la circulation et sur la remontée des isothermes soient loin d'être complètes (Roden, 1987), l'enrichissement de la production est, avec la notion «d'anomalie» développée plus haut (Petit, 1986), une des causes essentielles de la concentration de bancs de thons près des hauts-fonds. D'autres hypothèses peuvent être envisagées: le fait que le guyot engendre une modification de la répartition verticale du micronecton dont se nourrit le thon (Roger, com. pers.).

Matériels et méthode

Les données de pêche

Pour cette brève étude, nous avons disposé des statistiques de pêche de la flottille thonière F.I.S. (1) en Atlantique tropical entre 1979 et 1987. Cette pêche est pratiquée par des senneurs industriels dont les techniques de captures sont régulièrement décrites dans les articles de la revue *La Pêche Maritime*. Les patrons de ces navires nous ont confié une liste de hauts-fonds dont la position reste confidentielle. Les statistiques de pêches, très complètes, contiennent en particulier, par jour de mer, la position du thonier et de ses prises (nombre de coups de senne et tonnage de la calée si le coup de senne est positif).

Les données du satellite SPOT

La haute résolution spatiale, la sensibilité spectrale, le pouvoir discriminant et la répétitivité (accrue par la visée

oblique) sont les qualités attendues et reconnues du satellite SPOT et de ses instruments par les utilisateurs de la télé-détection, notamment les géographes et les gestionnaires des ressources naturelles. Les techniques et systèmes mis en place pour rendre ces caractéristiques nominales permettent d'obtenir des données d'excellente qualité dans des domaines inattendus. C'est le cas, par exemple, pour la surface des océans dont l'étude détaillée (Wadsworth et Petit, 1987; Wadsworth, 1988; Petit, 1988) fait ressortir le rôle majeur dans l'efficacité surprenante de SPOT par la possibilité de dépointer le capteur, c'est-à-dire de viser latéralement la surface du globe jusqu'à plus ou moins 27°. Compte tenu de la rotondité de la terre, cette valeur approche les 29 degrés au sol. Les images multispectrales ainsi obtenues en visée oblique face à l'est, donc à proximité du reflet spéculaire, rendent compte des phénomènes océanographiques de surface.

Sur LANDSAT qui observe à la verticale ou sur SPOT lorsque le dépointage est nul ou faible, c'est la couleur de la mer que l'on observe. Cela n'est pas le cas pour les images SPOT en visée oblique. En effet, l'une des trois bandes spectrales, dont les réponses sont très corrélées entre elles, est située dans le proche infrarouge, qui ne permet aucune pénétration dans l'eau. Or de telles images montrent des signaux très voisins dans les trois bandes. Seuls les effets de surface sont ainsi observables. De plus, les phénomènes détectés ont une morphologie semblable à celle obtenue sur des images radar. Il est donc certain que ce que l'on observe sur des images SPOT, en visée oblique face à l'est, est dû aux variations locales de la rugosité de la surface de la mer. Or l'on sait, depuis l'existence des images radar, que la rugosité de la mer est modulée par des phénomènes océanographiques de profondeur.

L'ouverture du faisceau est faible (4°13') et permet une détection homogène sur une surface d'environ soixante par soixante kilomètres, ce qui est une excellente échelle d'observation des phénomènes océanographiques. Ce champ est en effet plus restreint que celui obtenu jusqu'ici par des capteurs aéroportés ou même spatiaux, comme LANDSAT, dont le champ d'observation généralement trop grand ne permettait pas une détection aussi homogène. Les trains d'ondes internes, les ondes stationnaires, la pollution par les hydrocarbures, le sillage de bateaux et les fronts de turbidité ont pu être observés dans ce contexte.

La modélisation des vagues et de la houle reste mathématiquement simple (Phillips, 1977; Le Blond et Mysak, 1978), en particulier dans l'hypothèse d'une amplitude relativement faible (profil d'onde sinusoïdal). Rappelons brièvement que la gravité reste la force qui contrôle la propagation de l'onde dès que la surface de l'eau est agitée. Il a été démontré que:

$$k = 2\pi\lambda^{-1} \text{ et } c = (g/k)^{1/2} = (g\lambda/2\pi)^{1/2}$$

où λ est la longueur d'onde (m),

k le nombre d'onde (rads m⁻¹),

et c la vitesse de propagation (ms⁻¹),



d'où l'on déduit que les vagues de grande longueur d'onde voyagent plus vite que celles de plus faible longueur d'onde.

	Amplitude (m)	Longueur d'onde (m)	Période (s)
Vagues du vent	10 ⁻² à 10	0.05 à 10	01 à 10
Houle	10 à 20	100 à 500	10 à 20
Vagues capillaires	10 ⁻³	10 ⁻³ à 10 ⁻²	< 1

Classification sommaire des vagues en fonction de leurs caractéristiques

Lorsque l'on se situe dans les zones de faible profondeur h ($1/20$ de la longueur d'onde), la relation s'écrit $c = (gh)^{1/2}$, la vitesse de propagation ne dépend plus de la longueur d'onde et décroît avec la profondeur de même que la longueur d'onde tandis que l'amplitude croît, la période restant constante. Il s'ensuit que:

$$h = (\lambda / 2\pi) \quad (I)$$

A partir des mêmes raisonnements, une formule plus précise (Guy, 1976) tient compte de la longueur d'onde (λ_0) «au large, en profondeur infinie» et de la longueur d'onde (λ_i) et de la profondeur h_i en un point i où se manifeste l'influence du fond :

$$h_i = (\lambda_i / 4\pi) \text{Ln}[(\lambda_0 + \lambda_i) / (\lambda_0 - \lambda_i)] \quad (II)$$

Ce bref rappel, allié aux capacités de SPOT à détecter les phénomènes de surface, fait naître l'idée de la possibilité de détecter les hauts-fonds par ce satellite autrement que par analyse des réflectances multiradiométriques qui utilisent des modèles de transfert radiatif à double flux (Spitzer et Dirk, 1987). Notons que cette analyse reste la seule possible, avec les données de satellites classiques, comme LANDSAT ou les données de SPOT à visée quasi verticale, si la houle n'est pas visible.

Nous nous trouvons donc en présence de deux hypothèses issues de domaines différents et indépendants:

- celui de l'halieutique thonière (les hauts-fonds sont-ils des zones de pêche thonière de meilleur rendement?);
- celui de la télédétection en visée oblique du satellite SPOT (les hauts-fonds peuvent-ils être détectés par l'analyse des ruptures de houle?).

Résultats

La pêche thonière (F.I.S.) autour de quelques hauts-fonds en Atlantique tropicale

Nous avons sélectionné cinq hauts-fonds en Atlantique tropical et analysé les statistiques de pêches selon les tonnages de thonidés capturés par calée au sein de quatre strates annulaires centrées sur la position des hauts-fonds: strate 0: zone de 0 à 4 milles autour des hauts-fonds; strate 1: (de 5 à 8 milles); strate 2: (de 9 à 16 milles); strate 3: (de 17 à 32 milles).

Pour les strates 2 et 3, nous n'avons retenu que les pêches synchrones à celles des strates 0 et 1 à plus ou moins

cinq jours près. Ceci permet de rééquilibrer l'échantillon et d'éviter le biais lié à la croissance de l'aire des strates au fur et à mesure que l'on s'éloigne du haut-fond. Bien entendu, ceci permet également de négliger le biais lié à la saison.

Strates	0 (0-4m)	1 (5-8m)	2 (9-16m)	3 (17-32m)
Jours de présence	574	146	273	1322
Nombre de calées	42	80	154	771
Tonnage/Calée (ρ_j)	14.81	12.46	981	8.75

Tonnage capturé par calée selon les strates concentriques autour de cinq hauts-fonds de l'Atlantique Tropical oriental.

m: mille, ρ_j : tonnage/calée (positive) exprimé en tonnes.

Pour les strates 2 et 3, sont prises en considération les pêches synchrones aux strates 1 et 2. Cf. texte.

Un test F, calculé sur les rendements ρ_j , donne un F observé de 12.16 bien supérieur à la valeur théorique à 1% (3.78). Ceci permet de rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des rendements ρ_j et d'appliquer le test de l'étendue de Student (Scherrer, 1984) en calculant :

$$\rho_c = (q_{\max} - q_{\min}) [1/2x(\text{var.intr.})x(1/n_{\max} + 1/n_{\min})]^{-1/2},$$

(var. intr. = variance intragroupe)

Les résultats sont:

$$\rho_c = 1.70 \text{ pour } \rho_0 > \rho_1, \quad \rho_c = 1.72 \text{ pour } \rho_1 > \rho_2$$

$$\rho_c = 4.62 \text{ pour } \rho_0 > \rho_2, \quad \rho_c = 2.83 \text{ pour } \rho_1 > \rho_3$$

$$\rho_c = 8.36 \text{ pour } \rho_0 > \rho_3, \quad \rho_c = 1.08 \text{ pour } \rho_2 > \rho_3$$

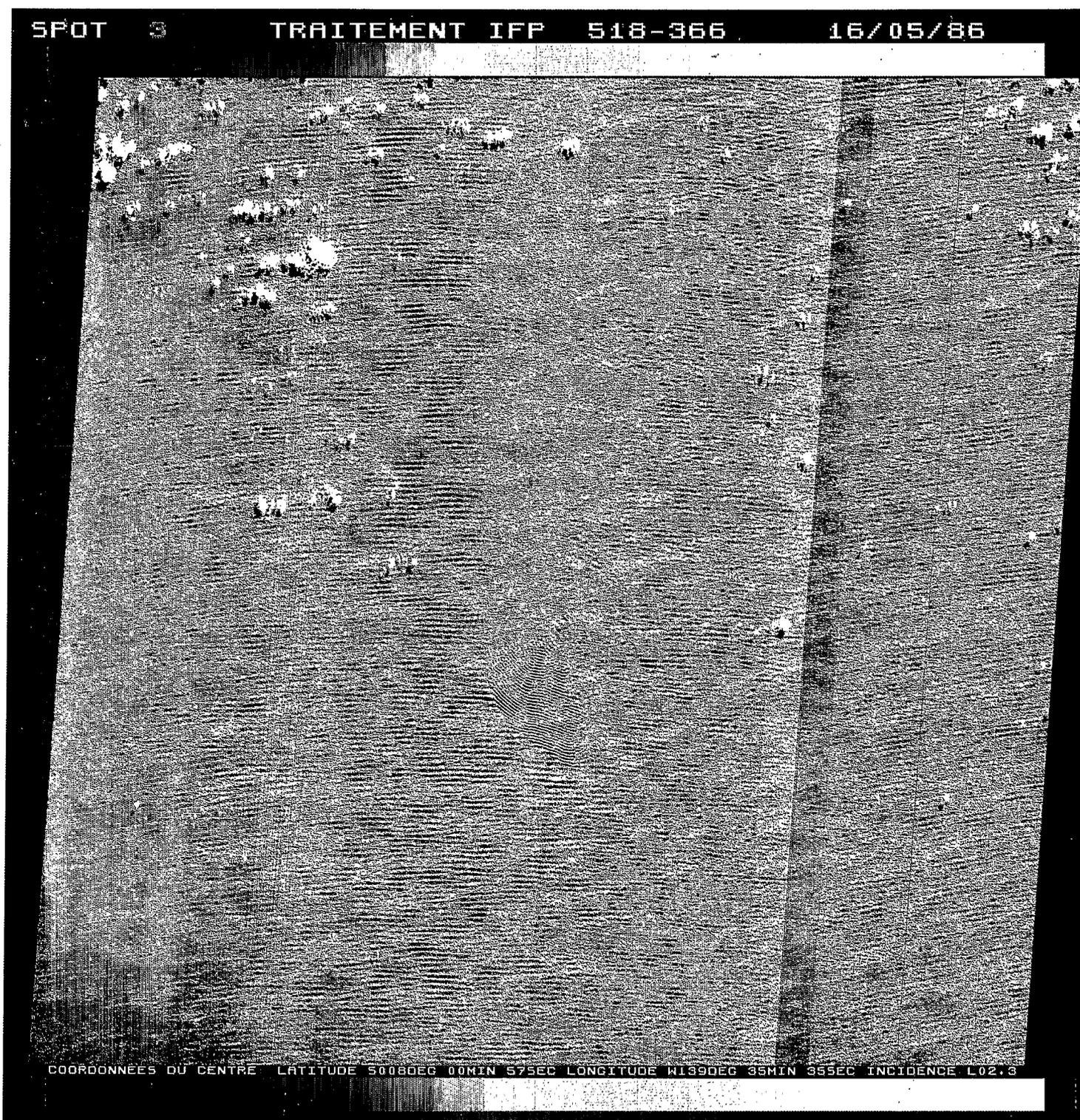
La valeur théorique de ρ_c à 5% est de 3.63. Donc, à la lumière des résultats de ce test, l'hypothèse alternative $\rho_0 = \rho_1 > \rho_2 = \rho_3$ est acceptée au seuil de 5%. L'interprétation est aisée et se résume à une augmentation statistiquement significative des rendements par calée lorsqu'on se situe à moins de huit milles d'un haut-fond.

Nous avons poussé l'analyse plus loin en nous attachant à deux hauts-fonds à l'environnement très différent: le premier (haut-fond A) est situé près de la côte sénégalaise sous l'influence d'un système hydrologique très actif (remontée côtière marquée); le second (haut-fond B) est à plus de 200 milles de toute terre.

Haut-fond	Strates	0 (0-4m)	1 (5-8m)	2 (9-16m)	3 (17-32m)
I	Jours de présence	42.5	66.5	158.1	586.6
	Nombre de calées	24	50	120	288
	Tonnage/Calée	11.15	13.23	8.2	9.6
II	Jours de présence	14	23.5	70	184.5
	Nombre de calées	9	10	22	87
	Tonnage/Calée	34.44	10.15	15.23	16.21

Tonnage capturé sur deux hauts-fonds I et II (l'un au large, l'autre en environnement côtier).

Légende identique à celle du tableau précédent.



1. Le banc de Clark au nord-est de Nuku-Hiva (Iles Marquises)

A. Image SPOT du 16 mai 1986

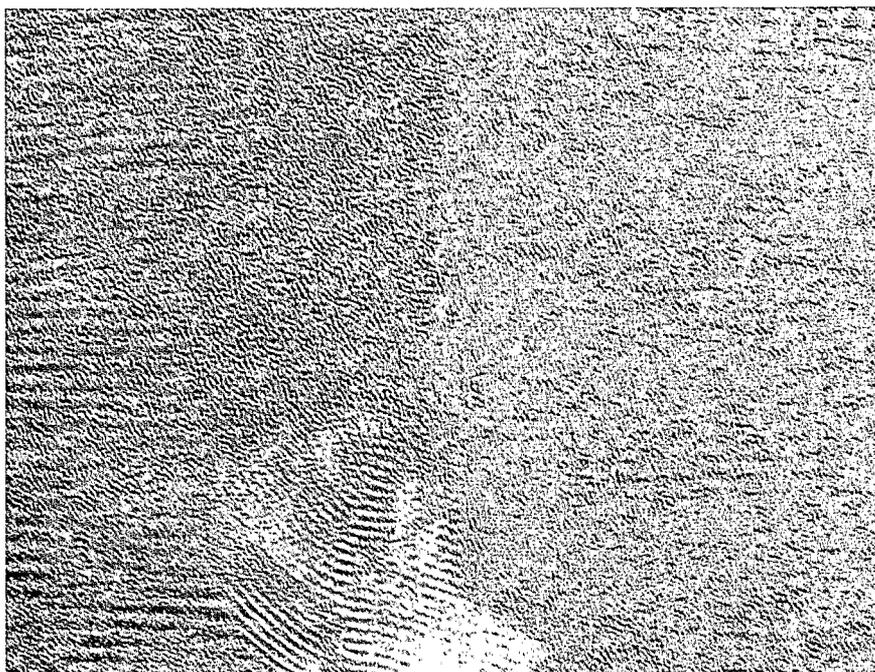
Cette image (K.J.,518,366) a subi un traitement classique, réalisé à l'I.F.P., de combinaison des trois canaux du radiomètre. Elle met encore plus en évidence le décalage inter-barrette. Toutefois, la déformation de la houle en forme d'empreinte digitale est bien visible au centre de l'image. On constate également que la perturbation générée par le haut-fond se propage sur plus de la moitié de la scène, soit 30 km.

Pour le haut-fond B, comme dans l'analyse générale, les résultats du test F (F observé = 3.17 pour un F théorique de 2.69 à 5%) et du test de l'étendue de Student qui s'en suit, induisent l'acceptation de l'hypothèse alternative: $\rho_0 > \rho_1 = \rho_2 = \rho_3$ bien que limitant l'effet du haut-fond à un rayon de 4 milles. En revanche, pour le haut-fond A, les résultats du test F (F observé de 1.4 pour un F théorique de 2.62) fait accepter l'hypothèse nulle d'égalité des rendements. L'interprétation que nous proposons se ramène à un gommage de l'effet haut-fond par le phénomène, marqué et violent, de l'upwelling sénégal-mauritanien.

En résumé, il s'avère que les statistiques de pêches peuvent suffire à évaluer l'effet d'un haut-fond sur la productivité d'une zone, à condition toutefois de prendre garde à l'environnement océanographique de ce dernier.

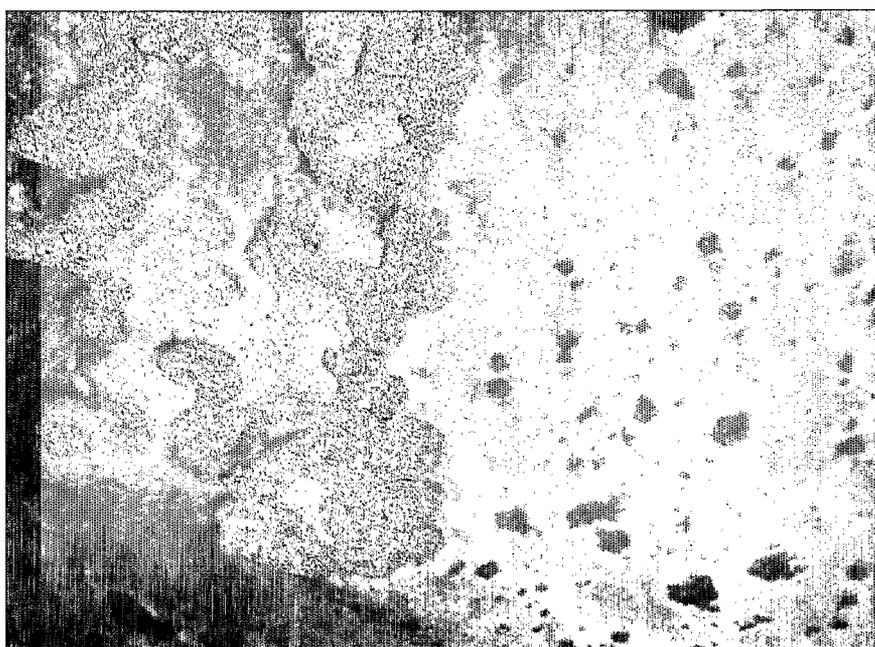
Analyse d'une image SPOT près des Iles Marquises (16 mai 1986)

Cette image correspond à une zone de l'océan Pacifique située à 60 milles dans le NE de Nuku-Hiva (Iles Marquises, sur le banc Clark). Bien qu'elle ne corresponde pas tout à fait aux critères de sélection décrits plus haut, notamment en termes d'incidence, nous avons choisi cette image parce qu'a priori rien ne permet de dire que nous sommes en présence d'un haut-fond: si l'on suit la filière «classique» de sélection des images, sur les quick-looks rien n'est visible, et, sur un traitement classique, seul le canal XS1 révèle une tache blanche qui ressemble peu ou prou à un nuage de basse altitude. Ceci est dû à une dynamique très resserrée (fig. 1A). En revanche, après étalement de cette dernière par traitement élémentaire de l'image, une tache en forme d'empreinte digitale devient très nette sur les trois canaux. En associant le canal XS1, étalé dans le



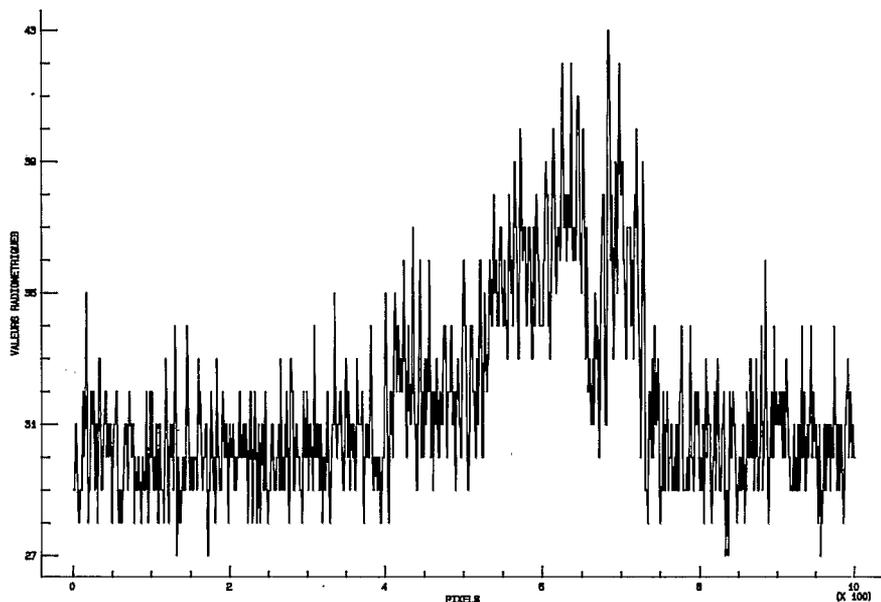
B. Concordance entre le haut-fond et la modification de la houle

Cet encart résulte, après étalement de la dynamique, d'un traitement combinant le canal XS1 (en rouge), qui laisse apparaître les traces du haut-fond corallien, et le canal XS3 qui ne pénètre pas dans l'eau.



C. Vue du haut-fond

L'encart montre le haut-fond dans la partie la moins immergée (environ 3 m), photographié à une altitude de 150m, au cours des opérations de radiométrie aérienne et prospection thonière (Petit et Kulbicki, 1983).



2. Coupe radiométrique nord-sud passant sur le haut-fond

rouge, avec le canal XS3, traité en bleu, la concordance entre le haut-fond et la modification de la houle est mise en lumière (fig. 1B). Ce banc corallien de subsurface fait 3 milles de diamètre environ et se situe entre la surface et une vingtaine de mètres de profondeur. Différents types de vagues sont visibles et la houle de secteur sud est aussi parfaitement identifiable. La perturbation du champ de houle s'étale jusqu'à plus de cinq ou six milles «sous le vent» du haut-fond. La coupe radiométrique nord-sud met en évidence le changement de longueur d'onde de la houle (fig. 2). Après filtrage, sur le haut-fond, on peut estimer la longueur d'onde entre 100 et 250 m selon la position. «Au large», cette dernière est de l'ordre de 500 m. La formule (B) donne une profondeur pour le haut-fond entre 3 et 22 m, ce qui correspond aux indications portées sur les cartes marines. Nous ne prétendons pas ici donner la bathymétrie précise —d'ailleurs, le service compétent en la matière (S.H.O.M., Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) a également acquis cette image pour tester les possibilités de cartographie automatique (Le Gouic, com. pers.). Nous voulons montrer qu'avec des outils très simples, il est possible de repérer les hauts-fonds sur des images SPOT par une analyse sommaire de la structure de la surface de l'océan.

Par ailleurs, signalons que, lors d'opérations de radiométrie aérienne et prospection thonière, il nous a été donné de survoler à plusieurs reprises le banc Clark et d'y voir des concentrations de thonidés (Petit et Kulbicki, 1983) (fig. 1C). Toute la zone est relativement riche et il est difficile de dire quelle est l'influence de ce banc en particulier. Une théorie récente tente d'expliquer l'enrichissement dû à ces formations récifales par le phénomène d'endo-upwelling (Wauthy, Rougerie, Charpy, Rancher et Thouard, 1988).

Interprétation et conclusion

Si les thonidés sont présents dans une zone de l'océan, ils auraient tendance à se rassembler près d'éventuels hauts-fonds, dans la mesure où ceux-ci créent une déformation dans leur champ de perception suffisamment importante par

rapport au milieu ambiant. En termes plus pragmatiques, cela signifie que ces hauts-fonds sont un facteur d'amélioration du rendement des captures, qu'il s'agisse du rendement économique ou du rendement écologique (quantité d'énergie ou de matière capturée rapportée à celle dépensée pour cette capture).

D'autre part, nous avons proposé une méthode simple de détection des hauts-fonds par le satellite SPOT, par reconnaissance de la déformation de la structure superficielle de l'océan. Il ne s'agit pas ici de vouloir concurrencer les données de capteurs altimétriques, tout simplement parce que nous ne cherchons pas à faire de la bathymétrie et de l'altimétrie précises. En matière de pêche, seule la détection de la position du haut-fond est importante. Cet article n'a que la prétention limitée d'essayer d'associer deux domaines —pêche et télédétection— sur le problème complexe des hauts-fonds et d'essayer d'adapter le plus possible l'outil et la donnée au but recherché, en l'occurrence la télédétection et la pêche en vue de l'amélioration du rendement.

Dans ce but, se dessine une nouvelle stratégie d'exploitation des données SPOT qui pourrait être utile dans d'autres domaines. Les règles de financement des images d'une part et de leur exploitation de l'autre ne peuvent être les mêmes pour le domaine terrestre et côtier et le domaine océanique. Il n'est pas concevable de devoir payer une image complète alors que l'information utile n'est contenue que dans quelques centaines de pixels. De même, l'exploitation classique de l'image en passant par les quick-looks n'est pas utilisable ici. Il lui sera préféré un petit système expert simple, capable d'analyser les structures de surface, de façon systématique et automatique sur les images brutes de l'océan, et de sélectionner des images poten-



tiellement intéressantes pour un examen ultérieur. C'est cette notion de système expert permettant la sélection automatique d'images pour un problème précis qui constitue une nouvelle stratégie d'exploitation des images. Par un tel

système, on devrait pouvoir disposer, à moindre frais et à court terme, d'un inventaire exhaustif de hauts-fonds intéressant la pêche, et de son suivi, réalisant ainsi une bonne adéquation entre outil et données.

(1) Flottille thonière française, ivoirienne et sénégalaise.

Références bibliographiques

- ADAMEC D., 1987, «Numerical simulations of the effects of seamounts and vertical resolution on strong ocean flows», *J. Phys. Oceanogr.*, vol.18 (2), pp. 258-269.
- BOEHLERT G.W. et GENIN A., 1987, «A review of the effects of seamounts on biological processes», in: *Seamounts, islands and atolls*, Geophys. Monogr., 43 (Am. Geophys. Union), Keating B.H., Friger P., Batiza R. et Boehlert G.W. Eds., pp. 319-334.
- CHENEY R. E., RICHARDSON P. L. et NAGASAKA K., 1980, «Tracking a Kuroshio ring with a free drifting buoy», *Deep Sea Res.*, 27, pp. 641-654.
- CORNILLON P., 1986, «The effect of the New England Seamounts on Gulf Stream meandering as observed from satellite IR data», *J. Phys. Oceanogr.*, vol.16, pp. 386-389.
- GENIN A. et BOEHLERT G. W., 1985, «Dynamics of temperature and chlorophyll structures above a seamount: an oceanic experiment», *Journal of Marine Research*, vol.43, pp. 907-924.
- GUY M., 1976, «Calcul de la profondeur de la mer en zone côtière par interprétation de la houle», *Congrès de Dresde*, Commission VII.
- KLIMLEY A.P. et BUTLER S.B., 1988, «Immigration and emigration of a pelagic fish assemblage to seamounts in the gulf of California related to water mass movements using satellite imagery», *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol.49, pp. 11-20.
- LE BLOND P.A. et MYSAK L.A., 1978, *Waves in the ocean*, Elsevier ed., 602 p.
- PETIT M. et KULBICKI M., 1983, «Radiométrie aérienne et prospection thonière dans la ZEE de Polynésie Française», *Océanographie*, Notes et Documents, n°20, ORSTOM-Tahiti.
- PETIT M., 1986, «Coherent theory on tuna behaviour», *37th Annual Tuna conference*, Lake Arrowhead, IATTC-NMFS.
- PETIT M., 1988, *Aerospatial remote sensing as catalyst of an operational sea fishery sciences (halieutic)*, European Symposium on the role of aerospace technology in oceanography, Symposium organisé par C.O.E., CCE et ESA, Malte, 28 novembre-1 décembre.
- PHILLIPS O.M., 1977, *The dynamics of the upper ocean*, Cambridge, Cambridge University Press.
- RICHARDSON P. L., 1980, «Anticyclonic eddies generated near the Corner Rise seamounts», *Journal of Marine Research*, vol.36, pp. 673-686.
- RODEN G. I., 1987, «Effect of seamounts and seamount chains on ocean circulation and thermohaline structure», in: *Seamounts, islands and atolls*, Geophys. Monogr., 43 (Am. Geophys. Union), B.H. Keating, P. Friger, R. Batiza and G.W. Boehlert Eds., pp. 335-354.
- SCHERRER B., 1984, *Biostatistiques*, Québec, Gaëtan Morin Editeur, 850 p.
- SPITZER D. et DIRK R.W.J., 1987, «Bottom influence of the reflectance of the sea», *Int. J. Remote Sens.*, vol.3 (8), pp. 279-290.
- STRETTA J.-M., 1988, «Environnement et pêche thonière en Atlantique tropical oriental.», in: *Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est*, FAO Doc. Tech. Pêches, 292, Fonteneau A. et Marcille J. Eds., 391 p., 269-316.
- UDA M. et ISHINO M., 1958, «Enrichment pattern resulting from eddy systems in relation to fishing grounds», *Journal of the Tokyo University of Fisheries*, vol.44 (1-2), pp. 105-129.
- WADSWORTH A. et PETIT M., 1987, «SPOT, un satellite pour l'océanographie», Actes du colloque: *SPOT 1 utilisation des images, bilan, résultats*, Paris, C.N.E.S., novembre, pp. 1087-1094.
- WADSWORTH A., 1988, «SPOT 1, un satellite qui n'a pas peur de l'eau», *La Recherche*, n°198, avril, pp. 536-538.
- WAUTHY B., ROUGERIE F., CHARPY L., RANCHER J. et THOUARD M., 1988, «Formations récifales et effet d'île par endo-upwelling autour des îles Marquises», *Océanographie*, Notes et Documents, n°37, ORSTOM-Tahiti, 36 p.

Remerciements.

Sans les patrons de pêche de la flottille thonière F.I.S., qui nous fournissent les statistiques de pêches et même la liste des hauts-fonds, cette étude n'aurait pu voir le jour. De même, l'aide et la compétence — qui n'ont eu d'égal que leur patience à nos nombreuses sollicitations — de J.P. Legorgeu et J.L. Maupeu de SPOT IMAGE ont été indispensables.