

POTENTIALITES DU RADAR SAR EN HALIEUTIQUE: APPLICATION A LA PECHE THONIERE DU SURFACE (EXPERIMENTATION HAREM)

M. Petit*, J. M. Stretta*, H. Farrugio**, A. Wadsworth***

*Centre ORSTOM, B.P. 5045, Montpellier-cedex, France

**Laboratoire IFREMER, 1, Rue J. Vilar, Sète, France

***Institut Français du Pétrole, 93 Rueil, Malmaison, France

SUMMARY

This paper presents the first results obtained during an experiment named HAREM (HALieutique et Radar: Expérimentation en Méditerranée) which took place in August, 1989, in the western Mediterranean Sea. The objective of this experiment is to evaluate the potentiality of an airborne synthetic aperture radar (SAR) in tuna fisheries to detect surface tuna schools. The main result of the HAREM experiment is the possibility to detect and discriminate tuna schools, whales, dolphins, tuna boats and their nets with a SAR system from an altitude of 2,000 m with any kind of cloud condition.

RESUME

Ce document expose les premiers résultats obtenus lors de l'expérimentation menée en août 1989 en Méditerranée occidentale intitulée HAREM (HALieutique et Radar: Expérimentation en Méditerranée). L'objectif de cette expérience est l'évaluation du potentiel d'un radar aéroporté à synthèse d'ouverture (SAR: Synthetic Aperture Radar) dans le domaine de la pêche thonière pour la détection des bancs de thons de surface.

Le principal résultat de l'expérience est d'avoir permis de lever le doute sur la possibilité de détecter et de discriminer avec un radar de type SAR à 2000 m d'altitude, quelque soit le couvert nuageux, des bancs de thon, des cétacés (baleines et dauphins), des thoniers et leur senne.

RESUMEN

Este documento expone los primeros resultados obtenidos durante la experimentación llevada a cabo en agosto de 1989 en el Mediterráneo occidental, denominado HAREM (HALieutique et Radar: Experimentation en Méditerranée). El objetivo de esta experiencia es evaluar el potencial de un radar aerotransportado con apertura de síntesis (SAR: Synthetic Aperture Radar) en las pesquerías de túnidos, para detectar cardúmenes de túnidos en la superficie.

El resultado principal de esta experiencia es el de haber permitido la posibilidad de detección y discriminación, mediante un sistema SAR desde una altitud de 2.000 m., con independencia de la nubosidad existente, de los bancos de túnidos, de cetáceos (ballenas y delfines), atuneros y sus redes.

1. INTRODUCTION

L'expérimentation menée en août 1989 en Méditerranée occidentale intitulée HAREM (Halieutique et Radar : Expérimentation en Méditerranée) avait pour objectif l'évaluation du potentiel d'un radar aéroporté à synthèse d'ouverture (SAR : Synthetic Aperture Radar) dans le domaine de la pêche thonière pour la détection des bancs de thons de surface.

Après avoir décrit le contexte général de l'opération, nous exposerons les principales conclusions du traitement actuel des données de façon à pouvoir préciser les possibles débouchés de cette expérience en matière d'halieutique.

2. MATERIELS

2.1 : Capteurs

Qu'ils soient embarqués à bord d'avions ou de satellites, les radars imageurs sont des dispositifs qui fonctionnent dans le domaine des hyperfréquences. Ils permettent de restituer les données acquises sous forme d'images à deux dimensions, en niveaux de gris. Les longueurs d'onde utilisées, nettement en dehors du domaine du visible, jointes à la géométrie d'acquisition, font apparaître des phénomènes nouveaux ou vus sous un aspect différent de ce que fournissent des photographies classiques.

Schématiquement, un radar imageur émet une impulsion relativement étroite, qui se propage perpendiculairement à l'axe de vol du porteur (cela est dû à ce que l'antenne est fixée latéralement sur ce même porteur). Cette impulsion balaye ensuite les cibles et crée autant d'échos en retour, qui sont enregistrés après réception (ligne de l'image). Une autre impulsion suivra, créant en retour une autre ligne de l'image. L'émission des impulsions ayant lieu au fur et à mesure de l'avancement du porteur, donc de l'émetteur, créera une succession de lignes d'analyse du paysage, lignes qui, mises les unes à côté des autres, créeront l'image radar de la zone survolée (VAILLANT, 1985).

La plupart des radars opérationnels travaillent en mode "antenne réelle" ce qui limite leur résolution géométrique à quelques dizaines de mètres dans le meilleur des cas, alors que les largeurs de zones couvertes varient de 10 à 50 km. Une étape décisive a été franchie avec la mise au point du mode "synthèse d'ouverture" (dit SAR = Synthetic Aperture Radar) qui utilise le déplacement de capteur à bord du porteur pour simuler une antenne fictive de très grande dimension ainsi que des techniques spécifiques de traitement du signal telles que la démodulation cohérente de l'écho. La résolution géométrique est alors typiquement de l'ordre du mètre et est indépendante de la distance entre le porteur et la cible. Le pouvoir discriminatoire, quant à la rugosité de la surface de la cible, est de l'ordre de la longueur d'onde, soit quelques centimètres.

La théorie complète du mode SAR a été publiée il y a quelques années (HOVANESSIAN, 1980 ; VAILLANT 1984) de même que la description technique précise des radars civils qui l'utilisent tels que le VARAN-S du CNES (VAILLANT, 1985 ; VAILLANT et WADSWORTH, 1987) ou l'E-SAR du DLR (HORN, 1989).

De tout cela, il faut retenir que les capteurs micro-ondes qui travaillent en mode SAR sont des outils d'acquisition par tout temps d'images à résolution très fine indépendamment de la distance qui les sépare de la cible. Cependant, la difficulté réside, lors de la synthèse de l'image, dans la masse de données à traiter et dans le contrôle du signal en rapport avec les mouvements du capteurs (corrections) ou avec la radiométrie (calibration).

Quant au radar E-SAR, les différences essentielles, par rapport au VARAN-S, portent sur la fréquence utilisée (bande C au lieu de bande X), sur la fauchée (4 km au lieu de 10 km), une compensation inférieure des mouvements de l'avion, ainsi qu'un traitement en temps réel et en temps différé beaucoup moins optimisé. Dans l'annexe A, nous donnons les caractéristiques du radar E-SAR.

2.2 : Vecteur

Lors de la présentation du projet en octobre 1987 (PETIT *et al.*, 1989), il avait été établi que le couple vecteur/capteur qui devrait être utilisé serait l'avion B17 de l'IGN et le radar VARAN-S du CNES. Suite à la défection du radar VARAN-S nous avons décidé d'utiliser le radar allemand E-SAR et l'avion Dornier 228 du DLR⁴.

Issu d'une technologie moderne, le Dornier 228 est un monoplane à ailes hautes et train rentrant, mu par deux turbopropulseurs puissants. Il est remarquable par sa maniabilité très grande, ses possibilités de changement rapide d'altitude et une excellente visibilité tant à l'avant que sur les côtés. Pour une autonomie de 8 heures (soit 2600 km) il offre près de 700 kg de charge utile avec une vitesse maximale de croisière de 231 noeuds.

2.3 : Cibles : Bancs de thons

Au cours des vols effectués tant dans l'Atlantique tropical que dans le Pacifique sud ou l'océan Indien, il nous a été donné d'observer, dans le cadre de programmes de radiométrie aérienne et prospection thonière (R.A.P.T.), confiés à l'ORSTOM, des centaines de bancs de thonidés à proximité ou non d'actions de pêche. Les milliers d'heures de vols réalisées ont constitué un échantillon suffisant pour une étude sur le comportement des bancs de thonidés en surface (PETIT et STRETTA, 1989).

Entre 1974 et 1984, plus de 4350 heures de vol ont été réalisées ; dans les trois océans par le Groupe de Radiométrie de l'ORSTOM (MARSAC *et al.*, 1986). Initiées et mises au point dans l'Atlantique, la méthodologie et la technique ont été développées et améliorées dans le Pacifique et enfin, récemment appliquées dans l'océan Indien. Il s'agit de prospections aériennes effectuées à bord d'avions bimoteurs spécialement équipés pour le survol maritime et volant à une vitesse comprise entre 120 et 180 noeuds à une altitude comprise entre 300 et 1500 pieds. Dans le meilleur des cas, ces avions sont équipés d'une centrale de positionnement précise reliée à un radiomètre infrarouge thermique chargé de mesurer la température de surface. Ce système qui permet de localiser les gradients thermiques de surface, focalise l'observation aérienne sur des zones privilégiées où les thonidés présents ont tendance à se rassembler. Par l'inventaire de ces sites favorables, cette méthode donne en temps réel trois types de résultats concernant l'écologie des thonidés, l'évaluation et la répartition de l'abondance, et l'estimation du potentiel halieutique de la région prospectée.

⁴ DLR : Deutsche Luft und Raumfahrt (Institut für Hochfrequenztechnik) 8031 Oberpfaffenhofen RFA.

Parmi toute l'information recueillie, sont notées des paramètres de l'environnement (état de la mer, vitesse et direction du vent, couleur de l'eau, nébulosité ...) et des paramètres décrivant l'événement "banc de thon" lorsqu'il se produit (mode d'apparition du poisson, espèce, tonnage estimé, présence de cétacés, d'oiseaux ...). L'information relevée en continue à bord de l'avion est discrétisée et enregistrée semi-automatiquement par l'ordinateur de bord. La surface réellement prospectée est ensuite calculée et corrigée en fonction des conditions météorologiques (état de la mer, nébulosité ...). Cette méthode de traitement de l'information a été éprouvée et explicitée dans diverses publications (PETIT et HENIN, 1982 ; PETIT, 1984 ...). La grande majorité des vols ont été faits en compagnie d'un observateur expert en prospection aérienne capable de donner des informations précises sur l'espèce, la taille du banc et celle des poissons le constituant.

Les premières observations aériennes de poisson, par avion ou ballon, remontent à ... 1918 !. Les différents modes d'apparition du thon en surface ainsi vu sont détaillés par PETIT et STRETTA (1989). Ce sont donc les modifications diverses de la surface de l'eau qui traduisent les différents comportements des bancs de thons que le SAR est susceptible de repérer.

3. METHODOLOGIE

3.1. Objectifs

Pour jeter les bases d'une véritable halieutique thonière opérationnelle, au vu des résultats acquis, il faut l'intégration d'outils et de techniques de pointe, tels que télédétection et systèmes experts et la mise au point de méthodologies nouvelles telles que les méthodes directes d'évaluation de stock. Le projet HAREM a été proposé afin de lever le doute sur l'une des hypothèses de travail dans l'élaboration de ces méthodologies et s'insère donc complètement dans l'optique d'une océanographie opérationnelle des pêches.

3.2. Conditions météorologiques, halieutiques et océanographiques

L'ensemble de l'expérimentation a pu se dérouler en Méditerranée occidentale dans le Golfe du Lion. A l'ouest, dans le bassin liguro-provençal, au milieu de l'été, la stratification des masses d'eau est généralement bien en place et la plupart des fronts thermiques sont associés à la circulation verticale et horizontale, les mouvements liés au courant modifient les pentes des couches isothermes (PHILIPPE et HARANG, 1982). A partir de là, les gradients thermiques horizontaux apparaissent. En période de Mistral ou/et de tramontane des gradients thermiques liés à des upwellings locaux peuvent également donner naissance à des fronts. Enfin d'autres fronts sont liés à la circulation cyclonique et se manifestent à la limite des eaux froides produites par la divergence et des eaux chaudes qui s'enroulent autour de ces dernières. L'amplitude atteinte par les gradients à cette saison peut aller jusqu'à 3 à 4°C pour 5 km particulièrement dans le sud du bassin Liguro-Provençal.

Compte-tenu du comportement de concentration des bancs de thons près de ces forts gradients thermiques (STRETTA, 1977; PETIT, 1984), on comprendra pourquoi cette région, a priori, constitue pour notre expérimentation un excellent terrain d'essai, d'autant plus que les surfaces concernées sont restreintes.

La difficulté, cependant consiste à éviter les grandes périodes de calme d'été ou les coups de vent (Mistral) qui se produisent souvent mi-août début septembre. En effet, en cas de calme prolongé, si les pêcheurs réalisent de bonnes prises, les bancs de thon rouge cependant se manifestent peu dans ces eaux surchauffées en surface et préfèrent rester en subsurface. En cas de coup de vent, les senneurs restent à quai et notre vérité terrain ne peut être assurée. De plus, si le vent est supérieur à 12 noeuds, la "vérité

terrain" est difficile à réaliser à cause des vagues car les bancs en surface sont difficiles à repérer à vue.

La flottille thonière française utilise le concours d'un avion pour améliorer le repérage des bancs de thons rouges. Un bimoteur PARTENAVIA d'INTER-THON Méditerranée effectue quotidiennement une prospection systématique par quadrillage. Ces vols se déroulent à la vitesse de 120 noeuds et à une altitude de 300 pieds. L'avion, équipé d'un important appareillage de radiocommunication et de radionavigation, reste en liaison phonique permanente avec les navires, auxquels il signale la position, l'importance et le déplacement des bancs. Outre une réduction de la dépense en carburant des navires, cette technique contribue à une meilleure distribution de l'effort de pêche en permettant la répartition de la flottille sur l'ensemble des bancs présents dans le secteur.

4 REALISATION ET RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION

La difficulté principale a été d'estimer le créneau météorologique d'abord, puis halieutique favorable de quelques jours de façon à avoir synchrones pêcheurs, bancs de thons et acquisition radar.

Un vol, à bord de l'avion Partenavia, des pêcheurs, le vendredi 4 août, nous confirme la possibilité d'avoir ce créneau pour les jours qui suivent bien que les prévisions météorologiques à 5 jours fassent état d'une nouvelle aggravation de N-NW pour les 8 et 9 août et la présence de très nombreux foyers orageux. Décision est prise de faire venir le Dornier du DLR pour le samedi 5 août.

Un premier vol radar est réalisé, l'après-midi du 5 août. Les bateaux sont tout de même sur la zone et pêchent de petits bancs (5 tonnes, poissons de 10 kg ou moins) qui ne restent pas en surface. Ce vol a permis aux équipages des deux avions de saisir la stratégie d'expérimentation que nous proposons :

- contact radio permanent sur VHF aviation entre les deux avions ; contact permanent entre les bateaux et le Partenavia sur VHF marine.

- décollage différé d'environ 1 heure du Dornier et de son radar par rapport à celui du Partenavia de façon à connaître les conditions de pêches, la position des bateaux et d'éventuels bancs de thons.

- Ce vol a également permis de constater que sont parfaitement détectés sur le moniteur du radar (quick look) les senneurs, les skiffs et les sennes.

Le vol du 6 août s'est effectué dans de bonnes conditions de vent (moins de 10 noeuds, mer belle). Une douzaine de petits bancs de thons rouges ainsi que des bancs de dauphins ont été repérés depuis le Dornier, en liaison avec le Partenavia dans la zone de pêche des senneurs. Après avoir constaté l'identification aisée des bancs même sur le quick-look, les premières scènes radar ont été enregistrées comprenant des cachalots, des bancs de thons d'environ 5 tonnes chacun, un banc de thon près d'une trainée d'huile (pollution) et des bateaux en pêche.

Fort de cette courte expérience, nous décidons de réaliser pour le vol suivant l'expérience inverse à savoir :

- la détection par le radar de bancs de thon dans une zone sans pêcheur
- l'identification de ces bancs par descente rapide du Dornier
- la transmission de ces informations aux professionnels.

Le peu de renseignements donnés par les cartes de températures de surface mesurées par satellite ainsi que les conditions hydro-météorologiques des jours précédents laissent toutefois penser que la zone située à l'est de la pêcherie actuelle est potentiellement intéressante. Cette prévision est vérifiée par le repérage, avec le radar E-SAR à une altitude de 2000 m au-dessus de la couverture nuageuse, à 80 milles à l'est de la position de la flottille en pêche de plusieurs bancs de thons de 5 à 10 tonnes et d'un plus important de 30 à 40 tonnes. Sur la position indiquée, les pêcheurs ont capturé, le lendemain, près de 150 tonnes de thons.

Un dernier vol a été consacré également au repérage des bancs de thons au radar à 2000 m d'altitude quasiment entièrement au dessus de la couche de nuage, le Dornier ne faisant de "percée" que lorsque des bancs étaient repérés au radar. Malheureusement, ce jour-là, ces derniers étaient particulièrement "nerveux" et sondaient rapidement à l'approche de l'avion.

5. DISCUSSION

5.1. Les acquis :

Les bancs de thon, les cétacés (baleines et dauphins), les bateaux et leurs sennes, sont détectables et discriminables par un radar de type SAR.

C'est le principal résultat de l'expérience qui a permis de lever le doute sur cette possibilité de détection. Notons, de plus, qu'un simple quick look temps réel permet déjà de repérer ces cibles. Pour des raisons de disponibilités de matériel, nous avons pu disposer d'un radar à fauchée limitée : seulement 4 km. Il n'est pas techniquement difficile de porter cette dernière à 20 km ou plus. De même, l'altitude choisie pour les vols - 1500 à 2000 m - nous a été dictée par la volonté de pouvoir vérifier avec le même avion la réalité des cibles repérées. Un survol à 3000 m ou plus, par principe même du SAR, n'affecterait en rien la résolution des images.

Enfin le traitement en cours des données acquises, devrait permettre de synthétiser des images à haute résolution et d'analyser le signal et la texture de la cible-banc.

5.2. De l'expérience à l'opérationnel

Dans la mesure où HAREM est une expérience, nous n'avons développé ni matériel ni logiciel et avons cherché à utiliser ce qui était disponible. Les résultats étant positifs, si un véritable programme de recherche est initié, il serait indispensable d'améliorer le système capteur ou plutôt de l'adapter aux spécificités propres à la recherche halieutique :

- augmentation notable de la fauchée ;
- traitement des données le plus possible en temps réel ;
- augmentation de l'efficacité des opérations à bord de l'avion par simplification des tâches à accomplir lors des acquisitions ;
- diminution notable des temps de traitement du signal SAR en adoptant un matériel informatique puissant (calculateurs parallèles)

6. CONCLUSIONS

Toujours dans le cadre d'un programme véritable, l'ensemble des méthodes qui permettront d'évaluer le stock à partir de l'échantillon de surface (transect line, distance mathématique, etc...) devront être testées. Pour cela, il sera nécessaire également de réaliser des études quantitatives sur la relation existant entre le tonnage et l'espèce

d'une part et le signal SAR reçu. Bien entendu ceci devra être fait dans différents environnements météorologiques, océanographiques et halieutiques.

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

HORN R. (1989).- C-band SAR results obtained by an experimental airborne SAR sensor. Proc. IGARSS'89 Symposium, Vancouver, Canada, July 1989.

HOVANESSIAN S.A. (1980).- Introduction to synthetic array and imaging radars. Artech House Inc.

MARSAC F., M. PETIT et J.-M. STRETTA (1987). Radiométrie aérienne et prospection thonière à l'ORSTOM. Méthodologie, Bilan et Perspectives. Initiations et Documents Techniques n° 68, (Téledétection 12). 33 pp. Editions ORSTOM.

PETIT M. (1984).- Aerial radiometry, and tuna survey : a method for evaluation of surface tuna stocks in New Caledonia and Vanuatu aera. Proceedings of the 35th Annual tuna conference - Lake Arrowhead - IATTC NMFS, Scripps inst. ocean., La Jolla, San Diego California.

PETIT, M., et C. HENIN (1982).- Radiométrie Aérienne et Prospection Thonière Rapport Final Vanuatu. Notes et doc. d'océan., 3, ORSTOM Port-Vila.

PETIT M. et J.-M. STRETTA (1989).- Sur le comportement des bancs de thons observés par avion. Rec. Doc. Scient. ICCAT Vol. 30(1): 488-490.

PETIT M. et J.-M. STRETTA (1989).- Deux outils pour une halieutique thonière opérationnelle: la télédétection aérospatiale et la modélisation par système expert. Rec. Doc. Scient. ICCAT Vol. 30(1): 500-505

PHILIPPE M. et L. HARANG (1982).- Surface temperature in the mediterranean sea from infrared satellite imagery. In Hydrodynamics of semi enclosed seas. Elsevier Oceanography Series N:34. (J. Nihoul editeur)

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 sér. Océanogr., Vol XV(2):163-180.

VAILLANT D. (1984).- Traitement des données du radar à synthèse d'ouverture. In Cours de mathématiques spatiales, pp 983-1013. CNES, Toulouse Mars 1984, CEPADUES Editions.

VAILLANT D. (1985).- VARAN-S : an airborne synthetic aperture radar for research in microwave remote sensing. Proc. EARSEL/ESA Symposium "European Remote Sensing Opportunities", Strasbourg, march 31, april 3, 1985, ESA SP 233, may 1985.

VAILLANT D. et A. WADSWORTH (1987).- Preliminary results of some remote sensing campaigns of the french airborne SAR VARAN-S. Proc. IGARSS'87 Symposium, Ann Arbor, 18-21 may 1987. pp 495-500.

8. REMERCIEMENTS

Cette expérimentation a été financée avec le concours :

- du SEMER (Secrétariat d'Etat à la Mer) ;

- du MAE et du MRT (Ministère des Affaires Etrangères et Ministère de la Recherche et de la Technologie);
- de la Région Languedoc-Roussillon;
- du GDTA (Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale);
- de l'OPT (Organisation des Professionnels du Thon Rouge Sete);
- de l'IFREMER (Institut Français de Recherche en Mer);
- de l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération);

9. ANNEXE A :

Caractéristiques du vecteur et du capteur

Le système du radar E-SAR est constitué de trois entités :

- le vecteur;
- le radar;
- la logistique à terre.

1. le vecteur est un DORNIER 228, avion à aile haute de 15,04 m de long et 16,97 m d'envergure. Il est propulsé par deux turbo-propulseurs de 715 ch chacun. La charge utile hors carburant (équipage, équipement) est de l'ordre de 0,7 tonne à une vitesse de croisière maximale de 231 noeuds.

2. le radar E-SAR émet en bande C (5.3 GHz), le gain de l'antenne est de 18dBi. La puissance à l'émission est de 100W. Les polarisations disponibles de l'antenne sont HH, VV, HV, VH. Pour l'expérience HAREM, seule la polarisation VV était disponible.

3. la logistique à terre consiste aux traitements des signaux du radar enregistrés à bord à l'aide d'un enregistreur à haute densité.