

ACTES DU COLLOQUE PLURIDISCIPLINAIRE FRANCO-JAPONAIS

OCEANOGRAPHIE

LES AMENAGEMENTS COTIERS ET LA GESTION DU LITTORAL
MARSEILLE 16-21 SEPTEMBRE 1985

Fascicule 3

Téledétection, communications

Editeurs scientifiques :
Hubert J. CECCALDI
Gisèle CHAMPALBERT

第一回日仏海洋学会

沿岸域利用と管理

於 マルセイユ市 1985年 9 月16日 - 21日

テーマ3 リモートセンシング



Société franco-japonaise d'Océanographie

QUATRIEME COLLOQUE PLURIDISCIPLINAIRE
FRANCO-JAPONAIS

OCEANOGRAPHIE

LES AMENAGEMENTS COTIERS
ET
LA GESTION DU LITTORAL

FASCICULE 3 :
Télédétection, communications

REUNIONS SCIENTIFIQUES
AU CENTRE MEDITERRANEEN DE COMMERCE
INTERNATIONAL
CENTRE BOURSE

MARSEILLE 16-21 SEPTEMBRE 1985

COMITE DE PATRONAGE

M. Paul AUGIER, Président du Comité économique et social, Provence-Alpes-Côte d'Azur, 13001 MARSEILLE.

M. Augustin BERQUE, Directeur d'études à l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences sociales, Directeur de la Maison franco-japonaise de TOKYO, Japon.

M. Gérard BODINIER, Délégué régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, Agence nationale pour la Valorisation de la Recherche (ANVAR), 13008 MARSEILLE.

M. Edouard BONNEFOUS, Vice-Président du Conseil d'administration de l'Institut océanographique, 75005 PARIS.

M. Christian BROSSIER, Directeur des Ports et de la Navigation maritimes, 75007 PARIS.

M. René BRUE, Secrétaire général de l'Institut français de la Mer, 13001 MARSEILLE.

M. Jacques-Yves COUSTEAU, Fondation COUSTEAU, 75016 PARIS.

M. Bernard DECOMPS, Directeur de la Recherche, Ministère de l'Education nationale, 75015 PARIS.

M. Henri DELAUZE, Président Directeur général de la COMEX, 13005 MARSEILLE.

M. Jean DELORME, Président du Conseil d'administration de l'Institut océanographique, 75005 PARIS.

M. Jacques DEVERGNE, Secrétaire général de la Chambre régionale de Commerce et d'Industrie Provence-Alpes-Côte d'Azur-Corse, 13222 MARSEILLE

M. François DIVERRES, Administrateur Général des Affaires maritimes, 13227 MARSEILLE Cedex 1.

M. Bernard DUBREUIL, Président du Comité central des pêches maritimes, 75015 PARIS.

M. Marc DUPUIS, Coordinateur général du Colloque scientifique interdisciplinaire franco-japonais, Professeur à l'Université Paris VI, 75005 PARIS.

M. Paul FABRE, Président de la Chambre régionale de Commerce et d'Industrie Provence-Alpes-Côte d'Azur, 13222 MARSEILLE.

M. Claude FREJACQUES, Président du Conseil d'Administration, Centre national de la Recherche scientifique, 75007 PARIS.

M. le Vice-Amiral d'Escadre GAGLIARDI, Préfet maritime de la III^e Région, 83000 TOULON.

M. François GERARD, Chef de la Mission de Recherche, Secrétariat d'Etat auprès du Ministère des Transports, chargé de la Mer, 75700 PARIS.

M. Dominique GIRARD, Directeur du centre IFREMER de Toulon, 83507 LA SEYNE-SUR-MER.

M. Philippe GUILLEMIN, Sous-Directeur des Sciences sociales et humaines, Direction de la Coopération scientifique et technique, Ministère des Relations extérieures, 75775 PARIS.

M. Roger HEUILLET, Président, Port Autonome de Marseille, 13002 MARSEILLE.

M. Daniel JACQUOT, Conseiller scientifique, DETN, Gaz de France, 92531 LEVALLOIS-PERRET.

M. Jean KNIBIEHLER, Président, Comité consultatif régional de la Recherche et du Développement technologique, 13241 MARSEILLE.

M. Yves LA PRAIRIE, Président fondateur du Centre national pour l'Exploitation des Océans (CNEXO), 33610 CESTAS.

M. Jean LACOMBE, Président du CEPALMAR, Conseil régional, Président du groupe Mer à l'Assemblée nationale, 34000 MONTPELLIER.

M. Yves LASSAIGNE, Délégué régional à l'Architecture et à l'Environnement, 13100 AIX-EN-PROVENCE.

M. Claude LOMBOIS, Recteur de l'Académie d'AIX-MARSEILLE, 13100 AIX-EN-PROVENCE.

M. Lucien LAUBIER, Membre correspondant à l'Académie des Sciences, Haut-Conseiller scientifique de l'IFREMER, 75116 PARIS.

M. François MARIANI, Conseiller scientifique, Ambassade de France, TOKYO, Japon

M. Fumio MATSU-URA, Président de l'Université KITASATO, TOKYO, Japon.

M. Mohammed MEBKHOUT, Professeur, Doyen de la Faculté des Sciences de Luminy, 13288 MARSEILLE.

M. Jean de MENTON, Chargé de mission, Délégation aux Affaires internationales, Ministère de l'Industrie et de la Recherche, Ministère du Redéploiement industriel et du Commerce extérieur, 75700 PARIS.

M. Henri MERCIER, Président de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille, 13222 MARSEILLE.

M. Roger MULLER-FEUGA, Délégué régional, Electricité de France - Gaz de France, 13008 MARSEILLE.

M. Jean-Pierre NIGOGHOSSIAN, Délégué régional, Ministère de la Recherche et de la Technologie, 13008 MARSEILLE.

M. Henry O'BYRNE, Directeur général, Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille, 13222 MARSEILLE.

M. Jean-Claude OPPENEAU, Conseiller technique au Cabinet du Ministre, Ministère de l'Environnement, 92523 NEUILLY-SUR-SEINE.

M. Pierre PAPON, Directeur général, Centre national de la Recherche scientifique, 75007 PARIS.

M. Michel PEPRATX, Président de l'Office régional de la Mer, 13016 MARSEILLE

M. Jacques PERROT, Président, France-Aquaculture, 75116 PARIS.

M. Louis PHILIBERT, Président du Conseil général des Bouches-du-Rhône, 13008 MARSEILLE.

M. René PORTET, Président de la 3^e Section, Sciences de la Vie et de la Terre, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 75005 PARIS.

M. Louis POTIE, Délégué général, Institut méditerranéen de l'Eau, 13006 MARSEILLE

M. Guy POUZARD, Président de l'Université de Provence, Aix-Marseille I, 13331 MARSEILLE.

M. Jean-Paul PROUST, Directeur des Pêches maritimes et Cultures marines, Secrétariat d'Etat à la Mer, 75007 PARIS.

M. Jean RENARD, Directeur de l'Aménagement, Ministère de l'Agriculture, 75007 PARIS.

M. Alain RUELLAN, Directeur général, Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, 75009 PARIS.

M. Jacques RUFFIÉ, Professeur, Collège de France, 75005 PARIS.

M. Georges SERRATRICE, Président de l'Université Aix-Marseille II, 13007 MARSEILLE.

M. Yves SILLARD, Président Directeur général, Institut français de Recherches pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), 75116 PARIS.

M. Pierre SOMVEILLE, Commissaire de la République, Préfecture, 13282 MARSEILLE.

M. Jean-François STUYCK-TAILLANDIER, Sous-Directeur Recherche et Technologie, Direction de la Coopération scientifique et technique, Ministère des Relations extérieures, 75775 PARIS.

M. Claude TARDITS, Président du Conseil supérieur de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, 75005 PARIS.

M. Masahide TOMINAGA, Professeur, Président de la Société franco-japonaise d'Océanographie, TOKYO, Japon.

M. Jean-Paul TROADEC, Directeur général adjoint, IFREMER, 75116 PARIS.

M. Kuniomi UMESAWA, Président, Japan Marine Science and Technology Center, YOKOSUKA 237 Japon.

M. Michel VIGNEAUX, Professeur Directeur de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, 33405 TALENCE.

TABLE DES MATIERES

Fascicule 3 : Télédétection, communications

- . Gérard JOLY et Fernand VERGER - L'apport de la télédétection pour la connaissance et l'aménagement du domaine littoral.
Remote sensing contribution to knowledge, monitoring and planning of coastal zones..... 5

- . Eric GUILLEMOT, Loïc MENANTEAU, Yves-François THOMAS et Jean-René VANNEY - Télédétection et cartographie des zones littorales.
Remote sensing and cartography of littoral zone..... 13

- . Thomas BELSHER - Télédétection et phytobenthos : Stratégie pour l'obtention d'informations, par télédétection, sur le phytobenthos marin.
Remote sensing and phytobenthos : A strategy for the use of remote sensing for seaweed management..... 27

- . Haruto OKAMOTO - Emploi de la télédétection pour l'étude de la qualité des eaux du lac Biwa.
Lake Biwa water quality by remote sensing..... 33

- . POSTER - RESUME :

- . William BOUR, Régine CHAUME, François CONAND, Lionel LOUBERSAC et Pierre RUAL - Cartographie thématique récifale par traitement d'images satellitaires : exemple d'un récif d'ilôt du Lagon de Nouvelle-Calédonie.
Coral reef thematic mapping using high resolution satellite imagery : the example of a reef islet in the Lagon of New-Caledonia..... 41

COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OCEANOGRAPHIE
Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule 3 : Télédétection, communications

L'apport de la télédétection pour la connaissance
et l'aménagement du domaine littoral

*Remote sensing contribution to knowledge, monitoring and
planning of coastal zones*

Gérard JOLY¹ et Fernand VERGER²

¹ U.A. 910 DU C.N.R.S., LABORATOIRE DE GEOGRAPHIE DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE,
1, RUE MAURICE-ARNOUX, 92120 MONTRouGE

² DIRECTEUR DU LABORATOIRE DE GEOGRAPHIE DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE,
1, RUE MAURICE-ARNOUX, 92120 MONTRouGE

Résumé :

La télédétection satellitaire est très adaptée à l'étude des milieux littoraux par les indications qu'elle apporte sur les eaux marines (turbidité, houles), sur la cinématique littorale (vues répétitives) et sur la morphologie des paysages côtiers.

Abstract :

Specific results obtained from remote sensing investigations on coastal zones are very pertinent to marine waters studies (turbidity, waves), littoral geomorphology and evolution (data acquisition regularly repeated), and to landscapes classification.

La télédétection satellitaire, par ses multiples approches (bandes spectrales diverses, résolutions spatiales étagées) et par sa répétitivité, apporte un moyen particulièrement bien adapté à la surveillance permanente des milieux littoraux, plus riche que les moyens antérieurs; ceux-ci reconnaissaient souvent moins les eaux littorales que les eaux du large par suite des difficultés de navigation sur les petits fonds et dans les zones de déferlement des houles. Les estrans eux-mêmes étaient parfois mal connus à cause de leur difficulté d'accès; enfin, la connaissance des paysages littoraux se périme vite par suite de l'évolution rapide de leur morphologie, de leur biogéographie et même de leur occupation humaine.

Dans les longueurs d'onde du visible et du proche infrarouge, les capteurs fournissent toute une série de mesures dans diverses bandes jusque vers 1,1 micromètre: chambres photographiques d'Apollo 9, de Skylab, de Soyouz 22 et du Spacelab, caméras de télévision RBV des Landsat et très nombreux appareils à balayage; MSS et TM de Landsat, CZCS de Nimbus 7, très bientôt HRV de Spot, etc... Les renseignements utiles à la connaissance du littoral sont fort nombreux dans cette partie du spectre; ils concernent notamment la détection des troubles en suspension. L'augmentation du pouvoir de résolution spectrale des capteurs ne peut qu'améliorer la précision et le capteur Coastal Zone Color Scanner de Nimbus 7 représente un progrès par l'étroitesse des bandes spectrales dans lesquelles il effectue ses mesures : en 432-453 nanomètres, 510-530 nanomètres, 540-560 nanomètres, 660-680 nanomètres et 700-800 nanomètres. Cette étroitesse contribue à une bonne détermination de la nature des troubles en suspension. Les renseignements fournis concernent la surface des eaux (film d'huile) et les fonds sous-marins lorsqu'ils sont peu profonds et que les eaux qui les couvrent sont claires. Les déterminations dans ces bandes spectrales renseignent aussi sur la nature des estrans (roche, végétation, degré d'humectation) ainsi que sur les paysages littoraux de terre ferme : évolution de la végétation des dunes littorales, urbanisation des espaces littoraux. La détection dans l'infrarouge proche alliée aux résolutions spatiales du TM de Landsat ou de l'HRV de Spot apparaît comme particulièrement adaptée à la détermination des lignes de rivage instantanées : ligne de démarcation de la terre et de la mer à l'instant de la détection.

Dans les plus grandes longueurs d'onde, l'infrarouge thermique est utilisé pour la détermination de la température de surface des eaux de mer, l'étude des fronts thermiques et indirectement celle des mouvements verticaux des eaux qui se traduisent par des modifications caractéristiques des températures de surface. Les données thermographiques permettent de localiser les sources d'eaux de températures différentes (sources sous-marines, rejets industriels d'eaux chaudes...etc.).

La combinaison des données dans la partie visible et dans la partie infrarouge thermique du spectre est très précieuse pour l'étude des phénomènes météorologiques et la mise en évidence des phénomènes côtiers qui n'avaient pas été reconnus encore dans leur exacte extension.

Dans les plus grandes longueurs d'onde, le radar embarqué sur satellite (Seasat) fournit l'apport le plus notable à l'étude du littoral. Le radar offre, par tout temps et de jour comme de nuit, des images des champs de vagues particulièrement précieuses pour l'étude du régime des côtes. Le radar imageur peut également être utilisé pour la détection des nappes

superficielles d'hydrocarbures qui amortissent les ondes capillaires et diminuent ainsi la rugosité -et donc la rétrodiffusion- de la surface de la mer. Les applications du radar concernent aussi la mise en évidence d'ondes internes par l'interprétation des variations de rugosité de surface, tandis que l'altimètre-radar mesure la hauteur des vagues dans des aires données.

Un vaste champ d'application s'offre ainsi aux techniques récentes de la télédétection. Par la constance répétitive de leurs observations, les satellites fournissent et fourniront de plus en plus d'informations renouvelées et synoptiques sur les espaces littoraux. Leur pouvoir de résolution a longtemps privilégié les études océaniques pour lesquelles la reconnaissance porte sur de grandes masses, au détriment de celles qui se rapportent à la terre ferme où une résolution plus fine est souhaitée; mais les qualités spatiales des capteurs progressent rapidement et les données des prochains satellites, tels que Spot, vont accroître la finesse des études: la tâche élémentaire d'information de Spot concerne par exemple une étendue au sol de 10 m x 10 m dans son mode panchromatique.

D'ores et déjà, la télédétection satellitaire a eu des applications intéressantes sur le littoral océanique de la France. Les premiers concernent les eaux littorales, les seconds les formes littorales et les derniers, les paysages littoraux: estrans et terre ferme.

1. LES EAUX LITTORALES

Les données du système de balayage multibande de Landsat constituent, surtout dans les canaux MSS 4 et MSS 5 (bandes spectrales 500-600 et 600-700 nanomètres), d'excellents indicateurs des turbidités littorales. Les données de télédétection permettent ainsi de cartographier la répartition des troubles en suspension dans les eaux qui bordent les côtes, en particulier au débouché des estuaires ou dans les baies à wadden et au débouché des goulets qui séparent certaines îles (Ré, Oléron, Noirmoutier) du continent. C'est ainsi que l'examen des cartes obtenues sur le littoral français suggère une classification des panaches engendrés par les courants fluviaux et surtout les courants de marée. Une première dichotomie sépare les panaches, qu'ils soient constitués d'eaux plus claires ou d'eaux plus troubles que les eaux environnantes. Les premiers sont souvent des panaches de flot et les seconds des panaches de jusant. Les panaches peuvent aussi être classés selon la direction du saillant qu'ils dessinent: saillant interne vers le continent, externe vers le large; selon enfin le dessin littoral dans lequel ils s'enchassent: panache d'estuaire, panache de contournement de cap, panache de goulet.

Les panaches d'estuaire les plus développés et les plus caractéristiques sont les panaches de jusant, en fin de jusant, en vive eau et par crue fluviale. Un très bon exemple de panache bien développé est fourni par les données Landsat 1 du 8 mars 1973 de l'estuaire de la Loire par coefficient de marée 100 et avec un débit fluvial élevé de l'ordre de 850 m³/s. Les données du canal MSS 5 en particulier montrent que les panaches de turbidité les plus accusés longent la rive sud de l'estuaire devant Saint-Brévin.

Les données recueillies lors du flot indiquent des langues d'eaux plus claires au milieu des eaux troubles de l'estuaire externe. C'est le cas de l'image du 26 juin 1976, avec coefficient 68 en période d'étiage.

Les goulets qui séparent le continent des îles de Noirmoutier, de Ré et d'Oléron sont parcourus par d'intenses courants de marée. En effet, bien qu'il y ait au fond de ces goulets des ombilics relativement profonds, 23 m

pour Maumusson, 15 m pour Fromentine, les courants sont violents et dépassent fréquemment 4 noeuds. Les courants issus de ces goulets véhiculent des troubles qui s'étalent sur les hauts fonds des deltas sous-marins associés. Le dessin de ces panaches est souvent bien caractéristique et de fortes turbidités peuvent y affronter des eaux relativement claires. On pourra retenir comme exemple le panache très turbide de jusant du goulet de Maumusson qui affronte les eaux claires de l'Atlantique le 19 décembre 1975 (fig.1). Les données de la même date montrent un panache comparable, issu de l'anse de l'Aiguillon, qui transite par le coureau de La Pallice et s'étale au sud de l'île de Ré. Des formes semblables sont bien visibles lors du jusant au débouché du goulet de Fromentine sur le delta sous-marin du même nom (image du 8 mars 1973).

D'autres panaches sont particulièrement caractéristiques lors des contournements de cap. Ce sont presque toujours des panaches turbides de jusant. Les panaches constitués d'eaux troubles qui s'échappent au jusant, de la baie du Mont Saint-Michel, dessinent au nord-ouest du Grouin de Cancale un panache globuleux d'une dizaine de kilomètres de diamètre et dont le dessin demeure très constant pour un même coefficient de marée. C'est ainsi que les données du 27 septembre 1972 et du 8 mars 1973 montrent deux panaches presque exactement superposables (fig.1). Le panache turbide de jusant qui contourne au nord la pointe de Chassiron (île d'Oléron) revêt une forme également globuleuse sur les données du 22 novembre 1975. Au contraire, le panache issu de la baie de Bourgneuf qui contourne au nord l'île de Noirmoutier présente un aspect effiloché dû très vraisemblablement à la topographie sous-marine irrégulière (banc de la Blanche, île du Pilier, etc...).

Les thermographies offrent une gamme d'informations sur les températures de surface et, par voie de déduction, sur les mouvements des eaux. La présence de taches d'eaux froides en surface traduit parfois sur les côtes françaises de l'Atlantique la destruction de la stratification thermique des eaux par les courants de marée.

Les cartographies synoptiques établies à partir de données de télédétection satellitaire présentent l'avantage de fournir des informations nouvelles sur la distribution des turbidités et éventuellement des pollutions qu'elles véhiculent ainsi que sur la circulation des eaux littorales. Ces données sont précieuses pour la connaissance de l'origine des sédiments (envasement du littoral, régime des côtes) et pour celle des conditions écologiques de la vie littorale (connaissance indispensable à l'exploitation économique du milieu).

2. LES FORMES LITTORALES

En dehors des étendues d'eaux, les capteurs MSS et TM assurent une bonne définition multibande des paysages littoraux. Leurs signatures définissent ces paysages que l'on peut cartographier automatiquement. Dans le domaine littoral, la nature des sédiments des estrans peut être reconnue : les sables ont les plus fortes réflectances dans la plupart des canaux des capteurs usuels, les tangues comme celles de la baie du Mont Saint-Michel ont de fortes réflectances dans le canal MSS 4 ou TM 2, les vases, comme celles de l'anse de l'Aiguillon, même sèches, ont de plus faibles réflectances.

Il est possible aussi, en utilisant des réflectances dans l'infrarouge proche (MSS 7 ou TM 4 et 5) de cartographier l'état d'humidité des vases. Cette humidité est fonction de la durée d'émersion, de la nature du

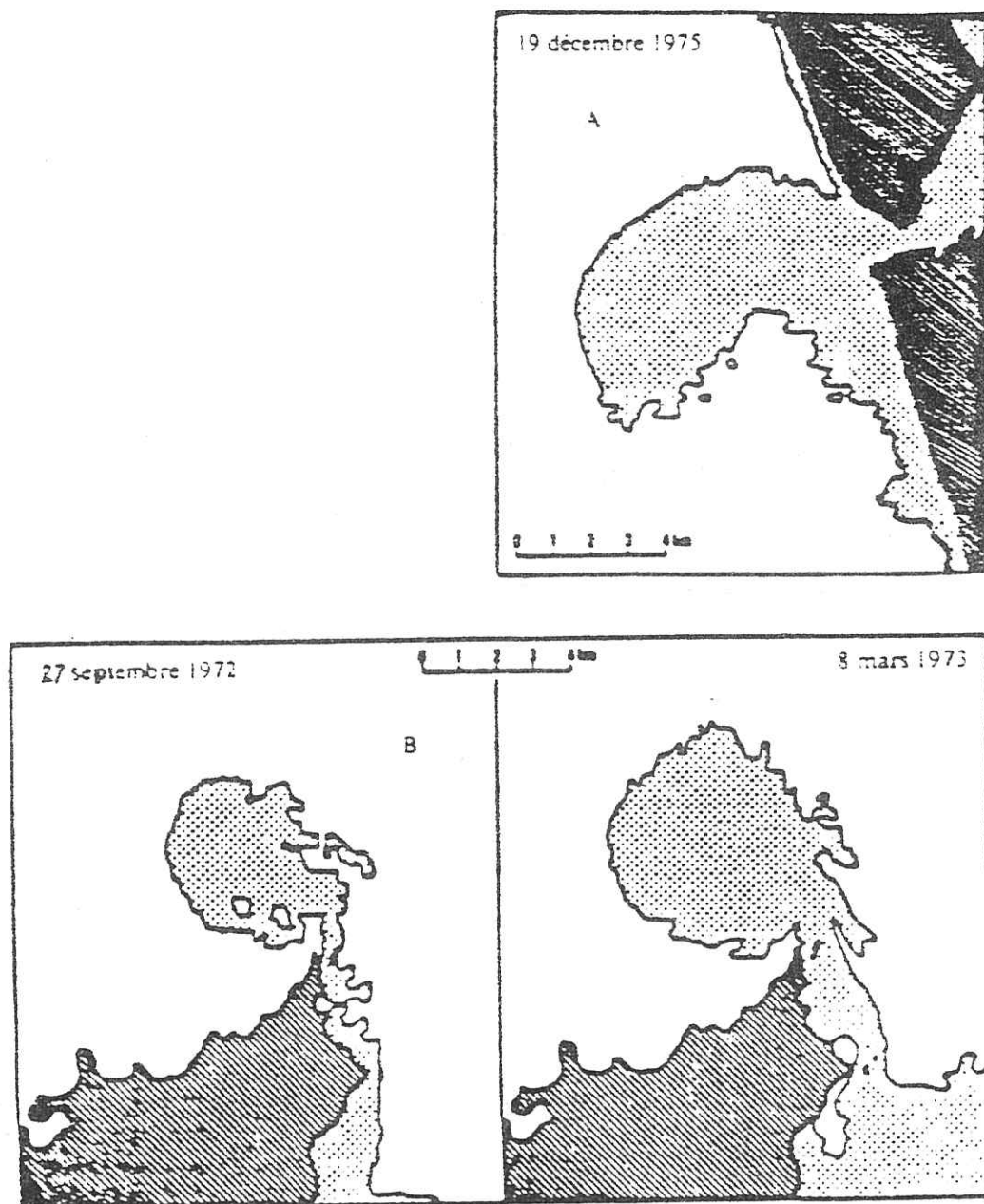


Figure 1 : Exemples de panaches sédimentaires.

- A - Panache de goulet. Les eaux troubles issues du Pertuis d'Oléron s'échappent par le goulet de Maumusson.
- B - Panaches de contournement de cap. Ces deux panaches qui contournent le Pointe du Grouin de Cancale ont été observés lors de deux passages du satellite. Ils présentent une forme presque identique le 27 septembre 1972 et le 8 mars 1973, en fin de jusant de vive eau.

sédiment, mais aussi de la géomorphologie. C'est ainsi que les hautes slikkes de l'anse de l'Aiguillon presque parfaitement plates apparaissent comme moins bien égouttées à marée basse que les slikkes inférieures où un réseau de rigoles et de chenaux dendritiques assure un égouttement bien meilleur. Les valeurs du canal MSS 7 ou de TM 4 et 5 mettent bien en évidence cette disposition géomorphologique.

Les données du canal MSS 7 permettent en général de déterminer les lignes de rivage instantanées, c'est-à-dire les lignes où hydrosphère, lithosphère et atmosphère entrent en contact au moment des passages des satellites. Lorsque ces lignes de rivage instantanées ont été déterminées pour des conditions semblables de marée, elles indiquent des évolutions du rivage par comparaison de données de dates différentes après qu'une rectification géométrique les superpose avec précision. Il est possible de dresser par ordinateur des cartes de l'évolution littorale. Ces cartes cinématiques ne s'intéressent qu'aux seuls changements d'état entre deux dates.

L'évolution de la Pointe d'Arçay en Vendée entre les passages du 11 juillet 1973, du 9 mars 1976 et du 12 avril 1984 a pu être étudiée. L'exploitation des données de TM2 et MSS7 a permis de comparer les lignes de rivages instantanées dressées à ces deux dates et d'en déduire l'évolution intermédiaire. Cette comparaison a pour effet de révéler la constitution de flèches pré littorales (Flèche de la Faute) et des engraissements à l'extrémité de la Pointe d'Arçay.

D'autre part, les données de TM2 et MSS5 offrent une comparaison des surfaces de sables secs et nus aux dates retenues. Cette comparaison est fondée sur la très forte réflectance de ces surfaces minérales. La confrontation de ces données multitemporelles donne aussi de précieuses indications sur la progression de la végétation psammophile aux dépens de la plage, ou éventuellement sur son recul. L'ensemble de ces données traduit une progression des flèches d'avant-côte, une avancée de la dune là où la plage a fortement engraisé, et un allongement du dernier crochet de la Pointe d'Arçay alors que le crochet pénultième a maigri. L'évolution géomorphologique constatée ici par télédétection est classique. Le dernier crochet nourri par la dérive littorale s'accroît alors que le crochet pénultième, privé de cette alimentation, s'amenuise progressivement (fig.2).

Ainsi, l'exploitation multitemporelle des données rectifiées parvient à définir de façon automatique la cinématique dans l'intervalle chronologique considéré. Cet intervalle doit être suffisamment long pour qu'une évolution géomorphologique soit décelable avec la dimension des taches élémentaires du système utilisé MSS (56 x 79m), TM (30 x 30m) et HRV (20 x 20m ou 10 x 10m). Il faut aussi que la rectification géométrique soit de bonne qualité, faute de quoi la carte cinématique serait sensible aux différences de géométrie entre les images et non aux déplacements des objets réels au sol. Le niveau "S" des données HRV de Spot est particulièrement bien adapté à cet usage.

Ces méthodes de télédétection par satellite du régime des côtes pourraient un jour aboutir à la création d'un système automatique de surveillance des évolutions littorales. Elles permettraient de mieux comprendre les mécanismes en jeu et aussi d'en prévoir les effets. Il sera alors possible de pallier les éventuelles conséquences, ou mieux, de modifier artificiellement le développement de l'évolution littorale.

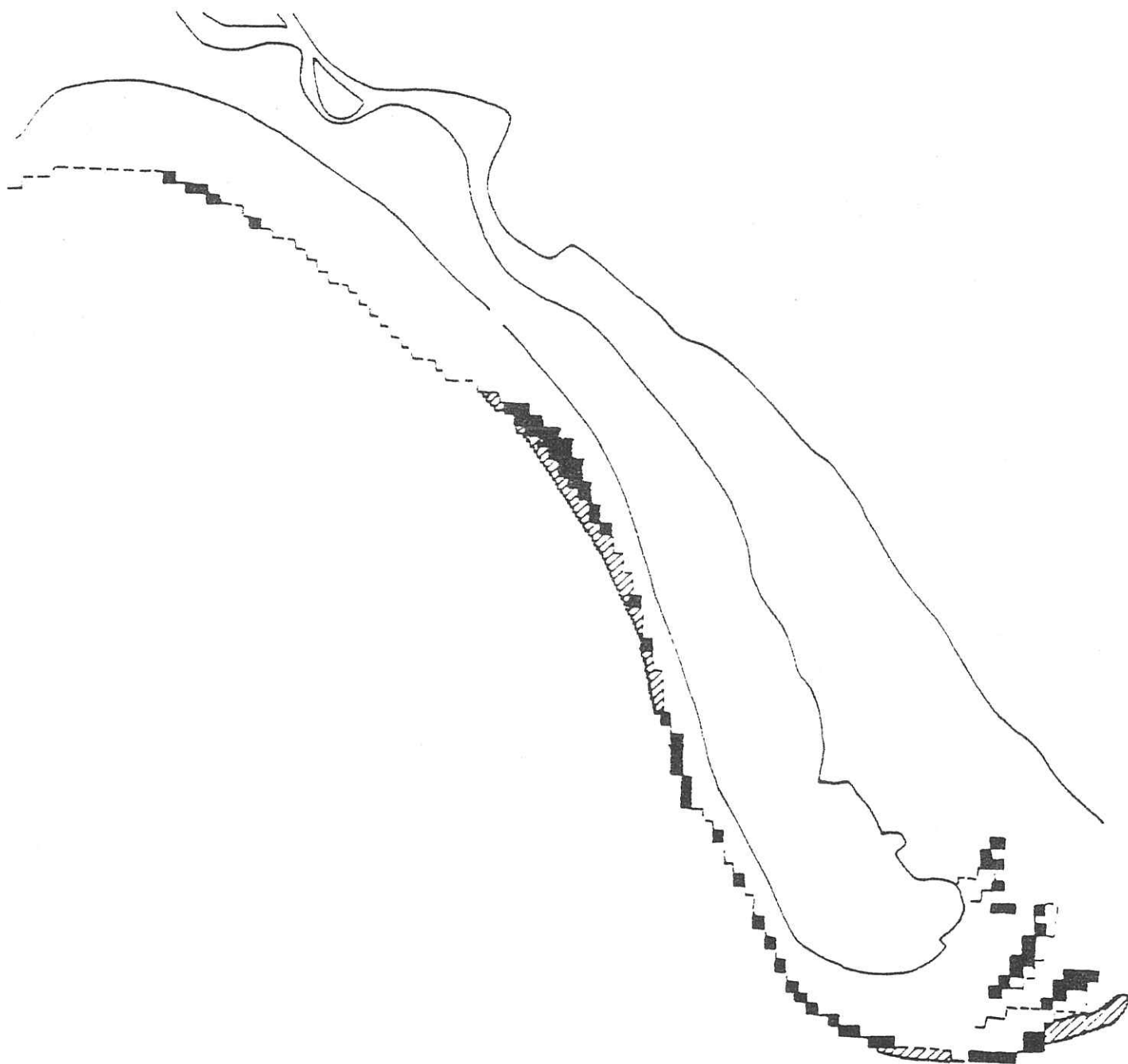


Figure 2 : L'évolution de la Pointe d'Arçay de 1973 à 1984,
d'après les données MSS et TM des satellites Landsat.

en noir: accroissement de 1973 à 1976,
en hachures: accroissement de 1976 à 1984.

3. LES PAYSAGES LITTORAUX

Enfin, les données de satellites rendent possible l'étude des paysages terrestres, qu'ils soient littoraux ou non. L'intérêt porté actuellement à l'analyse et à l'aménagement des milieux littoraux valorise la connaissance de ces paysages dans les pays qui aménagent leur littoral de façon intensive comme le Japon ou la France.

Les données des satellites Landsat permettent une cartographie de ces paysages (forêts de pins maritimes, habitat en semis dispersé, habitat dense, zones de cultures, marais maritimes) et de leur évolution. Elles constituent un outil tout à fait neuf de reconnaissance de ces paysages et de leurs formes de répartition: texture, grain des différentes classes de paysage, dominance de certaines classes, formes de répartition géographique des différentes classes. La télédétection est particulièrement avantageuse dans ce cas pour la constance de niveau taxonomique de l'information qu'elle fournit. Cette constance est, en effet, beaucoup plus difficile à garantir par les moyens traditionnels. La dimension des taches élémentaires impose évidemment un niveau taxonomique qui commande une échelle donnée d'exploitation. Cet avantage peut être illustré par un exemple: la mesure de la longueur d'un littoral est fort difficile à effectuer correctement sur le terrain; où convient-il d'arrêter le détail du contour à prendre en compte pour la mesure? Doit-on comptabiliser les anfractuosités de la falaise, les circonvolutions des chenaux de marée, etc.? Le modèle le plus courant de mesure se fonde sur la carte, mais celle-ci est le résultat d'une généralisation qui varie inévitablement selon ses différentes parties, et plus encore, selon les différentes cartes. La détermination de la longueur de la côte échappe à de telles variations si l'on utilise un système de télédétection homogène présentant une résolution spatiale constante. Toute l'étude des paysages côtiers profite de cette homogénéité du travail d'analyse.

Ainsi, la télédétection offre un puissant moyen d'aide à l'aménagement du littoral. Ses perfectionnements sont rapides et son utilisation ne peut que se développer avec la nouvelle génération des satellites: Landsat 4 et 5 Spot 1 et 2.

BIBLIOGRAPHIE

Télédétection du Marais Poitevin et de ses marges, 1981, Paris, ENSJF, Coll. Ecole norm. sup. jeunes Filles, n°13, 311 p.

COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OCEANOGRAPHIE

Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule 3 : Télédétection, communications

Télédétection et cartographie des zones littorales

Remote sensing and cartography of littoral zone

Eric GUILLEMOT¹, Loïc MENANTEAU², Yves-François THOMAS³ et Jean-René VANNEY⁴

¹ U.A. C.N.R.S. 910 ET CASA DE VELASQUEZ, 28040 MADRID, ESPAGNE

² U.A. C.N.R.S. 910, 63, RUE TARTIFUME, 44150 ANCENIS

³ U.A. C.N.R.S. 910, LABORATOIRE DE GEOGRAPHIE DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE

1, RUE MAURICE ARNOUX, 92120 MONTROUGE

⁴ LABORATOIRE DE GEOLOGIE DYNAMIQUE, UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

4 PLACE JUSSIEU, 75230 CEDEX 05

RESUME

L'imagerie satellitaire, en raison même de sa vision synoptique, multispectrale et répétitive, a grandement contribué à la reconnaissance des ceintures intralittorales, en particulier pour ce qui concerne la circulation des eaux côtières. L'analyse des autres domaines littoraux dispose à présent de remarquables outils tels que les radiomètres Thematic Mapper (TM) des satellites Landsat et Haute Résolution Visible du satellite Spot prochainement lancé. L'objet de cet exposé est de souligner l'intérêt des données satellitaires dans la rédaction et la mise à jour des "cartes physiographiques" littorales, à partir de quelques exemples choisis sur les littoraux atlantiques de la France et de l'Espagne.

1. Cartographie statique et cinématique des formes littorales. - La résolution spatiale, la richesse spectrale, et la fréquence d'acquisition des satellites actuels d'observation de la Terre, rendent possibles l'étude et la cartographie des estrans, des zones humides littorales et des ensembles dunaires adjacents. L'utilisation des canaux de l'infrarouge proche permet de tracer les lignes instantanées de rivage et les niveaux d'inondation des marais maritimes. De la forme et du profil des estrans, on peut déduire le sens de leur évolution (bilan accrétion-érosion). On a également la capacité de distinguer les principaux types de sédiments et de végétations halophytes dans les vasières et les marais maritimes, et de tracer les réseaux majeurs de chenaux de marée, actuels ou fossiles. La même démarche conduit à distinguer les principaux éléments morphologiques (fronts de progression, dépressions interdunaires, contredunes, interdunes, etc.) des milieux sous influence éolienne. Même nivelés par le ruissellement, les anciens fronts dunaires sont reconnaissables par les différences des sols. Enfin, de bonnes résolution spatiale et haute périodicité d'analyse apportent de précieuses informations sur le bilan cinématique des estrans à évolution rapide comme les flèches, et sur les modifications entraînées par la construction d'ouvrages côtiers.

2. Les agents de la dynamique littorale. - L'utilisation des canaux dans le visible autorise la classification des eaux côtières selon leur turbidité. D'autre part, les images synoptiques prises à différents moments du cycle de marée et dans des conditions hydro-météorologiques diverses permettent de suivre la forme et la densité des panaches de particules en suspension. Ces données aident à cartographier plusieurs mouvements côtiers comme les dérives littorales et les courants de marée.

3. L'actualisation de la cartographie.- La cartographie conventionnelle est peu adaptée pour suivre les transformations que subissent les façades littorales soumises à de fortes contraintes économiques, touristiques et démographiques. Les données satellitaires (Thematic Mapper et, bientôt, Haute Résolution Visible du futur satellite français Spot) sont propres à : a) reconstituer les déplacements du trait de côte des cartes hydrographiques au 1/50.000 ; et b) mettre à jour les cartes physiographiques au 1/25.000 grâce à l'analyse fine de plusieurs "taxons" comme les infrastructures portuaires et côtières, les poldérisations industrielles et l'envahissement par les constructions littorales.

REMOTE SENSING AND CARTOGRAPHY OF LITTORAL ZONE

ABSTRACT

The Landsat (M.S.S.), Nimbus 7 (C.S.Z.C.) and J.C.M.M. satellite imagery, due to its synoptic, multispectral and repetitive vision has greatly contributed to an increased knowledge of infra littoral belts, especially as far as the flow of coastal waters is concerned. The analysis of other coastal domains now has a remarkable tool to hand : the Landsat 5 satellite equipped with a T.M. (Thematic Mapper) sensor. The aim of this paper is to stress the importance of satellite data in the making and up-dating of coastal maps, using a few specific examples from the Atlantic coasts of France and Andalousia.

1. Static and kinetic cartography of littoral formations.- Due to the spatial resolution (30 x 30 m), the spectral diversity and the frequency of acquisition (16 days) of the T.M., the study and the mapping of strands, humid littoral belts and the adjacent dune complexes is possible. The use of infra red channels allows one to trace water body delineation as well as the flood levels of tidal marshes. From the shape and profile of the strands we can deduce their evolution (assessment of accretion-erosion). We are also able to distinguish the main types of sediment and halophytic vegetation in the silt and tidal marshes and trace the main networks of tidal channels, whether present or abandoned. The same method leads us to distinguish the main morphological elements (steep faces, troughs, counterdunes, interdunes, etc.) where aeolian influence makes itself felt. Even when levelled by rain-wash the ancient steep face are recognisable by the soil differences. Finally, the geometric qualities and the frequency at which T.M. imagery is available contribute to our knowledge of Atlantic Andalousia by providing invaluable information on the kinetic balance of the rapidly evolving strands, such as sand bars and the changes brought about by the building of coastal defense works.

2. The agents of littoral dynamics.- The use of visible and infra red thermic channels of the C.S.Z.C. and T.M. enables us to classify coastal waters according to their turbidity and temperature. At the same time, the synoptic imagery, taken at different moments of the tidal cycle and in varying hydro-meteorological conditions allows us to follow the density of the plume particles in suspension. These data help in the mapping of different coastal movements such as longshore drift and tidal currents.

3. Up-dating cartography.- Conventional cartography is ill-suited to following the transformation which the littoral facade undergoes since it is subjected to strong economic, tourist and demographic pressure. The numerical data of the T.M. can be used to : a) reconstitute the shifting of the coastline in hydrographic coastal maps at 1/50.000 and b) up-date the physiographic maps at 1/25.000 thanks to detailed analysis of several "taxons", such as port and coastal infrastructure, "polders" for industrial purposes and the building up of coastal areas.

INTRODUCTION

La carte physiographique, telle que l'ont conçue J.R.VANNEY et L.MENANTEAU (14), se propose de représenter les phénomènes naturels, leurs relations génétiques et leurs relations dans un espace donné. Par essence synthétique, multidisciplinaire et dynamique, elle regroupe des informations sur les formes du terrain (nature et origine des reliefs, les types d'écoulements (eaux douces, saumâtres et marines), le couvert végétal (nature et densité) et l'impact de l'occupation des sols (agricole, industrielle, urbaine et touristique). Son but est de rendre cartographiquement intelligible une vaste gamme de données ordinairement dispersées. Elle s'adresse non seulement aux spécialistes des diverses disciplines concernées des sciences de la Terre (géologie, géomorphologie, climatologie et hydrologie) et de la Vie (essentiellement botanique), mais également aux responsables de l'aménagement des régions littorales aux paysages naturellement fragiles.

La carte physiographique représente quatre systèmes. Le **système sous-marin et côtier** donne la représentation à la fois des plages, barres pro-estuariennes, aires de transit et cuvettes de décantation, développées sous le niveau des plus basses mers et, d'autre part, des formes actuelles développées dans les embouchures (marais maritimes) et dans les sables cimentés (falaises) ou libres (plages, cordons littoraux, dunes). Les traces jalonnant les anciens rivages (falaises mortes, plages, cordons soulevés et deltas émergés) en font partie. Le **système éolien** à l'intérieur duquel sont distingués un sous-système récent, actif, ou fixé, formé de dunes vives en progression sur des cuvettes intermédiaires; et un sous-système interne, ancien, inerte, refaçoné par le ruissellement actuel. Le **système humide** qui occupe les régions basses et soumises à la submersion hivernale, ou périodique, par les eaux pluviales, fluviales ou estuariennes. Les éléments du paysage (cuvettes, levées, chenaux) sont distribués en fonction des réseaux hydrographiques actifs ou abandonnés (fluviatiles ou de marée) par migration naturelle des rives ou aménagement par l'homme. Enfin, le **système continental** qui regroupe les topographies périphériques modelées par les agents strictement subaériens.

Cette brève présentation des objectifs de la carte physiographique en dévoile l'ambition et laisse présager la difficulté de son élaboration. Aussi, est-ce naturellement que ses auteurs, déjà largement engagés dans l'emploi de la photographie aérienne, se sont tournés vers la télédétection spatiale pour mener à bien la mission qu'ils se sont fixée.

Les capteurs à haute résolution spatiale (Synthetic Aperture Radar de Seasat, Multi Spectral Scanner et Thematic Mapper des Landsat et Haute Résolution Visible de Spot) ont aidé à et/ou permettront de contribuer à l'établissement de la cartographie physiographique des zones maritimes.

L'emploi des données satellitaires nécessite leur rectification par le choix d'un référentiel géométrique, la mesure des déformations géométriques, la modélisation de ces dernières à l'aide de polynômes, et le rééchantillonnage des éléments d'image (5). Dès lors, ces dernières sont susceptibles de s'intégrer à des bases de données comprenant tant des photographies aériennes que des cartes (hypsométrie continentale et marine, géologie, sédimentologie,...) elles-mêmes numérisées. De telles bases permettent un emploi aisé de logiciels de cartographie assistée par ordinateur et ont pour conséquences, outre un gain de temps et une diminution des coûts, une plus grande fiabilité du produit final car uniquement fonction de la qualité des documents utilisés d'une part, et des outils de restitution utilisés, d'autre part (paramètres facilement évaluables).

On envisage ici l'apport des données satellitaires à l'établissement des cartes physiographiques dans les domaines marins infra, inter et supratidaux en abordant successivement l'étude des formes (géomorphologie statique et cinématique), et celle des agents et processus qui les modèlent (géomorphologie dynamique) (15).

A. CARTOGRAPHIE STATIQUE

1. Le domaine infratidal.

a) Un grand intérêt a été attaché à l'étude des lignes d'égale submersion.

Leur détection nécessite l'emploi d'une (ou de) bande(s) spectrale(s) (9) centrée(s) dans la partie du spectre visible où l'eau est la moins absorbante : bleu et vert. Les divers travaux menés sur ce thème (3) montrent :

- que l'on observe peu de variations significatives selon que l'on emploie des bandes spectrales étroites ou larges, à condition qu'elles soient correctement centrées par rapport au "point d'inversion" des courbes d'absorption (aux environs de 500 nanomètres) ;

- qu'en eaux claires, une bande verte (550 nm) est meilleure qu'une bande bleue (450 nm) pour des profondeurs inférieures à 20 m, mais qu'une bande verte est nettement plus performante au-delà de 30 m ;

- que l'erreur introduite par une incertitude sur la teneur en pigments chlorophylliens d'une eau est nettement plus importante à 450 nm qu'à 550 nm ;

- enfin, que l'erreur introduite par une incertitude sur la réflectance du fond est nettement plus importante à 450 nm qu'à 550 nm.

Bien que limitée aux eaux les plus claires et aux profondeurs inférieures à 20 m, des opérations de télébathymétrie passive peuvent être menées à bien. Elles

ont d'ores et déjà donné des résultats satisfaisants pour la cartographie bathymétrique détaillée de récifs coralliens peu profonds dans l'archipel des Gambiers en Polynésie française (8).

Si la faisabilité de la télébathymétrie est médiocre sur les littoraux alluviaux, l'analyse de l'imagerie - en termes relatifs - permet néanmoins la localisation de bancs et de barres.

b) L'étude des structures turbides.

C'est incontestablement le domaine où l'investigation a le plus progressé. De très nombreuses procédures d'étude du contenu des eaux océaniques en matière particulaire ont été proposées et testées avec succès en différents milieux. On sait que la réflectance diffuse d'une masse d'eau varie comme le tiers du rapport de son coefficient de rétrodiffusion à son coefficient d'absorption. Après correction radiométrique de l'imagerie, il est relativement simple de mettre en oeuvre des relations de type : teneur en matières en suspension = f (réflectance).

L'exploitation de chroniques d'images a permis :

- de calculer les variations du contenu en matière particulaire en tous les points de zones du littoral français, de l'Atlantique et de la Manche, pour des durées de l'ordre d'un an. Il a été possible ainsi de montrer les sites de localisation et les vitesses d'extension et de retrait de panaches turbides issus de grands estuaires : Gironde (11) et Seine (12) ;

- de calculer, avec utilisation conjointe de modèles numériques de terrain et de distribution verticale de la matière particulaire, les masses de matériaux en suspension par unité de surface "standing crop", voire d'estimer les ordres de grandeur des flux de particules (13) ;

- d'obtenir des vitesses de courant par analyse diachronique du déplacement de structures turbides (10).

2. Domaine intertidal.

a) L'hypsométrie des estrans et des wadden.

Le caractère synoptique de l'imagerie satellitaire permet l'acquisition instantanée de lignes de rivage sur de vastes domaines. Ces dernières permettent notamment, lors d'études diachroniques, la constitution de modèles hypsométriques d'un grand intérêt tant pour la connaissance que pour l'évolution temporelle de la "géométrie" des paysages.

La détermination des lignes de rivage instantanées peut généralement être menée à bien par l'emploi d'une bande spectrale située dans la partie proche infrarouge du spectre électromagnétique (i.e.), là où le contraste entre les réflectances des milieux continental et marin est maximum (7). Les lignes ainsi dressées demeurent affectées par les conditions locales de marée (ainsi, par exemple, une marée atteignant la cote +7,06 m NGF au mont Saint-Michel n'est cotée que +6,71 m NGF à Cancale, pourtant distant du premier site que de 25,5 km seulement); aussi convient-il de rectifier les altitudes correspondant à chaque point de la ligne de rivage. L'établissement d'un grand nombre de lignes de rivage pour des marées de coefficients différents, autorise, après interpolation, la réalisation de cartes hypsométriques des estrans (1).

De tels documents, difficiles à obtenir par les moyens conventionnels, présentent un intérêt incontestable pour l'aménagement des secteurs intertidaux logés dans de grandes baies consacrées souvent aux activités aquicoles. Il faut noter également que le levé de lignes de rivage instantanées a permis de préciser le positionnement d'îles encore mal cartographiées (6).

b) Les estrans rocheux et sableux.

Une meilleure connaissance de l'hypsométrie des espaces intertidaux facilite l'étude de la topographie des estrans. Ainsi l'imagerie satellitaire à haute résolution spatiale s'avère particulièrement utile pour cartographier certains milieux comme les platiers dont la connaissance par photographie aérienne n'est pas aisée. La bande 4 du Thematic Mapper (TM) permet de délimiter les contours de la partie exondée du platier, tandis que la bande 5 est plus appropriée pour préciser ses formes comme les arêtes ou les dépressions qui restent ennoyées partiellement, même à basse mer.

Si le capteur Multi Spectral Scanner (MSS) a déjà permis de mettre en évidence l'intérêt des données satellitaires pour définir les profils longitudinaux des estrans, TM et Haute Résolution Visible (HRV) étendent, non seulement cette possibilité aux littoraux à faible marnage, mais aussi à l'étude des profils transversaux. La largeur de la zone humectée lors de la haute mer précédente (reconnaissable dans les bandes 4 et 5 de TM et dans la bande 3 de HRV) offre de précieuses informations sur le profil de la plage. Très développée par rapport au haut estran, cette zone indique un profil concave. Au contraire, sa faible extension indique un profil plus proche de la convexité. Il devient ainsi possible de suivre l'évolution intersaisonnière des estrans, en particulier leur état après une période de tempête. Cependant, une grande prudence dans l'interprétation est nécessaire : l'humidité des sables exondés peut décroître très rapidement par fort vent, de même un vent de

terre peut transporter des sables secs du haut estran et des dunes bordières vers le bas de plage humide.

Comme pour les platiers rocheux, les données de l'infrarouge proche fournissent des renseignements sur plusieurs formes majeures des estrans, tels les sillons et les crêtes de plage qui se distinguent par leurs contrastes de réflectance élevés dans ces bandes. Ces repères géomorphologiques se révèlent très utiles pour définir le sens d'évolution d'une plage sans qu'il soit nécessaire de recourir à une étude diachronique.

La colonisation, ou non, du haut estran par la végétation, du moins sous les latitudes tempérées, est détectable par un indice de végétation fondé sur l'utilisation des bandes 3 et 4 de TM ou 2 et 3 de HRV. Cet élément constitue également un signe de l'évolution de la plage : un haut estran très étendu et dénudé traduit une tendance à l'accrétion qui ne laisse pas le temps à la végétation colonisatrice d'agir.

c) Les wadden.

L'étude des estrans vaseux est traditionnellement peu aisée à cause des difficultés d'accès et de la complexité des déplacements verticaux et horizontaux de la marée dont la photographie aérienne ne peut rendre compte. De tels travaux trouvent de précieux concours dans l'utilisation des données satellitaires. Ces dernières apportant une vision synoptique à un instant donné de la marée et une richesse spectrale capable de livrer une abondante information sur les différents stades d'humidité des vasières et les variétés des plantes halophiles des herbus (ou schorre). En premier lieu, les données de l'infrarouge proche mettent en évidence le dessin des chenaux majeurs; d'autre part, la distinction des divers niveaux de la vasière (ou slikke) opérée dans les bandes 4 et 5 de TM fournit une indication sur la densité du réseau hydrographique de ce milieu. Celle-ci est nettement plus grande sur les basses slikkes vaseuses, où abondent les petits chenaux et les dépressions, que sur les hautes slikkes où les vasières contiennent plus d'éléments grossiers. Cette reconnaissance des différents types de slikke à partir de la densité de leurs réseaux hydrographiques conduit à l'évaluation du profil transversal et de la pente de la vasière : le profil est concave lorsque la basse slikke est très développée par rapport à la haute slikke; convexe lorsque les termes sont inversés. D'autre part, ces différents types de slikke peuvent souligner des comportements distincts de perméabilité et fournir une information indirecte sur la nature des sédiments de surface. Enfin, la présence d'algues ou de zostères sur la vasière peut être détectée à partir des valeurs d'un indice de végétation sur les bandes spectrales précédemment citées.

L'étude des schorres est similaire en ce qui concerne le repérage du réseau hydrographique : chenaux majeurs et, éventuellement, mares et cuvettes hypersalines disséminées sur le bas-herbu. Une part primordiale à la classification du couvert d'halophytes peut être menée à partir des données dans l'infrarouge proche puisque l'étagement des espèces obéit principalement à des critères de fréquence d'inondation, ou encore par emploi d'un indice de brillance (bandes 3 et 4 de TM ou 2 et 3 de HRV).

On notera que la richesse spectrale de TM autorise une classification des paysages de l'herbu aussi satisfaisante que l'information délivrée par des missions aériennes en photographie panchromatique dont la résolution spatiale est pourtant nettement plus élevée.

3. Le domaine supratidal.

a) Les marais maritimes et les deltas.

Le "suivi" de l'inondation des marais fondé sur l'utilisation de bandes spectrales infrarouge proche, surtout dans les régions à saisons bien contrastées, est le principal apport de l'imagerie satellitaire. Il est alors possible d'établir des lignes d'égale inondation qui, par le biais d'une comparaison interannuelle, informent sur l'état hydrique des marais. D'autre part, ces contours d'inondation ainsi que les différents niveaux d'humidité des marais exondés contribuent à la connaissance de la topographie et de l'altimétrie souvent mal connues de ces milieux. Ceci nous amène à relever l'intérêt de la bande 5 de TM pour déceler les paléoformes des zones humides littorales, surtout celles qui ont été transformées et "bonifiées". En effet, certaines différences accusées dans les réponses spectrales dues aux contrastes d'humidité, de couvert végétal ou sédimentaire peuvent être interprétées comme des vestiges soit d'anciens cordons littoraux ou îlots, ou d'anciens étiers ou méandres fluviaux. De telles paléoformes ont été aisément identifiées dans les marais du Guadalquivir (14) et du Guadalete (Sud de l'Espagne).

b) Les dunes.

La résolution spatiale et la richesse spectrale des satellites actuels d'observation de la Terre rendent possibles l'étude et la cartographie des ensembles dunaires littoraux. L'utilisation des canaux de l'infrarouge proche permet de repérer les principales ceintures végétales et la densité de leur couverture. La même démarche conduit à distinguer les éléments morphologiques majeurs (fronts de progression, dépressions interdunaires, contredunes, interdunes, etc.). Même nivelés par le ruissellement, les anciens fronts dunaires sont encore reconnaissables par les

différences des sols. A titre d'exemple, l'image TM du 12 octobre 1984 met en valeur la géomorphologie et la distribution de la végétation de la section orientale d'un des plus grands massifs dunaires européens : le coto de Doñana dans la province de Huelva (Andalousie atlantique, Espagne) et, en particulier, les cordons littoraux anciens de la Marismilla (14). Le battement saisonnier de la nappe phréatique joue ici un rôle considérable dans la détection des anciennes formes dunaires.

B. CARTOGRAPHIE CINEMATIQUE

L'ensemble des taxons géomorphologiques repérés fournissent, après cartographie, un état instantané du littoral. La confrontation de cartes établies à deux ou plusieurs dates différentes autorise l'observation et la quantification de l'évolution de ces taxons. D'autre part, il peut être intéressant d'intégrer cette information dans une banque cartographique constituée à partir des documents traditionnels (photographies aériennes, cartes diverses, données de missions de terrain, entre autres). L'objet de ces études diachroniques concerne prioritairement :

- le déplacement des bancs sous-marins ;
- l'évolution du trait de côte : ce qui revient à déterminer les processus d'érosion et d'accrétion. Les capteurs à haute résolution spatiale, particulièrement adaptés à l'étude des flèches littorales, autorisent une quantification de la progression des pouliers et, éventuellement, le recul des musoirs dans le cas de flèches d'entrée d'estuaire ;
- les réseaux de chenaux des wadden, en particulier les coupures de méandres, l'érosion des rives concaves et l'accrétion des rives convexes, les paysages de haute slikke où peuvent se produire des reculs de la micro-falaise qui limite l'herbu ou, au contraire, la colonisation de la slikke par une végétation pionnière de spartines et de salicornes ;
- l'état hydrique des marais maritimes, en établissant une comparaison des contours d'inondation par rapport à ceux d'une année moyenne. Ce suivi est utile dans les régions de climat méditerranéen ou subaride lors des années de sécheresse accusée. La carte géomorphologique peut alors inventorier différentes lignes d'inondation ainsi que leurs dates d'observation ;
- les paysages dunaires, soumis à des processus de colonisation des dunes embryonnaires, au façonnement des caudeyres et de leurs formes associées produites par la reprise de la déflation et la progression du front des dunes vives.

C. CARTOGRAPHIE DES AGENTS DE LA DYNAMIQUE

1. Les actions marines.

a) Les houles.

Le bilan cinématique établi à partir des données de télédétection spatiale décrit sur l'ensemble du littoral concerné l'évolution géomorphologique avec un niveau d'approche constant. La recherche des causes des phénomènes concernés où l'explication dynamique peut, elle également, être menée à bien par observation satellite, notamment en ce qui concerne les houles, le processus majeur de l'évolution littorale. Les renseignements dont on dispose sur les houles près des côtes sont, en général, insuffisants. Leurs particularités locales doivent être déduits de caractères observés au large en des points relativement rares de mesures. Les données fournies par le système radar latéral à ouverture synthétique du satellite Seasat-1 ont montré la possibilité de restituer les directions et les longueurs d'onde de la houle à la côte, ceci par tous les temps. La détection est en particulier possible pendant les tempêtes, périodes de morphogenèse très active, mais inobservable par tout autre moyen d'investigation (14). A titre d'exemple, nous citerons le traitement des données Seasat-1 du 18 août 1978 qui donne une bonne image des déformations des houles dans le Pertuis Breton et permet, par la mesure de leur obliquité variable par rapport au rivage, d'explicitier les caractères du régime de cette côte sableuse (2).

b) Les courants de marée.

L'information sur les courants de marée est souvent fragmentaire voire inexistante, d'où l'intérêt de l'imagerie satellitaire pour estimer la direction et l'intensité de ces courants. Tournants ou linéaires, leur rôle géomorphologique est si flagrant, notamment dans les lagunes ou les baies fermées et frisonnes, que leur cartographie est pleinement justifiée. Les matières en suspension constituent d'excellents traceurs - bien que non conservatifs - de la circulation littorale puisque la dispersion des panaches turbides est affectée par ces courants périodiques (16). Elles autorisent donc une étude en terme de dynamique des courants de marée; leur distribution est détectée essentiellement dans les canaux 4 et 5 de MSS, 2 et 3 de TM ou 1 et 2 de HRV. La qualité de la description de ces courants dépend logiquement du nombre de situations de marées reflétées par l'imagerie disponible. Leur direction est soulignée par la forme même des panaches de turbidité et leur intensité exprimée par l'importance de leurs charges en matières en suspension qui proviennent, soit d'un émissaire fluvial, soit de fonds infralittoraux lorsque le courant dispose de l'énergie suffisante pour mobiliser leurs sédiments.

Le repérage de ces panaches aide à comprendre, non seulement la distribution et la hiérarchie des courants de marée, mais aussi l'évacuation des eaux de surface lors du jusant et les retards de la marée dans les chenaux des marais et wadden par rapport au site de référence.

2. Les actions fluviales.

La dégradation des bassins-versants fluviaux livre aux océans des matériaux de nature diverse dont le transport est effectué par roulement, saltation, suspension et solution. Bien que restreint aux matériaux en suspension dans les eaux de surface, l'emploi de la télédétection permet de suivre les transports sédimentaires à l'embouchure des grands fleuves, ainsi que dans les zones côtières (cf.ci-dessus). Elle permet de quantifier les ordres de grandeur du matériel en suspension disponible et, par le fait, apporte :

- une meilleure compréhension des mécanismes de sédimentation en fonction des conditions topographiques, pédologiques, climatologiques et hydrologiques des arrière-pays concernés (4) ;
- et des éléments explicatifs à la localisation des zones d'érosion et de colmatage.

3. L'impact anthropique.

Les littoraux, en particulier les côtes basses sableuses, sont des milieux caractérisés par une dynamique complexe et sensible à toute perturbation d'origine anthropique. Celle-ci se traduit par des conséquences parfois spectaculaires que la télédétection est à même d'observer et de mesurer dans la mesure où les phénomènes étudiés sont adaptés à la résolution spatiale du capteur. De telles ruptures d'équilibre peuvent être introduites par :

- des ouvrages d'art : digues, épis, installations portuaires, remblais d'extension industrielle ou urbaine, qui influent sur la morphologie des plages où existent d'importants transferts sédimentaires ou bien dans les goulets en cas de modification de leurs sections;
- l'extraction massive de sédiments des fonds infralittoraux qui modifie le profil des plages et provoque le trait du trait de côte;
- des ouvrages divers rectifiant le réseau hydrographique des marais et wadden lorsque le drainage naturel n'est pas reconstitué, ou visant à l'assèchement des marais et à leur mise en culture avec la mise en place de polders : les zones mal drainées sont détectables dans l'infrarouge ainsi que la modification du couvert végétal qui accompagne ce processus (variation de l'indice de végétation);
- la dégradation des systèmes dunaires, produite par le surpiétinement ou des aménagements inappropriés tels que parcs à automobiles, routes et lotissements

dans les régions balnéaires; autant de phénomènes qui se traduisent par la disparition de la végétation fixatrice et la reprise de la déflation.

CONCLUSIONS

L'imagerie satellitaire couvre aujourd'hui un créneau taxinomique allant de périodicités et d'extensions spatiales maximales de 10-3 an et 1 km (CZCS et AVHRR) à 10-1, voire 10-2, an et 10-2 km (TM et HRV). Elle autorise donc le suivi de l'évolution des formes littorales majeures dont les stades successifs correspondent à des durées de vie et des dimensions comprises entre 10+2 (mise en place d'un marais maritime) et 10-3 (profil transversal de plage) an et 10+3 (panache turbide) et 10-2 km (dune embryonnaire).

Ainsi, les données fournies par les satellites peuvent faciliter l'actualisation des documents cartographiques déjà réalisés et permettre la conception automatisée des futures cartes physiographiques.

1. L'actualisation de la cartographie.

Du fait même de son inertie (durée de réalisation d'une carte, coût de conception et d'impression), la cartographie conventionnelle est peu adaptée au suivi des transformations subies par les façades littorales sur lesquelles pèsent de fortes contraintes économiques, touristiques et démographiques. Les données satellitaires (TM et HRV notamment) sont propres à reconstituer les déplacements du trait de côte des cartes hydrographiques au 1/50.000 et à mettre à jour les cartes physiographiques au 1/25.000 grâce à l'analyse fine de plusieurs "taxons" comme les infrastructures portuaires et côtières, les poldérisations industrielles et l'envahissement par les constructions littorales.

2. L'élaboration de nouvelles cartes physiographiques.

La rapide évolution des outils infographiques et leur diffusion sans cesse croissante, et à des coûts réduits, conduit à infléchir la réalisation des cartes physiographiques dans le sens d'une plus grande automatisation. Semblable orientation est fondée sur l'utilisation conjointe d'un modèle numérique de terrain (bathymétrie et topographie), d'une banque de données de terrain numérisées (géologie) et d'un appel à l'imagerie satellitaire (géomorphologie). Par ailleurs, la divulgation du (ou des) document(s) est appelée à bénéficier d'une plus grande souplesse tant en ce qui concerne son état (les corrections et les mises à jour étant simplifiées) que son support (visualisation sur écran, impression totale ou partielle sur film ou papier).

La première étape est d'ores et déjà entrée dans la pratique. Actuellement, la mise à jour du trait de côte est le plus souvent obtenue par emploi de l'imagerie satellitaire. Un levé automatisé de cartes physiographiques est programmé pour 1986-1987 sur le site du golfe de Huelva (Andalousie atlantique, Espagne) en application du Programme d'Evaluation Préliminaire Spot.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) CUQ (F.), 1984. Constitution d'un modèle hypsométrique par analyse diachronique de trois simulations Spot. Paris, 18ème Symposium International de Télédétection de l'Environnement, 1-5 octobre 1984 (à paraître).
- (2) CUQ (F.), MADEC (V.), THOMAS (Y.F.) et ZBINDEN (R.), 1982. L'apport des données SEASAT à l'évolution du littoral du Pertuis Breton. Actes du Symposium International de la Commission VII de la Société Internationale de Photogramétrie et de Télédétection, Toulouse, 13-17 septembre 1982. In : Archives of ISPRS, vol.24-VII/1, p.61-70.
- (3) DESCAMPS (P.Y.) et PODAIRE (A.), 1984. Etude de sensibilité simplifiée pour applications bathymétriques. Toulouse, Centre National d'Etudes Spatiales, 9 p.
- (4) FOURNIER (F.), 1960. Climat et érosion. Paris, Presses Universitaires de France, 1960, 201 p.
- (5) FRALIT (Equipe), 1981. Télédétection du marais poitevin et de ses marges. Paris, Collection de l'Ecole Normale Supérieure de Jeunes Filles, 1981, n°13, 311 p., fasc.de cartes.
- (6) GRENON (A.), 1985. Intégration de la télédétection et de la cartographie numérique. Chicoutimi, 5ème Congrès de l'Association Québécoise de Télédétection, 22-24 mai 1985 (à paraître).
- (7) PESTRE (C.) et VERGER (F.), 1980. Géomorphologie de la baie du Mont Saint-Michel par télédétection des lignes de rivage instantanées. Paris, Annales des Mines, avril-mai 1980, p.175-181.
- (8) PIRAZZOLI (P.), 1984. Cartographie des hauts-fonds par télédétection dans l'archipel des Gambiers (Polynésie française). Paris, L'Espace Géographique, 1984, n°3, p.277-284 et 304.
- (9) POLCYN (F.C.) et LYZENGA (D.R.), 1975. Nearshore coastal mapping. Houston, National Aeronautics and Space Administration, Earth Resources Survey Symposium, vol.I-C, p.2075-2086.
- (10) BERNAL RISTORI (E.) et THOMAS (Y.-F.), 1985. Etude de la qualité des eaux de surface du Golfe de Cadix et de la Mer d'Alboran. Chicoutimi, 5ème Congrès de l'Association Québécoise de Télédétection, 22-24 mai 1985 (à paraître).
- (11) THOMAS (Y.-F.), 1981. Mouvements et charges turbides des eaux au large de la Gironde d'après les données Landsat. Paris, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 1981, Série II, tome 293, p.917-920.
- (12) THOMAS (Y.-F.), 1984. Télédétection des structures turbides en Manche. Paris, L'Espace Géographique, 1984, n°3, p.273-276 et 291-294.
- (13) THOMAS (Y.-F.), 1985. Apport de la télédétection à l'étude des structures turbides : la Manche. Chicoutimi, 5ème Congrès de l'Association Québécoise de Télédétection, 22-24 mai 1985 (à paraître).

- (14) VANNEY (J.R.) et MENANTEAU (L.), 1985. Cartografía fisiográfica del litoral atlántico andaluz. F.02 : Punta Umbría-Matalascañas, F.03 : Matalascañas-Chipiona. Ed. Casa de Velázquez et Junta de Andalucía (Consejería de Política Territorial et Agencia de Medio Ambiente) : 2 cartes au 1/50.000 + mém.trilingue.
- (15) VERGER (F.), 1983. Un exemple d'utilisation de la télédétection satellitaire pour la connaissance de l'environnement littoral. In : "Images de l'Environnement". Paris, Le Courrier du CNRS, 1983, Supplément au n°52, p.52-55.
- (16) VERGER (F.), AUPHAN (E.) et MONIOT (C.), 1972. La carte géomorphologique conçue comme un modèle dynamique. Paris, Mémoires et Documents du Centre National de la Recherche Scientifique, 1971, n°12, p.223-263.
- (17) ZBINDEN (R.), 1985. Sédimentation et télédétection. In : "Projet de document scientifique ROMEO". Paris, Centre National d'Etudes Spatiales, 1985, p.82-89.

COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OCEANOGRAPHIE

Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule 3 : Télédétection, communications

Télédétection et phytobenthos :
Stratégie pour l'obtention d'informations, par télédétection,
sur le phytobenthos marin

*Remote sensing and phytobenthos :
A strategy for the use of remote sensing for seaweed management*

Thomas BELSHER

ANTENNE INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER. STATION BIOLOGIQUE,
29211 ROSCOFF, FRANCE

Résumé :

Les végétaux marins du Phytobenthos jouent un rôle fondamental dans l'équilibre des écosystèmes littoraux. Ils sont au premier plan pour l'oxygénation du milieu, la constitution d'abris et de frayères pour la faune, le contrôle des flux sédimentaires, la modification de l'hydrodynamisme.

Les macrophytes marins peuvent également constituer de précieux bio-indicateurs et être des éléments de décision pour les services sanitaires, les aménageurs, les aquaculteurs. Enfin, de par le monde, les végétaux marins sont exploités et les produits obtenus largement utilisés dans le domaine industriel et l'alimentation humaine.

Tous ces éléments militent en faveur d'une acquisition rapide et exhaustive de données afin de résoudre les problèmes d'estimation de stock posés par les fluctuations de cette ressource renouvelable.

La télédétection, au sens le plus large, apparaît comme un outil privilégié afin :

d'évaluer les stocks disponibles et les incidences de l'exploitation,
d'établir la cartographie qualitative et quantitative de secteurs en cours d'exploitation ou dont l'exploitation est projetée,
cerner les fluctuations naturelles, l'expansion ou la régression d'espèces afin de dégager les effets exacts d'une pollution éventuelle et son degré de responsabilité.

La stratégie développée et les résultats obtenus sont présentés et commentés.

Abstract :

For a few years, much effort has been spent in obtaining information regarding the evolution of seaweed beds. The conventional method (diving) is rapidly becoming obsolete ; therefore some research is underway to obtain information using remote sensing techniques.

1. INTRODUCTION

Les végétaux marins du Phytobenthos jouent un rôle fondamental dans l'équilibre des écosystèmes littoraux. Ils sont au premier plan pour l'oxygénation du milieu, la constitution d'abris et de frayères pour la faune, le contrôle des flux sédimentaires, la modification de l'hydrodynamisme. Les macrophytes marins peuvent également constituer de précieux bio-indicateurs et être des éléments de décision pour les services sanitaires, les aménageurs, les aquaculteurs. Enfin, de par le monde, les végétaux marins sont exploités et les produits obtenus largement utilisés dans le domaine industriel et l'alimentation humaine.

Tous ces éléments militent en faveur d'une acquisition rapide et exhaustive de données afin de résoudre les problèmes d'estimation de stock posés par les fluctuations de cette ressource renouvelable.

2. MATERIEL ET METHODES

La télédétection satellitaire à haute résolution, du type de celle que fournira le satellite SPOT, apparaît, au travers des études de simulation, bien adaptée à la perception des grandes entités végétales. Cependant, la validation optimale de l'imagerie passe par toute une série d'acquisition intermédiaires et la résolution de problèmes d'échantillonnage.

2.1. Acquisition de données biologiques de terrain

2.1.1. Délimitation de secteurs de référence

Cette option fondamentale est prise de façon à offrir le maximum de possibilité d'extrapolation de l'interprétation effectuée.

2.1.2. Aires minimales qualitative et quantitative de prélèvement

Dans chaque peuplement visé, une aire minimale qualitative et quantitative est calculée afin d'acquérir le plus rapidement possible, de manière homogène, le maximum d'informations (nombre d'espèces, diversité spécifique, coefficient de reproduction, biomasse, ... (Boudouresque et Belsher, 1979 ; Nedelec, 1979).

2.1.3. Problèmes particuliers liés au domaine sublittoral

Les techniques de reconnaissance telles que la plongée et la photographie ponctuelle s'avèrent, seules, insuffisantes sur des secteurs de grande étendue. Elles doivent être complémentaires d'un système d'acquisition rapide par photographie automatisée et vidéo sous-marine remorquées (Chardy, Guenegan, Branellec, 1980 ; Belsher, 1981). Certaines formations végétales se prêtent bien à l'utilisation du sonar latéral (Meinesz, Cuvelier, et Laurent, 1982).

2.2. Catalogue de signatures spectrales

La constitution d'un catalogue de signatures spectrales concernant autant les principales formations végétales que les autres éléments biologiques ou non, de l'écosystème littoral côtier s'avère indispensable. Il permet d'établir les algorithmes de traitement d'images satellitaires à haute résolution, de définir les configurations optimales des futurs capteurs (Viollier *et al.*, 1985) et également d'opérer une sélection des filtres à utiliser lors de campagnes complémentaires de photographie aérienne. (Lefèvre, Valério et Meinesz, 1984). Trois instruments sont actuellement mis en oeuvre : prototype HRS, CNES, développé par Vermande, radiomètre de simulation SPOT (CIMEL) et radiomètre Immergeable EOS. De manière générale, le programme d'acquisition de signatures spectrales vise à une interprétation de l'imagerie basée sur des modèles physiques. (Viollier *et al.*, 1985).

2.3. Campagnes photographiques aériennes complémentaires

En l'état actuel des techniques, les couvertures photographiques aériennes à basse altitude restent irremplaçables, en raison de leur haute définition. Que ce soit pour l'obtention d'informations sur les peuplements végétaux émergés ou immergés, un certain nombre de règles doivent être respectées. Les plus drastiques sont :

- prises de vue à la verticale avec recouvrement des photos de 40 à 60 % suivant les axes de vol ;
- en zone intertidale notamment, un balisage permet d'assurer le calcul de l'échelle ainsi que la correspondance absolue entre la balise et le peuplement dans lequel elle est disposée.
- utilisation simultanée d'émulsions complémentaires (couleur et proche infra rouge en zone émergée, couleur, noir et blanc en domaine immergé). La suite logique est de procéder à une numérisation des données afin de les rendre plus aisément manipulables par un logiciel de traitement d'images. Par ailleurs, l'acquisition d'informations par spectroradiométrie à diverses altitudes permet d'apprécier les déformations dues à la couche atmosphérique et d'apporter les corrections nécessaires.

2.4. Traitement des données

Un logiciel d'analyse et de traitement numérique d'image (GIPSY, Belbeoch, 1982) et une méthodologie (SOLE, Loubersac et Belbeoch, 1983) ont été développés au Centre IFREMER de Brest. Ils permettent tout type de manipulations d'images.

Une composition colorée est créée à partir des images brutes des canaux XS1, XS2, et XS3 (mode multispectral de résolution 20 m) de la simulation SPOT.

La terre est ensuite éliminée par seuillage à l'aide du canal XS3 (l'eau absorbant le proche infra-rouge, l'histogramme de l'image XS3 présente 2 modes dont l'un correspond au domaine terrestre. L'image obtenue est mixée avec le canal XS4 (mode panchromatique de résolution 10 m) et rehaussée par égalisation des histogrammes correspondants.

Pour l'extraction de l'information végétale émergée après l'élimination de l'eau et des secteurs intertidaux sans végétation, l'indice de végétation $Iv = \frac{XS3 - XS2}{XS3 + XS2}$

est appliqué.

Enfin, une analyse en composantes principales des pixels contenant l'information végétale est effectuée. En ce qui concerne l'information végétale immergée, après élimination de la terre, un processus similaire excluant pour l'instant, l'indice de végétation classique est appliqué aux pixels du domaine aquatique.

3. RESULTATS

3.1. L'exploitation de la simulation SPOT 1982 sur les secteurs intertidaux du Cotentin Ouest et de Roscoff (Belsher et Viollier, 1984) permet clairement de différencier, en fonction de leur spécificité et de leur densité, les principaux peuplements végétaux. Certaines ambiguïtés sont levées grâce aux connaissances sur la répartition écologique des algues dans la zone de balancement des marées.

Ainsi, les peuplements à Fucus vesiculosus, Fucus serratus, Ascophyllum nodosum, Ulva et Enteromorpha, Sargassum muticum, Laminariacées (Laminaria digitata et Laminaria saccharina) sont, en particulier, clairement discriminés les uns par rapport aux autres. La limite supérieure des herbiers constitués par la phanérogame marine Zostera marina apparaît nettement.

3.2. Le traitement des images du secteur marin de Santa Giulia (Côtes orientales de Corse), issues de la simulation SPOT 1980, permet une première interprétation de l'occupation des fonds jusqu'à une profondeur de - 15 m (Belsher, Meinesz et Viollier, 1985).

Les principales formations végétales, constituées par des herbiers et phanérogames, notamment Posidonia oceanica et des algues photophiles sur substrat rocheux, peuvent être distinguées des faciès sableux dépourvus de végétation. La dégradation de la signature spectrale du sable en fonction de la profondeur permet de constituer la carte bathymétrique précise des petits fonds.

4. CONCLUSION

La télédétection des peuplements végétaux marins du Phytobenthos apparaît dans certaines limites, notamment bathymétriques, comme un outil privilégié pour :

- cartographier les espèces exploitées et celles dont l'exploitation est projetée ;
- évaluer les stocks disponibles et les incidences de l'exploitation afin d'assurer une meilleure gestion ;
- cerner les fluctuations naturelles, l'expansion ou la régression d'espèces, afin de dégager les effets exacts d'une pollution éventuelle et son degré de responsabilité.

Afin d'obtenir les résultats optimaux, une stratégie d'acquisition "step by step" doit être développée. Celle-ci inclut, dans une démarche progressive, l'obtention d'une vérité de terrain exhaustive, tant biologique que spectroradiométrique, acquise sur secteurs de référence.

Elle met en oeuvre plongées, photographie sous-marine automatisée, sonar latéral.

Elle assure la photo interprétation qui, elle même, permet la validation d'images spatiales, pouvant être d'origines et de résolutions diverses.

L'intégration successive de données d'origines multiples, apparemment hétérogènes, par une équipe pluridisciplinaire, conduit ainsi à la résolution du difficile problème que constitue l'appréciation d'une ressource renouvelable appartenant au domaine marin.

BIBLIOGRAPHIE

BELBEOCH, G. - 1982 - GIPSY : logiciel général de traitement d'images numériques. Rapport CNEXO (SEO), Brest, 250 p.

BELSHER, T., 1982 - Télédétection et cartographie du Phytobenthos intertidal. Penn ar Bed, 108/109, 65-73.

BELSHER, T., LOUBERSAC, L. et BELBEOCH, G., 1983. Télédétection et variation du Phytobenthos intertidal. Oceanologica acta, n° Sp, 11-14.

BELSHER, T., LOUBERSAC, L. et BELBEOCH, G., 1983 - Remote sensing and mapping. Phycological handbook (4) : ecological field methods, macroalgae (sous presse).

BELSHER, T., MEINESZ, A. et VIOLLIER, M., 1985 - Etude thématique des simulations SPOT 1980 et 1982 : les peuplements végétaux immergés. 5ème Congrès de l'Association Québécoise de Télédétection. Univers. Québec, Chicoutimi (sous presse).

BELSHER, T. et VIOLLIER, M., 1984 - Thematic study of 1982 Spot Simulation of Roscoff and the West coast of the Cotentin peninsula (France). 18 th ERIM, Paris (France) (sous presse).

CHARDY, P., GUENNEGAN, Y. et BRANELLEC, J., 1980 - Photographie sous-marine et analyse des peuplements benthiques. Essais en Rade de Brest. CNEXO, Rapports scientifiques et techniques, 41, 32 p.

LEFEVRE, J.R., VALERIO, C. et MEINESZ A., 1984 - Optimisation de la technique de la photographie aérienne pour la cartographie des herbiers à Posidonies. 1st Workshop on Posidonia Beds, Porquerolles - France (sous presse).

LOUBERSAC, L. and BELBEOCH, G., 1983 - Spot imagery simulation : coastal studies, Spot image and GDTA Editions, Sheet O.C.

MEINESZ, CUVELIER, LAURENT, 1982 - Méthodes récentes de cartographie des herbiers de phanérogames marines appliquées sur les côtes françaises de la Méditerranée, Vie et Milieu, 3 (1).

COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OCEANOGRAPHIE

Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule 3 : Télédétection, communications

Emploi de la télédétection pour l'étude de la qualité des eaux
du Lac Biwa

Lake Biwa water quality by remote sensing

Haruto OKAMOTO

PASCO CORPORATION, 13-5, 2-CHOME, HIGASHIYAMA, MEGURO-KU, TOKYO 153, JAPAN

Résumé :

L'industrialisation rapide du Japon durant les dernières années a été la cause de nombreux cas de pollution des eaux côtières et des lacs. Afin de prendre des mesures efficaces contre ces pollutions il est nécessaire de connaître les conditions naturelles existantes. Dans le passé, les recherches et enquêtes détaillées pour l'action contre la pollution nécessitaient beaucoup de temps et d'argent. C'était entre autres le cas du plus grand lac du Japon : le lac BIWA. Les progrès rapides des techniques de télédétection ont ouvert de nouvelles possibilités pour une méthode globale utilisant les données obtenues par satellite.

L'étude présentée ici est un exemple d'application de cette méthode. Le but est l'analyse de la qualité des eaux du lac Biwa. A l'aide des informations disponibles, telles les données MSS, TS, MSS aériennes, les observations sur le terrain et les données de qualité de l'eau (enregistrées sur plus de 10 ans), plusieurs thèmes ont été étudiés, tels les caractéristiques naturelles, les variations en fonction des saisons, de l'altitude. Par ailleurs les différences des données au même moment entre les observations sur le terrain et le point fixe de contrôle, ainsi que les différences entre les valeurs "high gain" et "low gain" des données MSS et TM ont été analysées. Finalement, des représentations de la qualité des eaux (transparence, solides en suspension, chlorophylle-a) ont été produites par régressions linéaires multiples utilisant les données d'observation à dates fixes.

Jusqu'à maintenant la qualité des eaux de la région a pu être analysée à partir des données de télédétection par des représentations en deux dimensions.

Abstract :

The recent rapid industrialization has caused many kinds of pollution in the several coastal area and inland lakes in Japan. Before taking effective counter measures against such pollutions, it is, first of all, required to grasp the existing natural conditions. In the past, however, the detail research and survey were executed against the pollution. They needed plenty of time and cost. Nowadays the rapid technical progress of the remote sensing field opened the new technical approach from the groval point of view using satellite data, which has much merits in comparison with the usual conventional methods.

Here, one example of the applications of this new approach is introduced. The target of the research and survey is to analyse the water of Lake Biwa, the largest lake in Japan. Using the available data such as Landsat MSS data, TM data, aerial MSS date, site observation data and water research data (more than ten years), several themes such as natural characteristics, seasonal changes and altitudinal changes were studied, besides the difference in the presumed values of water between site observation synchronized data and fixed point observation data, and the difference between High Gain and Low Gain of MSS data and TM data were analysed. Finally, presumed water quality imagery (transparency, Suspended Solid, chlorophyll-a) were produced by the Analysis of multiple linear regression, using periodical fixed observation data.

Sofar the water in the area could be analysed in the two-dimensional level by the remote sensing data.

岡 本 晴 人

株式会社パスコ：東京都目黒区東山2-13-5

日本の湖については、今まで多くの学者によって種々な調査が行なわれてきたが、マクロ的に瞬時に、広範囲のデータ入手し調査を行なう方法は、まだ始まったばかりである。本調査は、日本最大の湖である琵琶湖を対象に、リモート・センシング手法を用いてマクロ的な水質の把握を試みたものである。

1. 調査方法

定期的に観測しているランドサットデータを有効利用し、面的な水質把握の手法を開発するため、MSSは3時期(夏、秋、冬)、TMは1時期(秋)のデータを使用した。

このうち、夏は同時に航空機MSSによる調査、気象観測、採水による水質調査、スペクトルメータによる水の反射スペクトルの測定、放射温度計による水の表面温度の測定を行ない、ランドサットデータと対比させ、有効な使用方法を考える。

1) 使用データ諸元

(1) ランドサット

① データ収集日

回 数	センサー	年 月 日	Raw	Path
1	MSS	1983年 8月 4日	1 0 9	3 5, 3 6
2	MSS	1983年11月15日	1 1 0	3 5, 3 6
3	MSS	1983年 3月 1日	1 1 8	3 5, 3 6
4	T M	1984年10月 1日	1 0 9	3 6

※ 1回目はHigh Gain モードで収集

② データ形式

サンプリング方法 ニアレストネイバー
幾何学補正モード バルク補正
地図投影法 UTM

③ 収集波長域、解像力

バンド名	MSS (μm)	解像力(m)	TM (μm)	解像力(m)
1			0.45~0.52	30
2			0.52~0.60	30
3			0.63~0.69	30
4	0.5~0.6	79	0.76~0.90	30
5	0.6~0.7	79	1.55~1.75	30
6	0.7~0.8	79	10.4~12.5	120
7	0.8~1.1	79	2.08~2.35	30

(2) 航空機MSS

① データ収集日

1983年 8月 4日 8時35分~10時23分

② データ収集高度、解像力

1000m 2.5m

4000m 10.0m

③ 使用器材

米国ペンディックス社製 デジタル記録方式マルチスペクトルスキャナー:
M²S (Modular Multiband Scanner)

④ 収集波長域

バンド名	波長域 (μm)	バンド名	波長域 (μm)
1	0.38~0.44	7	0.66~0.70
2	0.44~0.49	8	0.70~0.74
3	0.49~0.54	9	0.77~0.86
4	0.54~0.58	10	0.97~1.06
5	0.58~0.62	11	8.0~13.5
6	0.62~0.66		

2) 現地調査

1983年8月4日のランドサット及び航空機MSSに同期して、湖上観測ポイント(図-1)で気象観測、水質調査、湖面分光反射率の測定を行なった。

(1) 気象観測

各ポイントで以下の使用器材を用い、気温、湿球温度、風向、風速の測定を行なった。

気温、湿度 : アスマン温湿度計

風向、風速 : ビラム型風向、風速計

(2) 水質調査

調査項目は、水温、透明度、SS、クロロフィルa、COD、BOD、T-N、T-P、PHの9項目とした。

(3) 湖面分光反射率測定

湖面から、より細かい波長域の反射率を測定し、最も水質に対応する波長域を調べることを目的とし、水質調査ポイントについてポータブルフォトメータで測定した。測定方法は、対象物と標準白色板を交互に測定し、以下の計算で反射率を求めた。

$$R = \log(A/B) \times 100 (\%)$$

R:反射率 A:対象物測定値

B:標準白色板測定値

3) 既存水質データの収集整理

県より借用した資料から、水温、透明度、PH、BOD、COD、SS、T-N、T-P、クロロフィルaのデータを抜き出し、MTに収納する。データは1971年4月から1983年11月まで及び1984年10月のものとする。この時の調査ポイントは図-2に示す。

2. 解析

1) 現地観測データによる水質推定

30ポイントの同期観測データを使用し以下の相関を求めた。

(1) 水質内部相関

水質の中には、太陽からの反射光量に影響を及ぼすと思われる

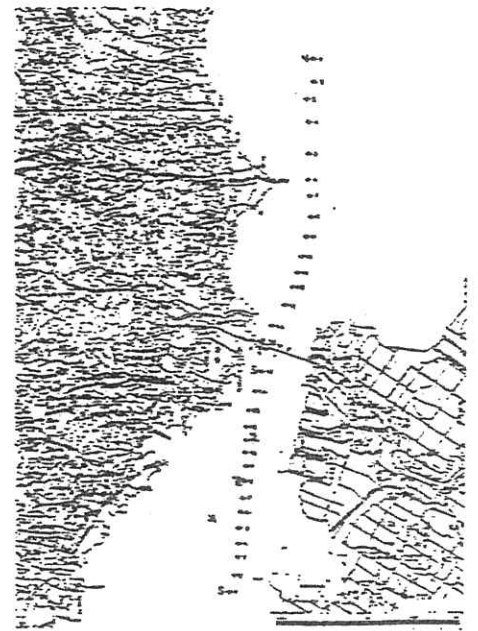


図-1 湖上観測位置図

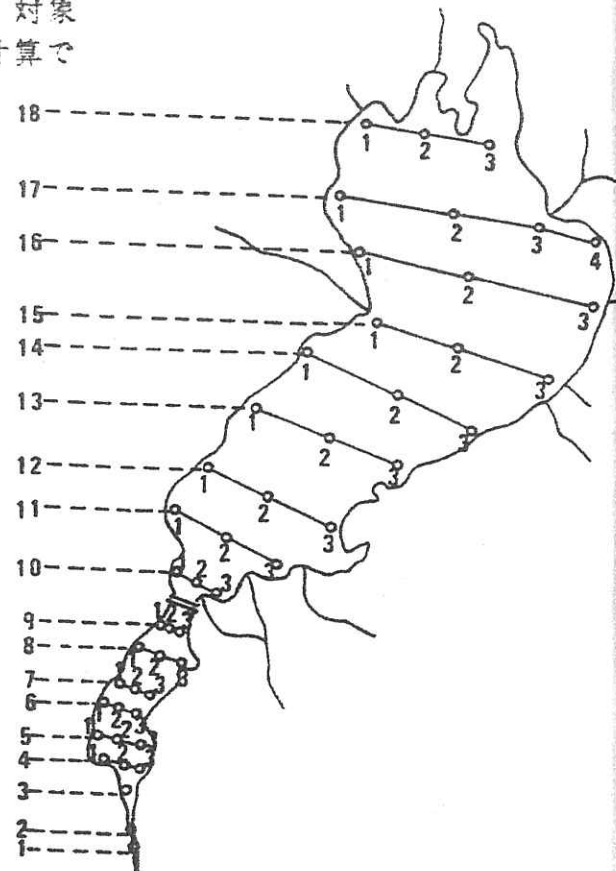


図-2 定点観測位置図

る粒子状のものと、影響のない溶存物質があり、水質内部の相関をとることにより、透明度、SS、クロロフィルaによって、PH、水温、T-P、T-N、COD、BODが説明できるか調べるものである。

結果として、CODがクロロフィルa、SS、T-Pがクロロフィルa、SSと相関が高く、その他の水質は分散が大きかった。

(2) 反射スペクトルデータと水質の単相関

各水質が、どの波長域と関係が深いかわかるため、スペクトルメータのデータと同時に測定した各水質の相関を計算した。

結果としては、図-3の通りである。

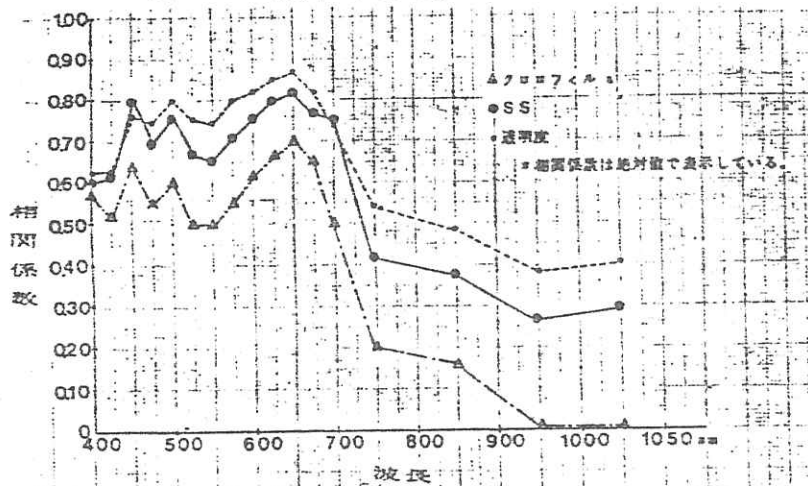


図-3

① 透明度

450nm, 500nmから700nmで高い負の相関を示す。

② SS

450nm, 625nmから650nmで高い相関を示す。

③ クロロフィルa

700nmで高い相関を示す。

(3) ランドサットデータと水質の単相関

(2)で細かい波長域毎との相関を調べたのであるが、ランドサットMSSの波長域は、これに比べて広く、かつ厚い大気を通して観測している。こうした条件でのランドサットMSSデータで水質を説明できるかどうかの検証のため各バンドと水質の単相関を求めた。

結果として、バンド6、バンド7の近赤外の波長域は殆んど水に吸収され反射量もバンド4、バンド5に比べ約1/7となり、水質に対するランドサットデータもランダムに変動し、水質を説明できないと考えられる。バンド4、バンド5と透明度、SS、クロロフィルaはそれぞれ相関があり水質の説明に使用可能と考えられる。

(4) 航空機MSSデータと水質の単相関

ランドサットと同じデータ収集方式で収集した低高度(1000m4000m)かつ高解像度(2.5m, 10m)のデータと水質の関係を調べ、高度すなわち大気の影響および解像力の違いによるデータへの影響を調べた。

結果としては以下の通りであった。

① 透明度

バンド4、バンド6で高い相関があり、高度が増すにつれ、相関係数が少し悪くなっている。

② SS

バンド4、バンド6で高い相関を示し、高度差による変化は殆んどない。

③ クロロフィルa

バンド4,バンド6で高い相関を示し、高度が高い方が相関が良くなっている。以上のようにバンド4,バンド6の波長域と透明度、SS、クロロフィルaの関係が深いことがわかった。また今回の調査では、高度差及び解像力の違いによる影響よりは、調査ポイントの画像上の読み取り位置精度及び太陽高度の影響が大きかったと考えられる。

3) 定点観測データによる水質内部相関

過去12年間に行なった水質調査データを統計的に調べ透明度、SS、クロロフィルaと他の水質の関係を調べた。データ数は、水質9項目を全て満足するポイントだけを選択したため各々2568個となった。このデータを使用し図-4のフローで相関を求めた。

(1) 全データによる水質の内部相関

透明度は他の水質と相関が悪くSSとT-Pが相関係数0.707、クロロフィルaとDOCが0.629、クロロフィルaとBODが0.606であった。

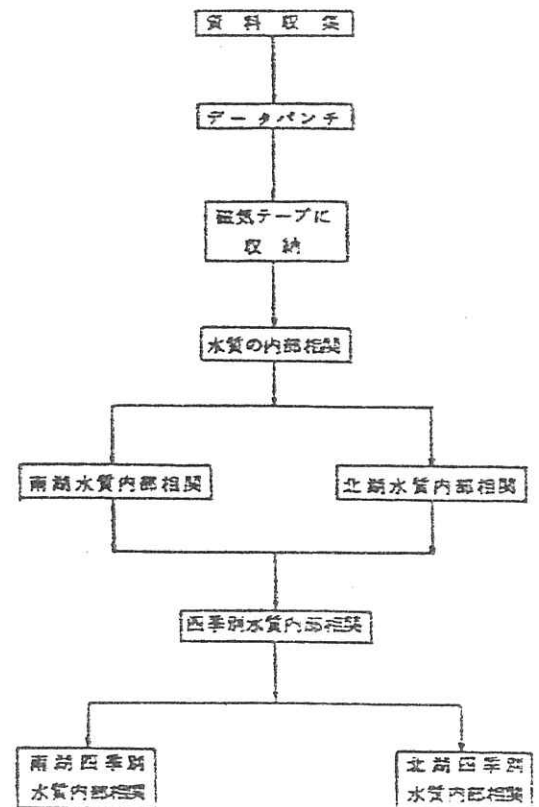
(2) 南湖及び北湖における季節別水質の内部相関

季節変化に加え、水質測定値の大きく異なる琵琶湖の南湖と北湖を分離して考え、それぞれについて内部相関を求めた。

その結果、高い相関を示したのは以下の通りである。

		透明度	SS	クロロフィルa			
南湖	春 季			COD		BOD	
	相関係数			0.646		0.762	
	夏 季		T-N T-P	COD		BOD T-N T-P	
	相関係数		0.631 0.654	0.566 0.604		0.674 0.568	
	秋 季	T-P	T-P	COD			
	相関係数	-0.545	0.778	0.561			
	冬 季		T-P				
	相関係数		0.539				
北湖	春 季	T-P	T-P	COD		BOD	
	相関係数	-0.577	0.736	0.583		0.541	
	夏 季	T-P	T-N T-P				
	相関係数	-0.518	0.526 0.613				
	秋 季	BOD T-P	T-P	COD			
	相関係数	0.512 -0.535	0.521	0.502			
	冬 季	T-P	T-P				
	相関係数	-0.567	0.820				

以上のように、透明度、SS、クロロフィルaは、ランドサットデータから推定できると考えられ、それ以外の水質としては、T-PがSSで、またCODが季節のよってはクロロフィルaで説明できると考えられる。



既存水質データの内部相関フロー

図-4

4) 琵琶湖水質回帰式の算出

ある変数Y(目的変数:ここでは水質)を最も良く推定または予測するために、Yと関係のありそうな1組の変数 $X_1, X_2, \dots, X_p$ (説明変数:ここではランドサットデータ及び航空機M²Sデータ)の線形結合

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_p X_p$$

を求め、 $\hat{Y}$ でもってYを推定する重回帰分析を行なう。

(1) 現地観測データによる水質回帰式の算出

ランドサットに同期して測定した30ポイントの水質調査データを使用し、ランドサットデータ及び航空機M²Sデータより水質の推定を行なう。

目的変数としては、透明度、SS、クロロフィルa、説明変数として、ランドサットはバンド4, 5, 6, 7, バンド4/バンド7, バンド5/バンド7, バンド4/バンド5とし、航空機M²Sは、バンド4, 6, 7, 8, 10, 11とした。

ここで説明変数に、相関の低い近赤外域も使用しているのは、大気の影響をうけやすい波長域を使うことにより、大気の影響を除去する因子として利用できることを考えたためである。またM²SについてはランドサットMSSの波長域に対応したものを選び、それにバンド11の熱情報を加えている。

(2) 定点観測データによる水質回帰式の推定

ランドサット等リモート・センシング技術で水質を推定する場合、同期した現地観測が望ましいが、ランドサットの通過日にあわせて、毎回大規模な現地調査を行なうことは困難である。よって県や国が水質監視のため定期的に観測しているデータを利用して水質推定画像を作成し、その問題点を検討した。

以下にランドサットデータ収集日と定点観測日を示す。

	ランドサットデータ収集日	定点観測日
1回目	1983年 8月 4日	1983年8月1,2日
2回目	1983年11月15日	1983年11月7,8,9日
3回目	1983年 3月 1日	1983年2月1,10日
4回目	1984年10月 1日	1984年10月1,2,3日

以上より求めた重回帰式の重相関係数を以下に示し、例として推定画像のうちSSについて写真-1から4に示す。

水質	現地観測データ			定点観測データ				
	M ² S(1000m)	M ² S(4000m)	1回目	1回目	2回目	3回目	4回目	
透明度	0.94	0.89	0.89	0.75	0.92	0.77	0.92	
SS	0.89	0.88	0.94	0.75	0.84	0.80	0.87	
クロロフィルa	0.82	0.93	0.96	0.59	0.80	0.40	0.92	

3. 考察

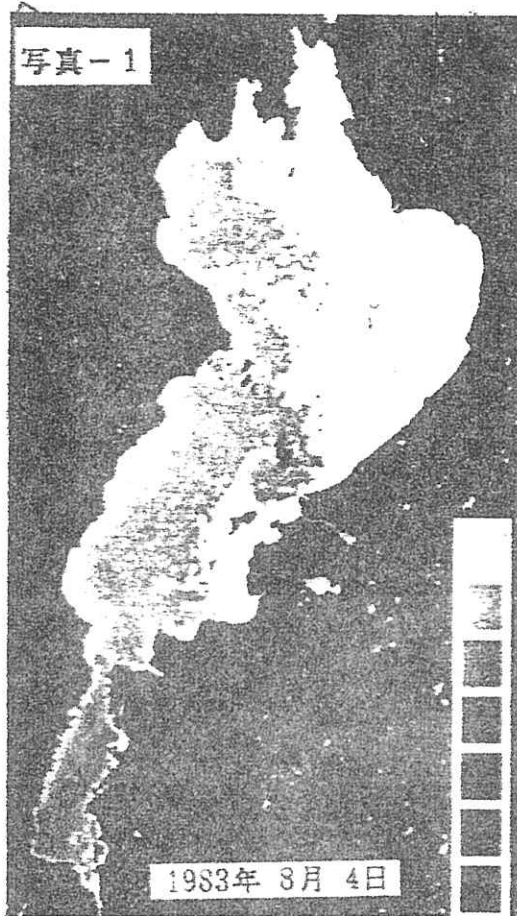
本調査結果では、同期観測データを使用した場合は、高い重相関係数を示している。それに対し、定点観測データを使用した場合、特にクロロフィルaが低くなっている。これは、クロロフィルaの値が太陽等気象変化の影響をうけ、日変化、時間変化が激しいためと考えられる。また、3項目の水質とも4回目の重相関係数が、1～3回目に比べ高くなっている原因としては、①定点観測日とランドサット通過日が重なっていること。②情報量が6ビットから8ビットに増えたこと。③1つの波長域が狭く、かつ広い波長域をカバーしていること。④解像力が79mから30mに細くなったこと。⑤データ収集日の大気の状態がよかったのではないかと考えられる。このうち②については、1回目のデータがHigh Gainデータであるので、1回目と条件はあまり変わらない。④については、調査地点の位置精度が悪いため、教師としてデータを抜き出す時、広いエリアの平均値を代表値としているので解像力はあまり関係しないと考えられる。⑤について、1回目のデータは、1部に薄い雲の帯が認められ、その影響を受けたのに比べ、4回目では、大気が安定した状態だったと考えられる。

今回の調査から、ランドサットデータによる水質推定をおこなう場合、High Gain の

MSSか、TMデータを使用することにより、有効利用できると考えられる。

SS 推定画像

写真-1



凡例

(mg/l)

0- 1.0

1.0- 2.0

2.0- 3.0

3.0- 5.0

5.0- 7.0

7.0-10.0

10.0-

写真-2



写真-3

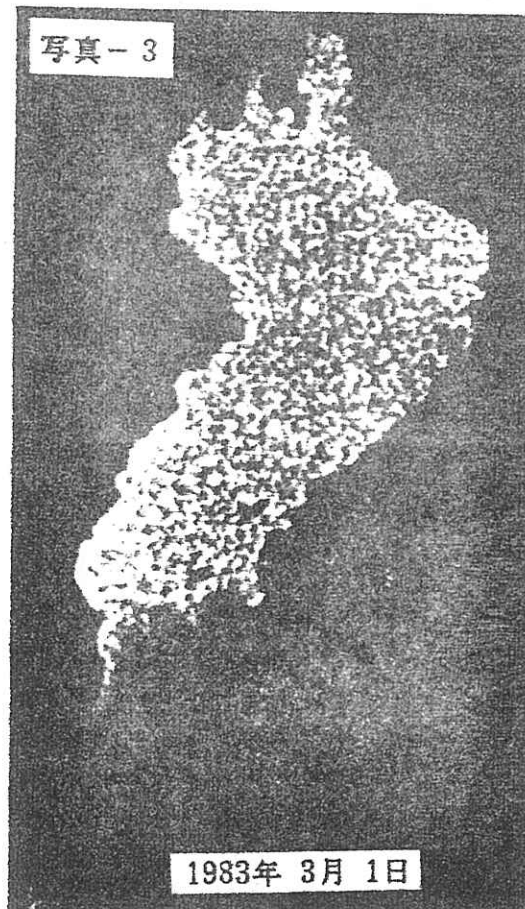


写真-4



COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OCEANOGRAPHIE
Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule 3 : Télédétection, communications

POSTER - RESUME

Cartographie thématique récifale par traitement d'images satellitaires : exemple d'un récif d'îlot du Lagon de Nouvelle-Calédonie

Coral reef thematic mapping using high resolution satellite imagery : the example of a reef islet in the Lagon of New-Caledonia

William BOUR¹, Régine CHAUME², Chantal CONAND³, Lionel LOUBERSAC⁴, Pierre RUAL⁵

¹ INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHES SCIENTIFIQUES POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION
NOUMEA (NOUVELLE CALEDONIE)

² LABORATOIRE INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHES SCIENTIFIQUES POUR LE DEVELOPPEMENT EN
COOPERATION, NOUMEA (NOUVELLE CALEDONIE)

³ UNIVERSITE DE BRETAGNE OCCIDENTALE, BREST

⁴ INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER, CENTRE DE BREST

⁵ ANTENNE INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHES SCIENTIFIQUES POUR LE DEVELOPPEMENT EN
COOPERATION, CENTRE DE BREST, IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX

Résumé :

La cartographie thématique de l'Îlot Maître, récif ancien du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie, a été effectuée à partir d'images enregistrées lors de la Simulation Spot, réalisée en décembre 1983. Les données ont été obtenues par un radiomètre aéroporté, et formatées pour recréer les caractéristiques des canaux de capteurs à Haute Résolution Visible du futur satellite SPOT : XS1 (0,50-0,59 μm), XS2 (0,61-0,69 μm), XS3 (0,79-0,89 μm) et XP mode panchromatique (0,51-0,73 μm).

Les différences de comportement des canaux ont été utilisées pour distinguer les faciès récifaux. Le canal XS3, proche infra-rouge, permet par seuillage de créer un masque qui élimine la zone émergée. De même le canal XS1 permet l'élimination des zones les plus profondes.

Les canaux XS1 et XS2 contiennent la majeure partie de l'information utilisable pour discriminer les biotopes. L'histogramme bidimensionnel construit à partir des valeurs des pixels de ces deux canaux montre que leur corrélation est assez forte. Une décorrélation est obtenue en créant deux pseudo-canaux, utilisant les coordonnées polaires des pixels sur l'histogramme précédent. Un découpage par "fenêtre" sur les principaux modes observés est alors possible ; il permet de définir, pour le récif étudié, sept classes et de calculer leur surface respective. Des photos aériennes et une vérification sur le terrain ont confirmé leur identification.

A titre de comparaison, est présenté le résultat de la classification obtenue par traitement d'une scène Landsat (résolution 80 m environ). Il met en évidence l'intérêt de la haute résolution de Spot (10 m et 20 m) pour la cartographie des milieux à forte variabilité spatiale. L'estimation des superficies des biotopes est nécessaire pour évaluer les ressources benthiques.

Abstract :

Images from a SPOT Simulation (December 1983) of the future french high resolution satellite have been processed to map Maître Islet, a mature reef from the south-western lagoon of New-Caledonia. The characteristics of the four bands of the satellite have been simulated using data from an air-borne Daedalus Radiometer : XS1 (0,50-0,59 μm), XS2 (0,61-0,69 μm) and XS3 (0,79-0,89 μm) with pixels 20 x 20 m, XP (0,51-0,73 μm) with pixels 10 x 10 m.

Radiance differences from the monochromatic bands have been used to differentiate the reef biotopes. The near infra-red band (XS3) is used to screen out the emerged ground. In the same way, the yellow green band (XS1) allows to mask out the deeper zones about ten meters.

The red (XS2) and yellow-green (XS1) bands contain most of the useful information to discriminate the structures. The bidimensional histogram of these bands shows a strong correlation. A decorrelation is obtained by creating two pseudo-channels using the polar coordinates of the pixels from the above histogram. Then a simple "window" classification from the new histogram peaks enables to identify seven themes for this reef. Counting pixels gives the area measurement of each theme. The validation has been carried on by aerial photographs and ground truth.

The same kind of classification made from a Landsat Image (pixels 80 x 80 m) shows the improvement obtained with a high resolution satellite for the mapping of the biotopes with large spatial variability. The estimation of each biotope area is of primary importance for an evaluation of the benthic resources.

LISTE DES INTERVENANTS
Délégation japonaise

Président d'honneur de la délégation : Pr Masahide TOMINAGA : Président de la Société franco-japonaise de Tokyo, Association japonaise de Météorologie, 2-9-2 Kanda, Nishikicho, Chiyoda-ku, TOKYO 101.

Coordinateur de la délégation : Pr Reijiro HIRANO, Université de Tokyo, Faculté d'Agriculture, Laboratoire d'Océanographie des Pêches, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, TOKYO 113.

Chef de la délégation : Pr Tomotoshi OKAICHI : Université de Kagawa, Doyen de la Faculté d'agriculture Ikenobe, Miki-cho, Kita-gun, KAGAWA, 761.07.

Dr Tomoya AKIMICHI : Museum national d'Ethnologie, 10-1 Banpaku-koen, Senri, Suitashi, OSAKA 565.

Dr Yasuo FUKUYO : Université de Tokyo, Faculté d'Agriculture, Laboratoire d'Océanographie des Pêches, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, TOKYO 113.

Pr Kazutsugu HIRAYAMA : Université de Nagasaki, Faculté des Pêches, 1-14 Bunkyo machi, NAGASAKI 852.

Dr Masafumi ICHIKAWA : Association japonaise de Météorologie, 2-9-2 Kanda, Nishiki-cho, Chiyoda-ku, TOKYO 101.

Dr Takemi ICHIMURA : Taiyo Fisheries S.A. TOKYO.

Dr Naruo IWAKIRI : Université de Kagoshima, Faculté des Pêches, Laboratoire d'Economie des Pêches, 4-50-20 Shimoarata, KAGOSHIMA 890.

Pr Hiroshi KAKIMOTO : Norinsuisanbu, Suisanka 4-1 Shinko-cho, Niigata, NIIGATA 951.

Dr Shiguekazu KATOH : Université des Pêches de Tokyo, Département des Sciences de l'Environnement et Technologie Marines 5-7, Konan 4, Minato-ku, TOKYO 108.

Dr Toyoki KAWABATA : Compagnie d'électricité CHUGOKU, Institut de recherches techniques, 4-4-32 Ozu, Minami-ku, HIROSHIMA 720.

Pr Mitsu KAYAMA : Université de Hiroshima, Faculté des Sciences Biologiques appliquées, Laboratoire de Biochimie marine, 2-17 Midori-machi, FUKUYAMA, HIROSHIMA 720.

Dr Hideaki KINOSHITA : Institut de Recherches sur l'Ecologie marine, Station biothermale de recherches, 4-7-17 Arahama, Kashiwazaki shi, NIIGATA 945-03.

Dr Sachihiko KOBORI : OCEANAUTES, 6-41, Akasaka 9-chome, Minato-ku, TOKYO 107.

Pr KOSUGE : Université de Tokai, Faculté des Sciences et Technologie de la Marine, 1000 Orido, SHIMIZU 424.

Dr Toru MIMURA : Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.

Dr N. MUNEYAMA : Agence des Sciences et de la Technologie, Département des Affaires Spaciales Internationales, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, TOKYO 100.

Dr Sachiko NAGASAWA : Ocean Research Institute, Université de Tokyo, Nakano-ku, TOKYO, 164.

Pr Heisuke NAKAGAWA : Université de Hiroshima, Faculté des Sciences Biologiques appliquées, Laboratoire d'Aquaculture, 2-17 Midori-machi, FUKUYAMA, HIROSHIMA, 720.

Pr Takahisa NEMOTO : Ocean Research Institute, Université de Tokyo, Nakano-ku, TOKYO 164.

Dr Haruto OKAMOTO : PASCO Corp., 13-5 Higashiyama 2-chome, Meguro-ku, TOKYO 153.

Pr Shigeyasu OKUSA : Université de Tokai, Faculté des Sciences et Technologie de la Marine, 1000, Orido, SHIMIZU 424.

Pr Fumitake SEKI : Université de Tsukuba, Institut des Sciences Biologiques, Sakuramura, IBARAKI, 300-31.

Dr Hiroki YAGI : Centre d'Océanologie de Marseille, E.P.H.E., U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.

Dr Takamiki YAMANE : Association pour la promotion et le développement de la pêche côtière (ZENSHINKYO) 2-2-1 Uchikanda, Chiyoda-ku, TOKYO 101.

Dr Hirozo YOSHIMURA : Centre de recherches de l'Agence Maritime de Sécurité, 6-64 Kitanakadori, Naka-ku, YOKOHAMA, KANAGAWA, 231.

LISTE DES INTERVENANTS

Participants français

- E. ALLIOT : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- M. AMANIEU : Professeur, Université des Sciences Techniques du Languedoc, 34000 MONTPELLIER.
- C. ARMANGAU : C.E.R.G.H., Faculté des Sciences, 34000 MONTPELLIER.
- P. ARZEL : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- D. BAILLY : Université de Kagoshima, Faculté des Pêches, KAGOSHIMA.
- J.-P. BARUSSEAU : Centre de Recherches de Sédimentologie marine, Université de Perpignan, 66025 PERPIGNAN.
- D. BELLAN-SANTINI : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- T. BELSHER : Antenne IFREMER, Station biologique, 29211 ROSCOFF.
- Y. BENYAMIN : E.P.H.E. Centre de Biochimie macromoléculaire, B.P. 5051, 34033 MONTPELLIER.
- J.-P. BERTHOME : IFREMER, B.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.
- J.-C. BERTRAND : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13288 MARSEILLE CEDEX 9.
- A. BIANCHI : Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE CEDEX 3.
- M. BIANCHI : Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE CEDEX 3.
- J.-L. BIRRIEN : Université de Bretagne occidentale, 29283 BREST CEDEX.
- G. BŒUF : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- J.-L. BONNEFONT : Fondation Océanographique Ricard, Ile des Embiez, Le Brus, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES.
- Ch.-F. BOUDOURESQUE : Faculté des Sciences de Luminy, 13288 MARSEILLE CEDEX 9.
- V. BREITTMAYER : INSERM Unité 40, 1, Avenue Jean-Lorrain, 06300 NICE.
- P. BREGLIANO : Centre d'Océanologie U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- M. BRUSSIEUX : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- D. BUESTEL : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- P. CAUMETTE : ORSTOM, Microbiologie marine, Université Aix-Marseille III, 13397 MARSEILLE CEDEX 4.
- H.-J. CECCALDI : E.P.H.E., Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- B. CHEVASSUS : Laboratoire d'Hydrobiologie, INRA-CNRS, 78350 JOUY-EN-JOSAS.
- R.-L. CLEMENT : INSERM, Unité 40, 1, Avenue Jean Lorrain, 06300 NICE.
- A.-M. COMPIANO : Ecole nationale supérieure de Chimie, 34075 MONTPELLIER.
- D. COVES : IFREMER, Deva Sud, 34250 PALAVAS-LES-FLOTS.
- J.-C. DAO : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- R. DAUMAS : Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE CEDEX 3.
- C. DELORT : Fondation océanographique RICARD, Ile des Embiez, Le Brus, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES.
- H. DEMARCK : C.T.A.M.N. Sophia Antipolis, 06560 VALBONNE.
- J.-M. DESLOUS-PAOLI : IFREMER, B.P. 133, 17390 LA TREMBLADE.
- Y. DESPEYROUX : Sédimentologie et Géochimie, Université de Lille I, 59655 VILLENEUVE D'ASCQ.

- N. DROGUE : CNRS, Microbiologie marine, Université de Provence, 13331 MARSEILLE.
- J. DUCLERC : IFREMER, 1, Rue Jean Vilar, 34200 SETE.
- C. DUVAL : IFREMER, 1, Rue Jean Vilar, 34200 SETE.
- T. EL-JAMMAL : Centre d'Océanologie U.A. C.N.R.S. 41, 13288 MARSEILLE CEDEX 9.
- H. FARRUGIO : IFREMER, 1, Rue Jean Vilar, 34200 SETE.
- A. FERAL : Direction de l'Aménagement et de l'Environnement maritimes, Port Autonome, 33000 BORDEAUX.
- F. GALGANI : Centre océanologique du Pacifique, B.P. 7004, Taravao, TAHITI.
- P. GALICHON : Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, 2, Rue Alfred-Fouillée, 75013 PARIS.
- F.-J. GATESOUBE : INRA/IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- M. GAUTHIER : INSERM Unité 40, 1, Avenue Jean Lorrain, 06300 NICE.
- J. GRANBOULAN : Direction de l'Aménagement et de l'Environnement maritimes, Port Autonome, 33000 BORDEAUX.
- P. GROVEL : Université de Nantes E.N.S.M. 44072 NANTES CEDEX.
- A. GUILCHER : Université de Bretagne occidentale, B.P. 860, 29279 BREST CEDEX.
- E. GUILLEMOT : Encina nueve, El puerto de Santa Maria, CADIX, Espagne.
- Y. HARACHE : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- L. HARDY : CEPALMAR, 34000 MONTPELLIER.
- J.-G. HARMELIN : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- M. HERAL : IFREMER, B.P. 133, 17390 LA TREMBLADE.
- M. HERMIN : Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE CEDEX 3.
- F. HIDALGO : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- J. JEUDY DE GRISSAC : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13288 MARSEILLE CEDEX 9.
- G. JOLY : Ecole Normale Supérieure, Laboratoire de Géographie, 92120 MONTROUGE.
- J.-M. JOUANNEAU : Centre de Recherches sur l'Environnement sédimentaire et structural des domaines marins, Université de Bordeaux, 33405 TALENCE.
- L.-R. LAFOND : E.P.H.E., Laboratoire de Géomorphologie, 91405 ORSAY.
- A. LAGIN : IFREMER, 97200 LE ROBERT, MARTINIQUE.
- J.-P. LAMARE : Office régional de la mer, 13016 MARSEILLE.
- P. LASSUS : IFREMER, B.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.
- P. LE CORRE : Université de Bretagne occidentale, 29283 BREST CEDEX.
- J.-R. LEFEVRE : CIPALM, Cité administrative, B.P. 06028 NICE CEDEX.
- P. LELONG : Fondation océanographique Ricard, Ile des Embiez, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES.
- C. LE MILINAIRE : IFREMER, Centre de Brest, 29273 BREST.
- G. LE MOULLAC : IFREMER, Deva sud, 34250 PALAVAS-LES-FLOTS.
- M. LEVEAU : Centre d'Océanologie U.A. C.N.R.S. 41, 13288, MARSEILLE CEDEX 9.
- P. LUCET : CEPALMAR, 34000 MONTPELLIER.

- P. MAGGI : IFREMER, B.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.
- A. MANCHE : Directeur Parc national de Port Cros, 83400 HYERES.
- C. MARCAILLOU-LE BAUT : IFREMER, B.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.
- M. MARCHAND : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- Y. MARTIN : Fondation océanographique Ricard, Ile des Embiez, Le Brusq, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES.
- H. MASSÉ : Centre d'Océanologie U.A.41, 13007 MARSEILLE.
- A. MASTOURI : IFREMER, B.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.
- A. MEINESZ : Laboratoire de Biologie et Ecologie marines, Université de Nice, 06034 NICE.
- L. MENANTEAU : Calle de la Huertas, 18.3 MADRID 12.
- C. MIGNIOT : Laboratoire central d'Hydraulique de France, 94704 MAISON-ALFORT.
- G. MILLE : Centre de Spectroscopie moléculaire et U.A. 126 de Chimie moléculaire et Pétrochimie, 13397 MARSEILLE CEDEX 13.
- D. ODY : Centre d'Océanologie U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- F. OTTMAN : Université de Nantes, Laboratoire de Géologie marine et appliquée, 44072 NANTES CEDEX.
- A. PASTOUREAUD : CREMA, Case 5, 17137 NIEUL-SUR-MER.
- J.-F. PAVILLON : Institut océanographique, 75005 PARIS.
- C. PHELEPP : Fondation océanographique Ricard, Ile des Embiez, Le Brusq, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES.
- J.-M. PIONETTI : Station de Biologie marine et lagunaire, 34200 SETE.
- J. POPULUS : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- P. PRUNET : Laboratoire d'Hydrobiologie INRA CNRZ, 78350 JOUY-EN-JOSAS.
- J.-M. RICARD : IFREMER, DEVA Sud, 34250 PALAVAS-LES-FLOTS.
- J.-C. ROMANO : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- J. SACCHI : IFREMER, 62200 BOULOGNE-SUR-MER.
- J.-C. SALOMON : Laboratoire d'océanographie physique, Université de Bretagne occidentale, 29283 BREST CEDEX.
- F. SIMARD : Société franco-japonaise d'Océanographie et Université des Pêches de Tokyo, 5-7 Konan 4, Minato-ku, TOKYO 108.
- A. SIRÉ : Office régional de la mer, 13016 MARSEILLE.
- L. SOULARD : Centre météorologique départemental de Nantes, Château-Bougon.
- H. THEBAULT : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- Y.-F. THOMAS : Laboratoire de Géomorphologie, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 92120 MONTROUGE.
- J.-P. TROADEC : IFREMER, 66, Avenue d'Iéna, 75116 PARIS CEDEX.
- J.-R. VANNEY : Laboratoire de Géographie, 75005 PARIS.
- F. VERGER : Laboratoire de Géomorphologie, 92120 MONTROUGE.
- N. VICENTE : Laboratoire de Biologie marine, Université Aix-Marseille III, 13397 MARSEILLE CEDEX 4.
- C. VIDEAU : Université de Bretagne occidentale, 29283 BREST CEDEX.
- M. VILLEROT : Direction de l'Aménagement et de l'Environnement maritimes, Port Autonome, 33000 BORDEAUX.
- L. WALD : C.T.A.M.N., Sophia Antipolis, 06560 VALBONNE.

PRESIDENTS DE SEANCE

- M. J. AKIMICHI : Museum national d'Ethnologie, OSAKA-Iu 565 Japon.
- M. C. ALZIEU : IFREMER, B.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.
- Mme D. BELLAN-SANTINI : Centre d'Océanologie U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- M. A. BIANCHI : Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE CEDEX 3.
- M. R. BILLARD : Institut national de la Recherche agronomique, 78350 JOUY-EN-JOSAS.
- M. R. CHESSELET : Programme interdisciplinaire de Recherche océanographique, CNRS, 75007 PARIS.
- M. F. DOUMENGE : Museum national d'Histoire naturelle, Laboratoire d'Ethologie et conservation des espèces animales, 75012 PARIS.
- M. M. FONTAINE de l'Institut, Institut océanographique, 75005 PARIS.
- M. A. GUILCHER : Université de Bretagne occidentale, B.P. 860, 29279 BREST CEDEX.
- M. K. HIRAYAMA : Université de Nagasaki, Faculté des Pêches, NAGASAKI 852, Japon.
- M. M. ICHIKAWA : Association japonaise de Météorologie, TOKYO 101, Japon.
- M. N. IWAKIRI : Université de Kagoshima, Faculté des Pêches, Laboratoire d'Economie des Pêches, 4-50-20 Shimoarata, KAGOSHIMA 890.
- M. S. KATOH : Université des Pêches de Tokyo, Département des Sciences de l'Environnement et Technologie Marines, TOKYO 108, Japon.
- M. M. KAYAMA : Université de Hiroshima, Faculté des Sciences Biologiques appliquées, Laboratoire de Biochimie marine, 2-17 Midori-machi, FUKUYAMA, HIROSHIMA 720.
- M. J.-P. LAMARE : Office régional de la mer, 13016 MARSEILLE.
- M. M. LEVEAU : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13288 MARSEILLE CEDEX 9.
- M. H. NAKAGAWA : Université de Hiroshima, Faculté des Sciences Biologiques appliquées, Laboratoire d'Aquaculture, 2-17 Midori-machi, FUKUYAMA, HIROSHIMA, 720.
- M. T. NEMOTO : Ocean Research Institute, Université de Tokyo, Nakano-ku, TOKYO 160.
- M. T. OKAICHI : Université de Kagawa, Faculté d'Agriculture Ikenobe, KAGAWA 761-07, Japon.
- M. H. OKAMOTO : PASCO Corp., 13-5 Higashiyama 2-Chome, Meguro-ku, TOKYO 153.
- M. S. OKUSA : Tokai University, Orido 3-20-1, Shimizu-shi, SHIZUOKA 424.
- M. J.-P. TROADEC : Direction des ressources vivantes, IFREMER, 75116 PARIS.
- M. N. VICENTE : Université Aix-Marseille III, 13397 MARSEILLE CEDEX 4.
- M. M. VIGNEAUX : Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, 33405 TALENCE.
- M. T. YAMANE : Association pour la promotion et le développement de la pêche cotière, TOKYO-101, Japon.
- M. H. YOSHIMURA : Centre de recherches de l'Agence Maritime de Sécurité, 6-64 Kitana-kadori, Naka-ku, YOKOHAMA KANAGAWA, 231.