

5.2. Applications de la télédétection satellitaire du germon du Pacifique Nord , *Thunnus alalunga* (Bonnaterre)

R. Michaël LAURS
South West Fisheries Center,
National Marine Fisheries Service, NOAA
La Jolla, C.A. 92038 (USA)

Introduction

Durant les années récentes, la télédétection satellitaire est demeurée une source importante d'information océanographique utilisée par les biologistes et océanographes des pêcheries dans le domaine des recherches

sur le germon et par les pêcheurs U.S. pour le développement des stratégies de pêche au germon dans le Pacifique Nord. Il n'est pas possible d'utiliser les satellites pour détecter directement les bancs de germon ni de mesurer ou collecter à partir de l'espace le spectre complet d'information nécessaire pour apprécier les

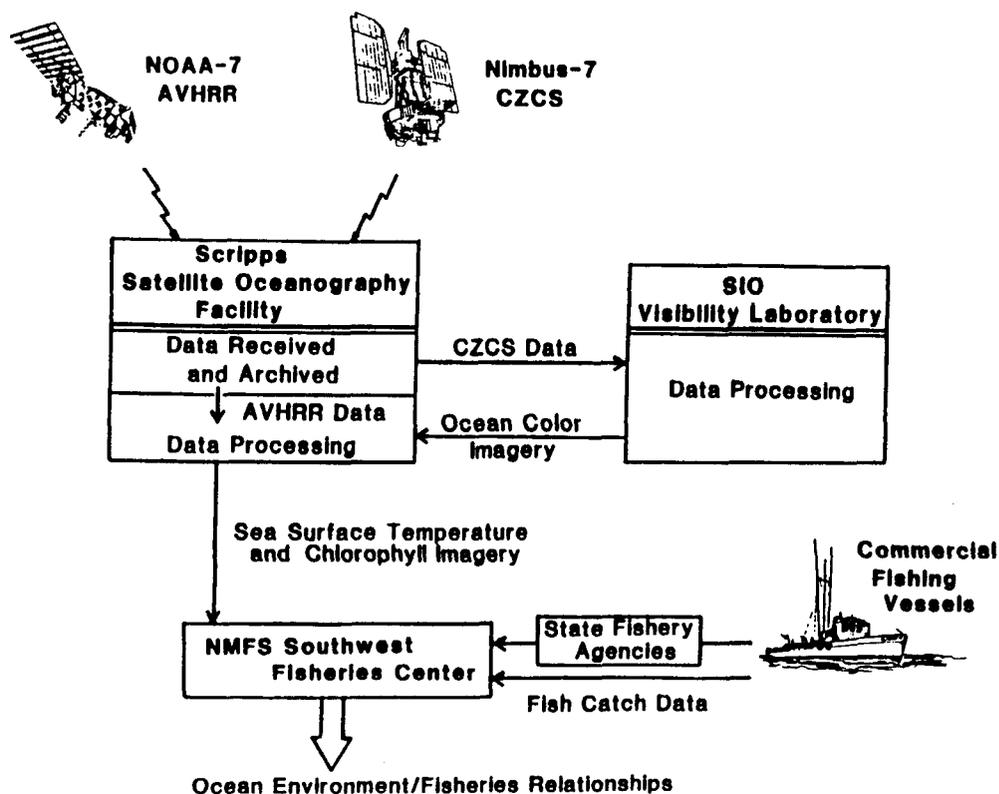


Figure 1 - Réseau de collecte et traitement des données utilisé par le National Marine Fisheries Service, South West Fisheries Center sur la côte ouest des USA (adapté de Laurs *et al.*, 1984)

modifications de l'environnement marin qui affectent le germon. Néanmoins les processus océanographiques clés et les conditions qui peuvent influencer la distribution, la disponibilité et la vulnérabilité du germon peuvent être déduits des mesures faites à partir des satellites, comme par exemple les limites des fronts océaniques, les grandes structures des courants et de la circulation océanique, les remontées d'eau (up-welling) côtières, la concentration en pigment chlorophyllien, la distribution de la température de surface (SST). Les mesures de température superficielle obtenues à partir des relevés infra-rouges par les satellites défilants à orbite polaire NOAA, les mesures de la couleur de l'océan par le scanner couleur en zone côtière (CZCS) du satellite NIMBUS-7 ont été largement utilisés en relation avec la connaissance et l'exploitation du germon du Pacifique Nord. De plus, les mesures de champs de vent faites par le dispersiomètre de SEASAT ont été récemment utilisées dans des analyses de pêcheries incluant le germon de cette zone.

Application de la télédétection satellitaire à la recherche sur le germon du Pacifique Nord

La télédétection satellitaire a démontré sa qualité en tant qu'outil pour la recherche sur le germon du Pacifique Nord. Ceci a été particulièrement vrai dans les

études dévolues à la distribution, la capturabilité et la vulnérabilité en relation avec les conditions et les processus océanographiques.

Laurs *et al.* (1984) ont démontré que les caractéristiques environnementales appréciables par l'infrarouge et les images en couleur de la surface de la mer définissent les frontières pour les aggregations de germon et les zones de pêche telles qu'elles apparaissent par les enregistrements de pêche commerciale. Cette étude a été menée grâce à un réseau concourant d'information et de données satellitaires et de pêche. Ce réseau, dont un schéma est donné à la figure 1, nécessite la coopération entre le chercheur sur les pêcheries, des agences fédérales et des états, les structures de réception et de traitement des données satellitaires, et l'industrie germonière U.S.

La radiométrie AVHRR à haute résolution et le scanner CZCS pour la couleur des zones côtières, sont reçus directement des satellites NOAA-7 et NIMBUS-7, respectivement à la Scripps Institution of Oceanography

Satellite Oceanography Facility (SSOF). Les données du satellite lors de son passage au-dessus des eaux côtières au large de la Californie, et couvrant une région au large des états Oregon et Washington (Figure 2), ont été obtenues durant les périodes de pêche intensive par la flottille germonière U.S.

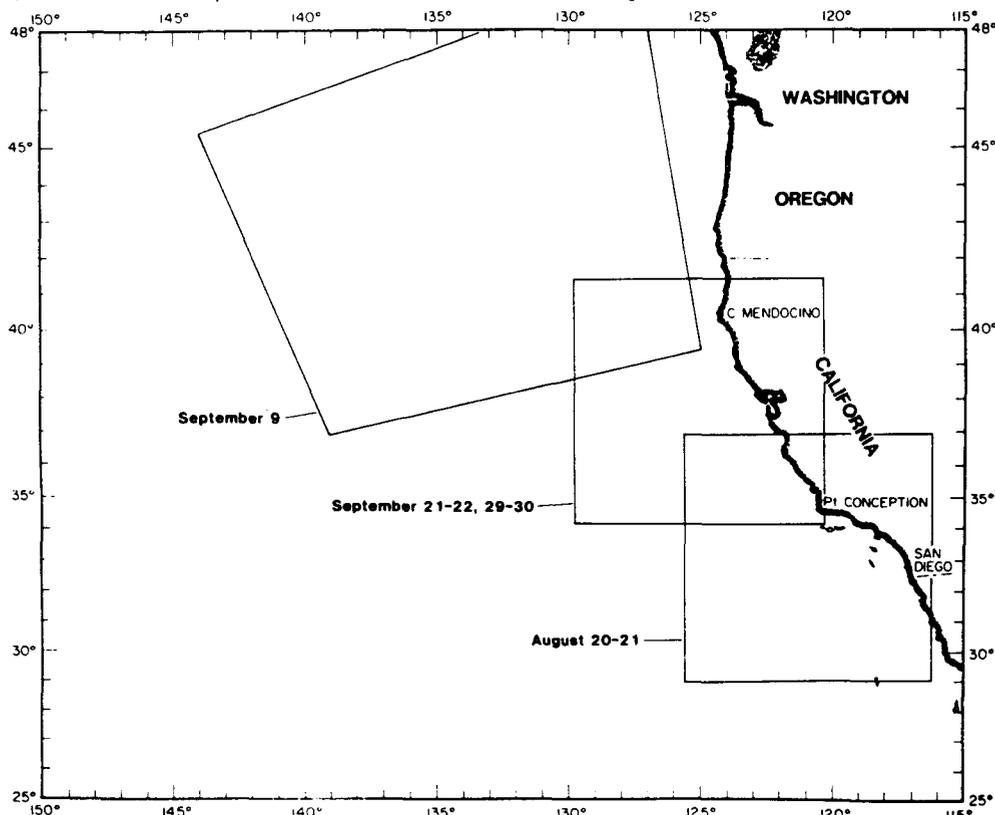


Figure 2 : Localisation des images pour la recherche de la distribution des captures en relation avec les caractéristiques de l'environnement observées à partir des satellites (from Laurs *et al.*, 1984).

Les valeurs de radiance du canal 4 (10,5 à 11,3 nanomètres) et du canal 5 (11,5 à 12,5 nanomètres) sont converties en valeur de température en utilisant une calibration disponible à la SSOF, développée par Lauritson *et al.* (1979). Les températures de surface SST, corrigées des effets atmosphériques, sont estimées en utilisant un algorithme multi-canaux développé par Mc Clain *et al.* (1983). Les images de température de surface SST sont recalées par des points de référence au sol de telle façon que les images de SST et de couleur soient identiques.

Les radiances de la bande 1 (blanc) et de la bande 3 (verte) issues du CZCS sont corrigées de l'effet Rayleigh et de la dispersion sur l'aérosol par un algorithme atmosphérique, modifié par Smith et Wilson (1981), d'une version produite par l'équipe expérimentale de CZCS de NIMBUS. Le rapport bleu/vert est converti en indice de concentration phytoplanctonique en utilisant un algorithme pigmentaire dû à Clark (1981). Les dimensions des pixels des images côtières et du large de CZCS sont de 1,6 et 2,4 km respectivement.

Les données de capture de germon sont obtenues à

partir des carnets de pêche quotidiens fournis volontairement par les pêcheurs. Les positions ont le plus souvent été enregistrées au début de chaque journée de pêche, qui se développe sur près de 50 km. Les captures sont standardisées pour un effort de 150 heures de ligne, représentant une journée de pêche standard d'un ligneur américain. Les captures par unité d'effort (C.P.U.E.) pour des périodes de deux journées précédant à deux journées suivant le passage du satellite ont été réparties sur les images de température et de teneur en pigment pour les zones côtières. Les données de capture pour les zones au large ont été moyennées par carré de 1° pour une période de 15 jours et reportées sur les images satellitaires.

Les images satellitaires et les captures données de pêche concurrentes (Figures 3 à 10) montrent clairement que les images thermiques infra-rouge et les données de couleur dans le visible, permettent de définir les limites environnementales de la distribution spatiale des aggregations de germon, de façon plus efficace que ne le permettent les observations à partir de navires ou d'avion. L'étude démontre de façon convaincante que la distribution et la disponibilité du germon

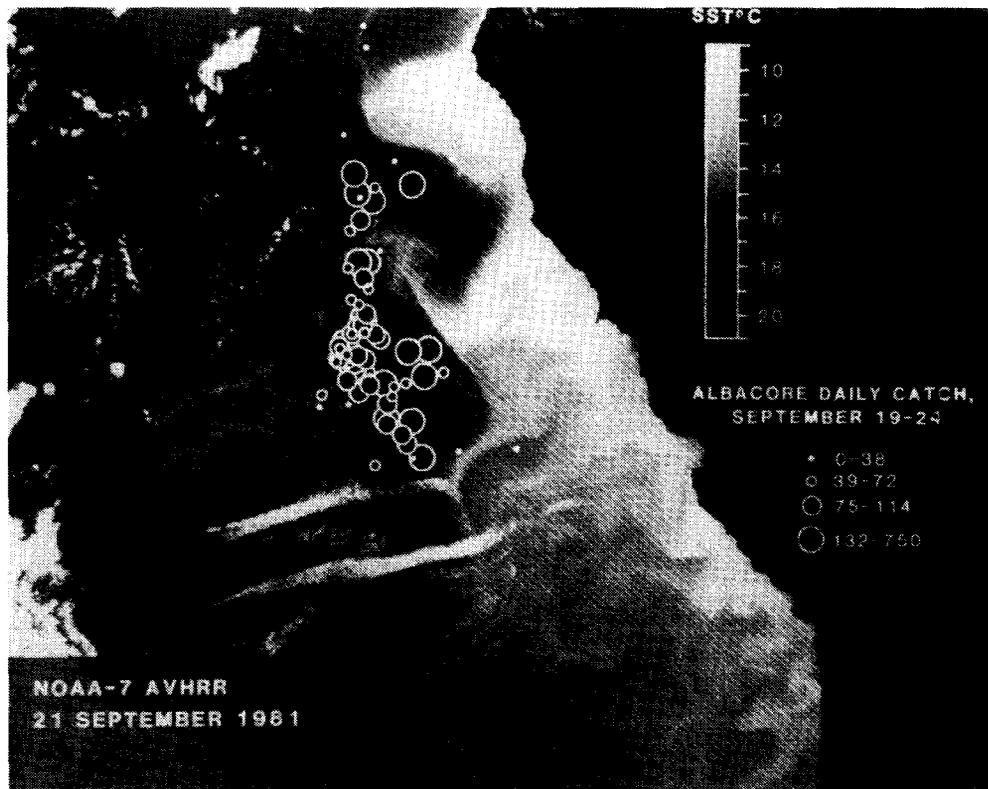


Figure 3: Captures quotidiennes de germon réalisées du 19 au 24 septembre 1981 au large de la Californie en surimpression de la température de surface issues des données satellitaires du 22 septembre 1981. 10403PST (adapte de Lauritson *et al.* 1984)

au large de la côte ouest des U.S.A. sont directement reliées aux fronts océaniques associés aux remontées dues aux up-wellings côtiers (Figures 3 à 8). Les concentrations de germon exploitables commercialement sont situées dans les eaux chaudes, les eaux océaniques bleues situées près des fronts thermiques et colorés sur la bordure à la côte des masses océaniques. Des fronts relativement intenses sont très propices et les intrusions, en direction de la côte, d'eau océanique chaude claire particulièrement favorables à la présence de bancs de germons.

L'étude montre aussi que dans des masses d'eau situées à des centaines de milles au large à la fin de l'été, des concentrations commerciales de germon sont associées à des zones frontales océaniques détectables à partir des images « couleurs » satellitaires, sans gradient thermique.

La disponibilité de germon dans les eaux du large semble plus élevée dans des eaux de relativement plus forte production. Laurs et Lynn (1977) ont montré que la migration du germon dans les eaux côtières nord-américaines est associée à la zone de transition du Pacifique Nord et ses zones frontales, qui montrent de très forts gradients thermiques SST durant les mois de printemps. Le réchauffement saisonnier et la diminution de mélange par le vent, sans aucun doute, joue un rôle dans l'absence totale de gradient thermique associé au front de couleurs à la fin de l'été.

La distribution du germon durant l'hiver dans les zones situées à quelques centaines de milles au large de la côte américaine ouest est aussi reliée aux fronts thermiques, qui paraissent marquer la frontière extérieure du Courant de Californie, observées par l'imagerie AVHRR (Laurs *et al.*, 1981).

Jurick (1985) a étudié les relations entre les captures commerciales de germon et les analyses de frontière thermique distribuées aux pêcheurs américains. Son étude portait sur les mois de juillet jusqu'à octobre pour les années 1976 à 1978. Il utilisait des données de captures obtenues à partir des carnets de pêche (Laurs *et al.*, 1975), standardisées selon la méthode exposée par Laurs *et al.* (1976), et moyennées pour donner une capture moyenne par jour et par bateau pour un carré de 1°. Une information supplémentaire sur le rendement de la pêche au germon est obtenue à partir des bulletins sur la pêche au germon produits par quinzaine par le National Marine Fisheries Service (NMFS) (Laurs, 1977). Les cartes d'analyse des zones frontales, qui étaient obtenues sur une base hebdomadaire, sont produites à partir de l'imagerie VHRR telle que décrite par Breaker (1981) et distribuées par la NOAA/National Environmental Satellite Service.

Jurick (1985) a montré que dans 70 % des cas, les captures étaient plus fortes dans les quadrangles contenant une ou plusieurs zones frontales/frontières définies par l'imagerie satellite que dans les autres quadrangles. Les plus fortes captures en moyenne sont situées à 70 % dans les quadrangles contenant de larges frontières thermiques, 33 % dans les quadrangles à faible frontière thermique, 25 % dans les quadrangles à forte frontière thermique.

Jurick considère que les plus fortes captures sont plus souvent associées aux larges frontières thermiques

qu'aux fortes frontières thermiques en raison du laps de temps nécessaire, après le développement d'une nouvelle forte zone frontale, pour l'aggrégation des organismes fourrage devant conduire à une zone favorable d'alimentation du germon.

Par ailleurs, Jurick a montré que 83 % des zones les plus productrices durant les saisons de pêche au germon étudiées étaient associées à des structures thermiques décrites dans les analyses de zone frontière : 48 % des cas se produisirent après que des cartes aient été distribuées, et pourraient avoir été prédites à partir des cartes distribuées. Finalement, l'analyse statistique a montré que 7 des 8 périodes testées ont montré une localisation de zone de pêche significativement plus efficace lorsqu'il y a eu utilisation des zones thermiques frontières. Jurick conclut que les zones frontières thermiques déduites de l'analyse satellitaire constituent un outil de haute qualité pour l'identification des aires de pêche potentielle de germon.

Svejkovsky (1988) a utilisé l'imagerie satellitaire NOAA AVHRR et les données de CPUE de germon pour analyser les causes possibles d'aggrégation au large de la Californie. Le traitement d'image satellitaire a été utilisé par Svejkovsky pour estimer les caractéristiques thermiques superficielles et les taux de dissipation ou d'intensification des fronts thermiques. En pratique, une série d'images AVHRR portant généralement sur 6 à 7 jours ont été calibrées, lissées à l'aide d'un filtre à moyenne mobile, rectifiées géométriquement, et dépouillées de l'influence des nuages par l'application d'un masque spécifique. Une approximation dérivée spatiale a été calculée pour chaque image et l'image « gradient » résultant filtrée pour éliminer tous les gradients de valeur inférieure à 0,1°/km. En utilisant ces procédures Svejkovsky a pu analyser qualitativement et quantitativement les fronts thermiques superficiels SST, et en notant les changements des structures frontales sur les images successives, décrire les variations des positions et de l'intensité des zones frontales dans le temps et l'espace.

Les variations dans le succès des pêches au germon ont été analysées par Svejkovsky (1988) à partir des carnets de pêche (Laurs *et al.*, 1975). Les données de pêche ont été standardisées en valeurs de rendement (CPUE) journaliers exprimés comme le nombre de germons capturés pour 150 heures de ligneur par degré de 1°. Les moyennes des rendements CPUE pour 7 jours ont été calculées pour chaque quadrangle de 1° latitude/longitude au large de la Californie pour les saisons de pêche au germon de 1980 à 1983.

L'examen de ces valeurs de rendement de pêche (CPUE) montre l'existence de différents types ou situations reliées aux variations dans la structure du front océanique telle qu'elle peut être appréciée à l'aide du radiomètre AVHRR. La plupart des zones pêchées montrent de fréquentes fluctuations du rendement de pêche autour de la moyenne. Occasionnellement, une zone peut montrer un accroissement abrupt des captures qui sera suivi par un effondrement également brusque. Ce dernier type de comportement a été associé à une présence stable et persistante des fronts thermiques. Les bonnes pêches semblent maintenues stables dans ces zones jusqu'à plusieurs semaines, puis peuvent tomber très rapidement si les frontières thermiques sont

détruites par un changement du régime des vents. Ces résultats corroborent ceux obtenus par les marquages acoustiques et suivis des germons (Lauris *et al.*, 1976) qui ont montré que les germons demeurent à proximité des frontières associées aux up-welling au large de la Californie centrale, mais migrent très rapidement au large de cette zone quand cette frontière est détruite par des changements ou translations du régime des vents, changements défavorables à l'installation de remontées d'eau profondes.

Svejkovsky a également montré que les bons rendements de pêche ne sont pas toujours associés aux zones à fort gradient thermique. Ceci est particulièrement évident quand les structures frontales persistantes bien établies, sont remplacées par des frontières nouvelles intenses formées par des modifications du régime des vents. Les rendements CPUE sont réduits de 50 % ou plus de ce qu'ils étaient avant la rupture et destruction de l'ancienne structure, bien que des structures thermiques fortes nouvelles soient formées par le nouveau régime et exploitées intensément par la flottille.

Svejkovsky suppose que les conditions nécessaires à l'établissement d'un environnement favorable (alimentaire notamment) à la concentration du germon peuvent

être réalisées à proximité de structures thermiques stables persistantes, mais pas dans les zones où un front vient d'être récemment établi. Son étude démontre clairement que des modifications soudaines dans l'aggrégation des germons sont révélatrices de processus dynamiques ayant affecté la stabilité de structures frontales dans la température de surface.

Lauris (en préparation) a utilisé des images AVHRR et CZCS en conjection avec le marquage acoustique et des observations océanographiques concourantes pour analyser les mécanismes possibles responsables de l'aggrégation du germon à proximité des frontières des up-welling côtiers. Il apparaît que l'aggrégation des germons dans la rive chaude, océanique claire des up-welling et l'évitement des zones d'eaux à haute productivité et haute densité de proies sur la rive gauche, turbide, ascensionnelle par les germons est déterminée par la clarté de l'eau. Les résultats suggèrent que la clarté de l'eau détermine la possibilité et la capacité de vision et détection des proies, plus que les conditions thermiques, et constitue le facteur environnemental déterminant la distribution du germon dans les zones d'up-welling côtiers.

Un cas d'étude des variations du rendement de la

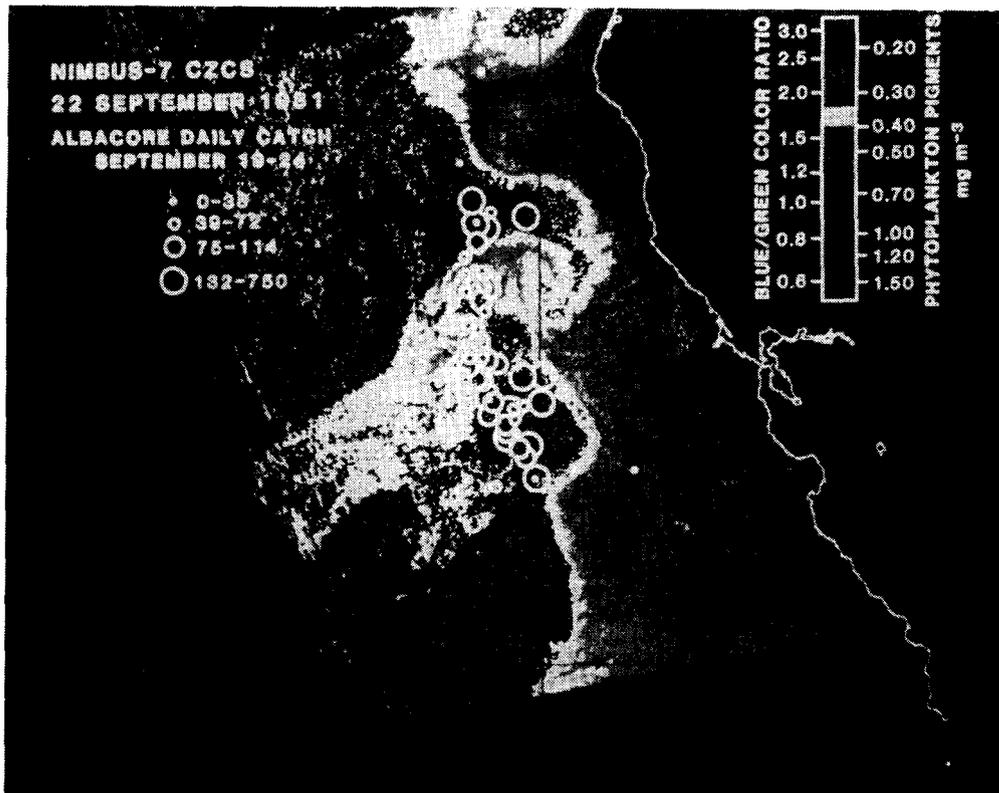


Figure 4 : Captures quotidiennes de germon du 19 au 24 septembre 1981 au large de la Californie en surimpression des images du CZCS de NIMBUS-7; rapport bleu/vert et indice de concentration phytoplanktonique, 22 septembre 1981, 1104 PST (adapté de Lauris *et al.*, 1984)

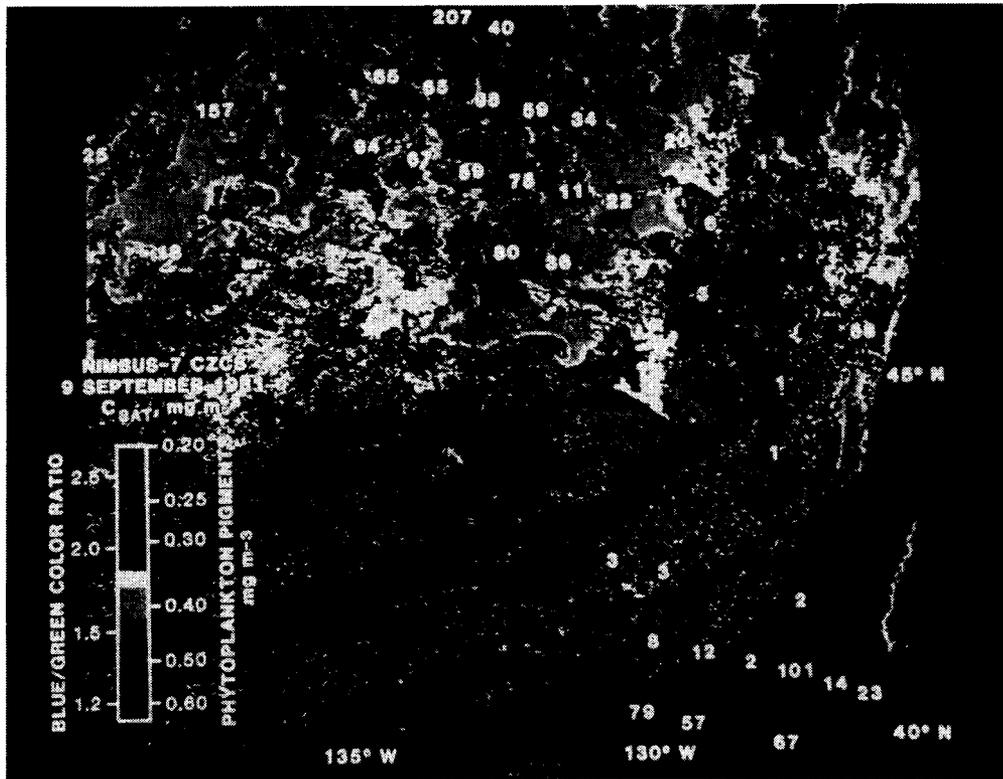


Figure 5: Captures moyennes quotidiennes de germon par carré de 1° du 1 au 15 septembre 1981 en surimposition des images du CZCS de NIMBUS-7 : rapport bleu/vert et indice de concentration phytoplanktonique, 9 septembre 1981, 1215 PSI (adapte de Laurs *et al.*, 1984)

pêche nord-américaine au germon et de son habitat en liaison avec les caractéristiques océanographiques et hydro-climatiques mesurées par les capteurs satellitaires : infra-rouge, dispersiometre, alimetre est en cours de progrès par Laurs, Svejkovsky et Hess (en cours). Cette étude est en cours de réalisation pour évaluer l'intérêt des mesures réalisées par les capteurs actifs (altimétriques, dispersiométriques) sur l'état de surface de la mer et des champs de vent, en addition des mesures infra-rouges de la température de la mer, pour détecter et mesurer en permanence les conditions océanographiques qui affectent l'écologie et la pêche du germon. Cette information est particulièrement abondante, volumineuse et importante, en raison du fait qu'un énorme volume de données de ce type deviendront disponibles en routine sur l'ensemble de l'océan mondial avec le lancement de nombreux vecteurs et capteurs météorologiques actifs durant la décennie à venir. Les données résultantes devraient apporter d'énormes capacités de mesure et de surveillance des caractéristiques de l'environnement marin qui jouent un rôle déterminant dans la répartition, les migrations et les conditions de pêche de poissons hautement migratoires. Les données des dispersiometres et des altimé-

tres peuvent être particulièrement utiles dans les parties centrales des océans où l'information océanographique est généralement manquante sur la base spatiale et temporelle nécessaire pour la recherche et les applications à la pêche.

L'étude utilise les données du dispersiometre (SASS) et de l'altimetre du satellite SEASAT et des images infra-rouges VHRR de NOMAS, et les données de pêche (CPUE) du germon de la même période. Les résultats préliminaires montrent une bonne correspondance entre la pêche au germon et les types de convergence et divergence océaniques issus du dispersiometre SASS, notamment l'intensité des champs de vent moyennés sur des périodes de 7 jours.

Application de la télédétection satellitaire à l'exploitation du germon du Pacifique Nord par les pêcheurs américains U.S.

Les pêcheurs U.S. de germon utilisent largement les produits issus de l'imagerie satellitaire pour déterminer les zones favorables à la concentration des poissons et pour la sécurité des navires. Ils ont été parmi les premiers pêcheurs à reconnaître l'intérêt de la télédétec-

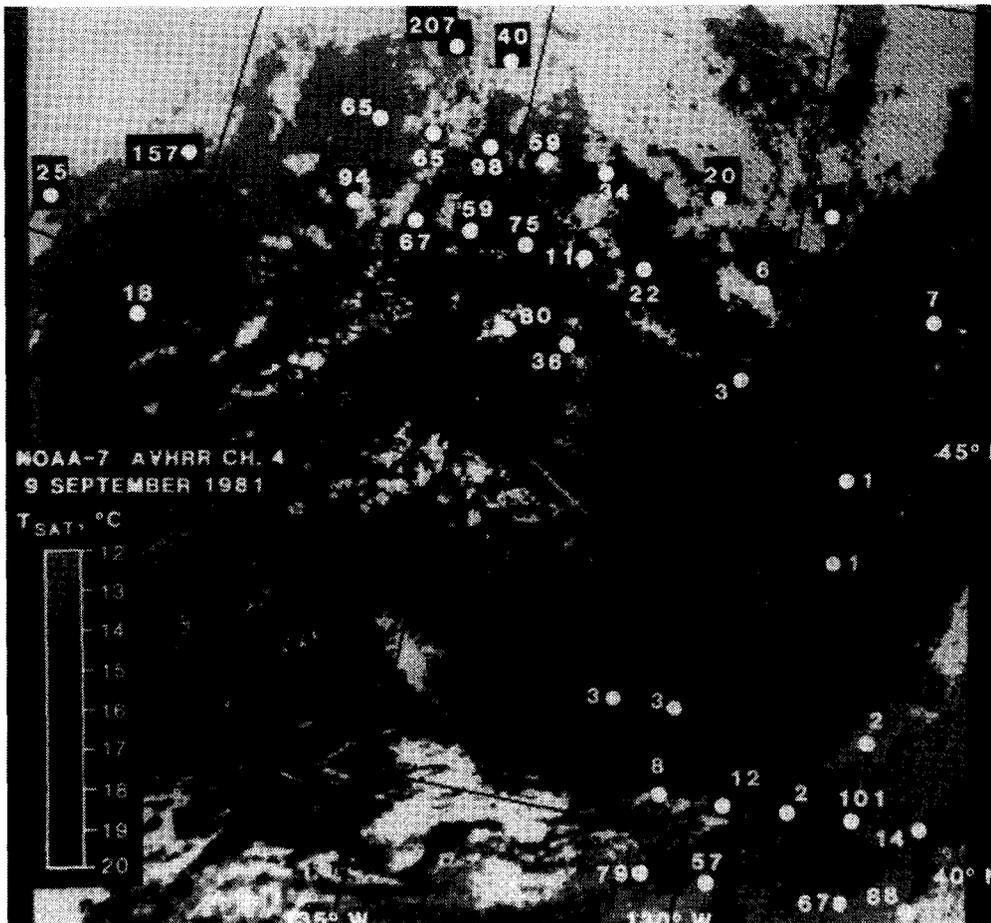


Figure 6 : Captures moyennes quotidiennes de germon par carre 1° du 1 au 15 septembre 1981 en surimposition de la temperature de surface du 9 septembre 1981, 1438 PST (adapte de Laurs *et al.*, 1984)

tion satellitaire pour les pêcheries. Ils ont également été très coopératifs pour l'utilisation de la nouvelle technologie satellitaire et de ses produits lorsque ceux-ci ont été rendus disponibles.

Les premières informations et données satellitaires ont été utilisées pour la première fois pour l'aide à la pêche par les pêcheurs américains dans les premières années 1970. Cette première tentative utilisait les images du domaine visible et infra-rouge reçues par le système APT (Automatic Picture Transmission), en conjonction avec d'autres données pour préparer les cartes d'aide à la pêche transmises par radio-fac simile aux thoniers senners US opérant dans l'Océan Pacifique Tropical Est (Laurs, 1971). Une revue de l'utilisation des données satellites pour l'élaboration d'éléments d'aide à la pêche au germon pour les pêcheurs américains et d'autres nationalités sont disponibles dans les travaux de Fiedler *et al.* (1985), Laurs et Bruscks (1985), Njoku *et al.* (1985) et Montgomery *et al.* (1986). Les analyses routinières de température de

surface à partir de données satellitaires ont été produites pour les eaux côtières au large de la côte ouest des U.S.A., depuis 1976 (Breaker and Jurick, 1975). Le format, degré de détail et méthodes de dissémination de ces analyses, sous forme de cartes, ont varié au cours des années. Breaker (1981) a décrit les méthodes utilisées pour préparer ces cartes et Short (1979) a donné une information sur l'utilisation de ces cartes par les pêcheurs. Un exemple de la forme actuelle de l'analyse de la température de surface de la mer est donné dans la figure 8. Les frontières thermiques sont obtenues à partir des données de l'AVHRR et les isothermes sont essentiellement fondées sur des observations *in situ* produites par les navires et les bouées. Ces cartes sont produites deux fois par semaine et distribuées aux pêcheurs par radio-fac-simile et par courrier.

Il existe également une analyse des frontières thermiques de température superficielle de la mer à partir des données AVHRR avec un degré de détail spatial beau-

coup plus important, disponible pour les pêcheurs de germon sous la forme d'une souscription-abonnement auprès d'une compagnie (1) qui produit une valeur ajoutée au simple traitement d'images numériques satellitaires. Des exemples de traitement graphique en dégradé et de rehaussement par ligne de frontière thermique et valeurs SST pour des zones très représentatives sont donnés dans la figure 9 (droit) et 9 (gauche) respectivement. Un traitement en fausses couleurs de l'imagerie thermique satellitaire est également disponible. Des cartes du même type que celles représentées dans la figure 9 (droit), sont distribuées aux pêcheurs en mer par radio-fac-similé et les analyses en fausse couleur sont distribuées par poste express. Un nombre croissant de pêcheurs souscrivent ou s'abonnent à ce service en raison de la très fine résolution spatiale des frontières thermiques produites. Ceci aide réellement les pêcheurs à localiser les zones favorables à la pêche du germon.

Les structures thermiques proposées à partir de l'in-

formation satellitaire décrite ci-dessus sont généralement satisfaisantes pour répondre aux besoins de la pêcherie U.S. de germon lorsqu'ils pêchent à l'intérieur d'une zone de 1 000 milles au large de la côte nord-américaine. Mais les zones au-delà de cette distance sont situées en dehors des zones de réception des stations de la côte ouest des U.S.A., pouvant recevoir des informations des satellites défilants à orbite polaire, qui passent au-dessus du Pacifique Nord. Il y a eu des tentatives de production de cartes d'isothermes et de frontières thermiques à partir des mesures et enregistrements stockés à bord du satellite durant son passage au dehors des zones de réception des stations de la côte ouest des U.S.A.

(1) Ocean Imaging Company, San Diego, California, U.S.A; la référence à un nom de compagnie ou société n'engage pas la responsabilité de la NOAA/National Marine Fisheries Service.

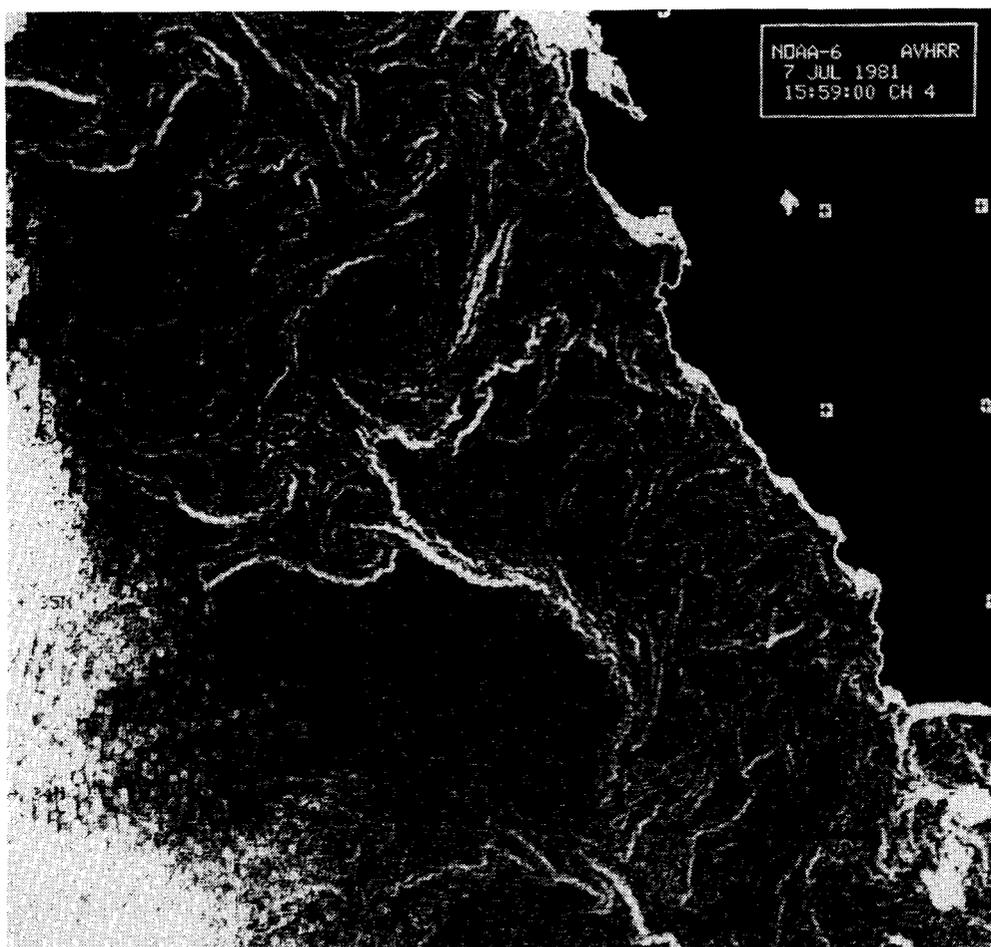


Figure 7. Image de gradient thermique obtenu par filtrage AVHRR (adapte de Svejkovsky, 1988)

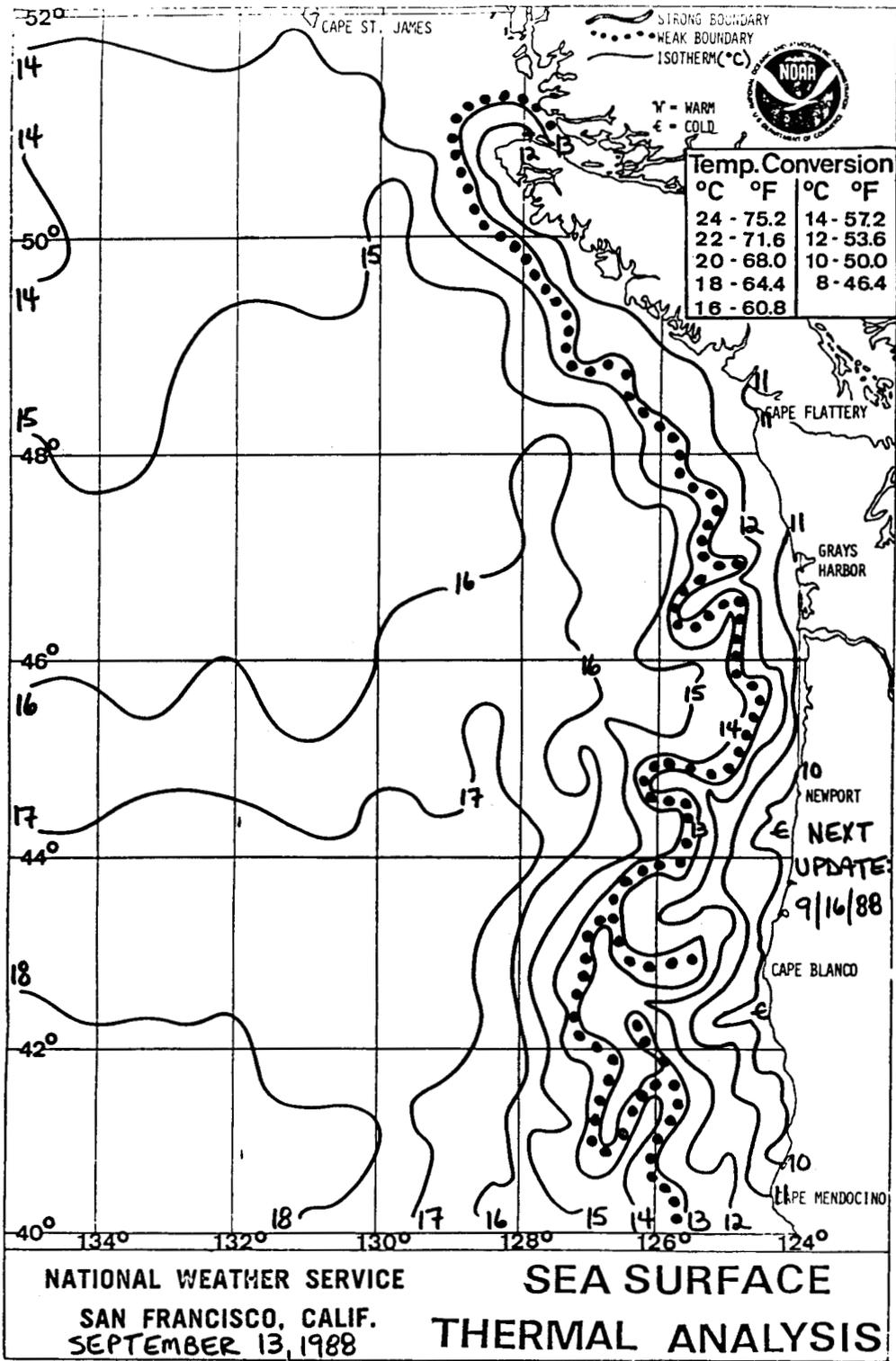


Figure 8 - Exemple d'analyse de température de surface élaboré à partir de l'imagerie satellitaire et de données de surface

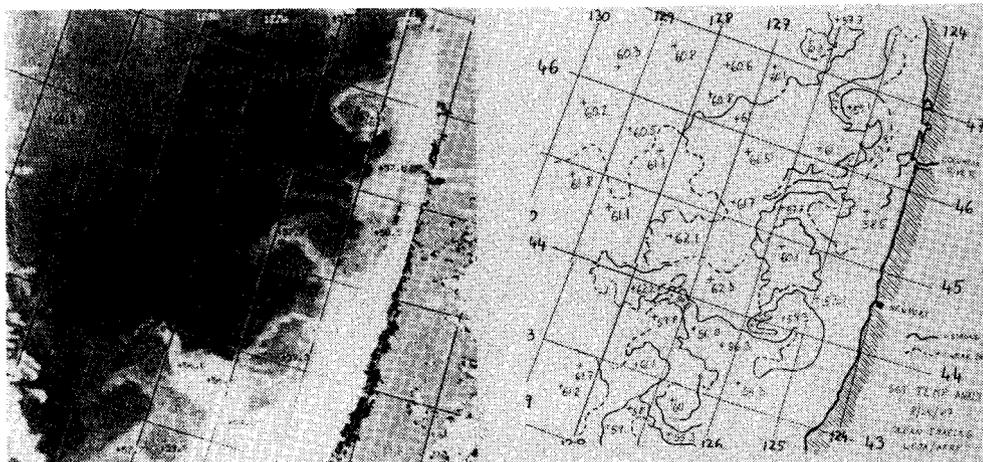


Figure 9. Deux analyses élaborées distribuées aux pêcheurs par Ocean Imaging Company (gauche): image thermique en gris contrasté avec une grille de positionnement et une surimpression de valeurs de température (droite): carte préparée pour la diffusion par radio-téléphone montrant l'analyse des frontières thermiques et une surimpression des valeurs de température (aimablement fourni par Ocean Imaging Company, San Diego, Californie).

Des essais ont été tentés pour produire des cartes thermiques dérivées des données satellitaires au-delà de la zone des 1 000 miles au large de la côte ouest en utilisant ces données AVHRR obtenues par une station militaire de réception localisée à Hawaï. Ces essais n'ont pas été fructueux en raison du fort coût et des délais pour la livraison des enregistrements sur bande magnétique en Californie.

Afin d'obtenir une imagerie satellitaire lorsqu'ils opèrent dans des zones lointaines, quelques pêcheurs U.S. de germon ont acheté, ou envisagent d'acheter, des équipements peu coûteux de réception et traitement définis pour la réception directe, traitement et visualisation à bord. Ces systèmes reçoivent une imagerie APT (Automatic Picture Transmission), dont les signaux dans le domaine du visible et de l'infrarouge thermique correspondent à des pixels de 4 km, à partir du système de satellite à orbite polaire. Ces systèmes sont essentiellement dirigés pour augmenter la sécurité en mer, et dans des zones sans couverture nuageuse fournissent une possibilité d'interpréter les champs thermiques superficiels pour une recherche plus efficace des zones de pêche.

Des systèmes de réception de données satellitaires APT embarqués ont été utilisés à bord de navires de recherche et de pêcheurs dans le Pacifique Central Sud durant la campagne exploratoire de pêche au germon (Laurs *et al.*, 1986 et Systems West, 1988). Les systèmes

APT, constituent des équipements intéressants et valable pour la réalisation de frontières thermiques associées à la zone de convergence sub-tropicale du Pacifique Sud où de fortes captures de germon sont faites. En complément, les images de nuage démontrent l'utilité de système APT comme un outil pour accroître la sécurité et l'efficacité des opérations de pêche dans les zones caractérisées par une couverture météorologique éparse et des prévisions météorologiques limitées.

De nombreux témoignages de satisfaction ont été reçus de la part des pêcheurs de germon américains et autres nationalités, à propos de l'utilité de l'information d'origine satellitaire pour l'aide à la localisation de zones favorables à la pêche. Selon les pêcheurs qui ont utilisé largement des cartes « satellitaires », les analyses thermiques leur ont permis de gagner 25 à 30 % de leur temps de recherche et l'analyse des frontières de couleur jusqu'à 50 % (Laurs, Communication personnelle fondée sur les interviews avec les pêcheurs). Cependant l'examen rigoureux de l'impact économique de l'utilisation de données satellitaires pour la pêche au germon n'a pas été réalisé.

Remerciement

Une partie du travail évoqué dans cette revue a bénéficié d'un financement de la National Aeronautics and Space Administration, Orders W-15,334 and W-16,509.

Références

- Breaker, L.C. and F. Jurick, 1975. Providing near real-time sea surface temperatures to the California north coast fishing fleet: an approach. In: *Ocean '75* (Combined meeting of 1975 IEEE Conference on Engineering in the Ocean Environment and 11th Annual Meeting of the Marine Technology Society), San Diego, California, New York Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. 952 pp.
- Breaker, L.C., 1981. The application of satellite remote sensing to West Coast fisheries. *J. Mar. Tech. Soc.* 15 : 32-40.
- Clark, D.K., 1981. Phytoplankton pigments algorithms form the Nimbus-7 CZCS. In: *Oceanography from space*, edited by J.F.R. Gower. Plenum Press, New York pp. 227-238.
- Fiedler, P.C., G.B. Smith, R.M. Laurs, 1985. Fisheries applications of satellite data in the North Pacific. *Mar. Fish. Rev.* 46 : 1-13.
- Jurick, F.A., 1985. A comparison between North Pacific commercial albacore (*Thunnus alalunga*) catch and the satellite derived West Coast thermal boundary analysis. M.S. Thesis, Humboldt State University, Arcata, California, 79 pp.
- Lauritson, L., G.G. Nelson and R.W. Porto, 1979. Data extraction and calibration of TIROS-N/NOAA radiometers. NOAA Tech. Memo. NESS 197 : 44-46.
- Laurs, R.M., 1971. Fishery-Advisory information available to tropical pacific tuna fleet via radio facsimile broadcast. *Comm. Fish. Rev.* 33 : 40-42.
- Laurs, R.M., C. Hooker, L. Hreha and R. Lincoln, 1975. A uniform U.S. West Coast log book for albacore, *Thunnus alalunga* (Bonnaterre), and coastwide albacore fishery data system. *Mar. Fish. Rev.* 37 : 14-21.
- Laurs, R.M., Clemens and L.H. Hreha, 1976. Nominal catch-per-unit effort of albacore, *Thunnus alalunga* (Bonnaterre), caught by U.S. jig vessels during 1961-1970. *Mar. Fish. Rev.* 38 : 1-32.
- Laurs, R.M., 1977. Albacore advisory fish bulletins : 77-3 through 77-9. National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Center, La Jolla, California. 7 pp.
- Laurs, R.M., and R.J. Lynn, 1977. Seasonal migration of North Pacific albacore, (*Thunnus alalunga*), into North American coastal waters : distribution, relative abundance, and association with Transition Zone waters. *Fish. Bull. NOAA, U.S. Dept. of Commerce*, 75 : 795-822.
- Laurs, R.M., H.S.H. Yuen and J.H. Johnson, 1977. Small-scale movements of albacore (*Thunnus alalunga*), in relation to Ocean features as indicated by ultrasonic tracking and oceanographic sampling. *Fish. Bull. NOAA, U.S. Dept. of Commerce*, 75 : 347-355.
- Laurs, R.M., R.J. Lynn, R. Nishimoto and R. Dotson, 1981. Albacore trolling and longline exploration in eastern North Pacific waters during mid-winter 1981. NOAA Technical Memorandum NMFS 10. 52 pp.
- Laurs, R.M., R.C. Dotson, A. Dizon and A. Jamison, 1980. Observations on swimming depth and ocean temperature telemetered from free-swimming albacore. In: *Proceeding of 31st Tuna Conference* (May 11-14, 1980), edited by A. Wild, La Jolla : Inter-American Tropical Tuna Commission, pp. 33-34.
- Laurs, R.M., P.C. Fiedler, and D.R. Montgomery, 1984. Albacore tuna catch distributions relative to environmental features observed from satellites. *Deep Sea Res.* 31 : 1085-1099.
- Laurs, R.M. and J.T. Brucks, 1985. Living Marine Resources Applications. In: *Advances in Geophysics, Satellite Oceanic Remote Sensing*, edited by Barry Saltzman. Academic Press, London, Vol. 27, pp. 419-450.
- Laurs, R.M., K.A. Bliss and J.A. Wetherall, 1986. Preliminary Results from R/V *Townsend Cromwell* South Pacific Research Survey. NOAA, Nat. Mar. Fish. Serv., Southwest Fisheries Center, Admin. Rep. LJ-86-13. 80 pp.
- Laurs, R.M., J. Svejkovsky and M.W. Hess, (in prep.) A case study relating variations in albacore tuna fishing success and habitat to oceanographic and marine weather conditions measured by satellite scatterometer, altimeter and infrared sensor.
- McClain E.P., W.E. Pichel, C.C. Walton, Z. Ahmadd and J. Sutton, 1983. Multichannel improvements to satellite-derived global sea surface temperatures. *Advances in Space Res.* 2 : 43-47.
- Miyabe, N. and N. Bartoo, 1987. Report of the tenth North Pacific albacore workshop. NOAA, Nat. Mar. Fish. Serv., Admin. Rep. LJ-87-27, La Jolla, California, 19 pp.
- Montgomery, D.R., R.E. Wittenberg-Fay and R.W. Austin, 1986. The applications of satellite-derived ocean color products to commercial fishing operations. *Mar. Technol. Soc. J.* 20 : 72-86.
- Njoku, E.G., 1985. Satellite-derived sea surface temperature : Workshop comparisons. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 66 : 274-281.
- Pearcy, W.G. and J.L. Mueller, 1970. Upwelling, Columbia River plume and albacore tuna. *Proc. of the 6th Int. Symp. on Remote Sensing of the Environment*, Univ. of Mich., pp. 1101-1113.
- Short, K., 1979. How Satellites can help you catch more fish and cut costs. *Nat. Fish.* 60 : 38-39.
- Smith, R.C. and W.H. Wilson, 1981. Ship and satellite bio-optical research in the California Bight. In: *Oceanography from Space*, J.F.R. Gower, editor. Plenum Press, New York, pp. 281-294.
- Svejkovsky, J., 1988. Remotely sensed ocean features and their relation to fish distributions. In: *Marine Organisms as Indicators*, edited by D.F. Soule and G.S. Klepple. Springer-Verlag, New York, pp. 177-197.
- System West Inc., 1988. Final report for work performed under the Saltonstall-Kennedy Grant no. NA-88-ABH-00021, submitted to National Marine Fisheries Service, Regional Office, Terminal Island, California. 33 pp.
- Uda, M., 1973. Pulsative fluctuation of oceanic fronts in association with tuna fishing grounds and fisheries. *J. Fac. Mar. Sci. Technol., Tokai Univ.* 7 : 245-265.