

Première évaluation des potentialités du satellite Spot pour la cartographie des peuplements benthiques superficiels de Méditerranée occidentale



Posidonia oceanica
Cartographie
Téledétection
Spot

Posidonia oceanica
Mapping
Remote sensing
Spot

Alexandre MEINESZ^a, Thomas BELSHER^b, Charles-François BOUDOURESQUE^c, Jean-Robert LEFEVRE^d

- a) Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice-Sophia Antipolis, Parc Valrose, 06034 Nice Cedex, France.
b) Département Recherches Océaniques/Environnement Littoral, Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), B.P. 70, 29280 Plouzané, France.
c) Laboratoire de Biologie Marine et d'Écologie du Benthos, Faculté des Sciences de Luminy, 13288 Marseille Cedex 9, France.
d) Service Environnement, Conseil Général des Alpes Maritimes, B.P. 3, 06028 Nice Cedex, France.

RÉSUMÉ

Une image du satellite Spot a été traitée pour évaluer les potentialités de cet outil pour la cartographie des peuplements et types de fonds superficiels de l'étage infralittoral de Méditerranée occidentale. L'étude porte sur la côte nord de l'île de Porquerolles (rade d'Hyères, sud-est de la France). Les données traitées ont été confrontées à une cartographie sous-marine effectuée en plongée. Les auteurs montrent que la téledétection satellitaire pourrait permettre de distinguer certains peuplements benthiques et types de fonds jusqu'à 10 m de profondeur. Ainsi, les potentialités du satellite sont réduites dans les régions où la déclivité des fonds est importante, car la surface cartographiable est très exiguë. Elle est de ce fait représentée par un faible nombre de pixels, qui couvrent une mosaïque de plusieurs biocénoses très distinctes que l'on ne peut plus différencier.

L'image exploitée a été commandée à une période très favorable (juin) pour les paramètres biologiques (herbiers à *Posidonia oceanica* denses et peu épiphytés), météorologiques (mer calme) et hydrologiques (turbidité de l'eau très faible). Par contre, une forte réflexion spéculaire sur une grande partie de la scène a notablement réduit l'exploitation de l'image. Ainsi, pour éviter cette réflexion, il convient également de choisir la date de la programmation en tenant compte des paramètres fixes pour chaque site que sont l'heure du survol et l'inclinaison du satellite.

Oceanologica Acta, 1991. **14**, 3, 299-307.

ABSTRACT

First evaluation of the suitability of Spot satellite imagery for the cartography of shallow epibenthic communities in the Western Mediterranean.

A Spot satellite image was processed to assess the suitability of this facility for the cartography of epibenthic populations and bottom types in the Mediterranean sublittoral fringe. The area studied was on the north coast of Porquerolles island (Hyères, SE France). The treated data were compared with mapping carried out

by diving. We show that satellite remote sensing may permit a distinction between certain epibenthic populations and bottom types down to 10 m depth. Thus the usefulness of the satellite is reduced where the sublittoral is steeply shelving, as the mappable area is narrow and represented by only a few pixels, each of which tends to overlap several separate biocénoses.

The image treated was obtained in June under very favourable conditions, with dense meadows of relatively epiphyte-free *Posidonia oceanica* seagrass, calm sea, and very clear water. However, much of the image was subject to marked reflectance, which reduced image usefulness. To avoid this problem, future requests for images should take into account the season and parameters, such as overflight time and satellite angle, likely to be associated with high reflectance at the site in question.

Oceanologica Acta, 1991. **14**, 3, 299-307.

INTRODUCTION

En Méditerranée, la cartographie des peuplements benthiques superficiels, indispensable à la connaissance et à la gestion des espaces littoraux, est une opération longue et complexe. Les méthodes mises en oeuvre jusqu'ici : interprétation de photographies aériennes, observations en plongées sous-marines ou en sous-marin, interprétation de sonogrammes (Meinesz *et al.*, 1981) ont pour principal inconvénient de ne concerner qu'une surface réduite, parfois sans proportion avec l'ampleur des problèmes que l'on souhaite mettre en évidence. De ce fait, peu de cartes des peuplements benthiques littoraux sont disponibles en Méditerranée. Elles sont très inégalement réparties et sont surtout concentrées au voisinage des centres de recherche (Banyuls, Marseille, Nice, Naples) ou des espaces protégés (Port Cros, Scandola, îles Medes ; Colantoni *et al.*, 1982 ; Gili et Ros, 1985 ; Pergent *et al.*, 1985 ; Boudouresque *et al.*, 1985 ; Meinesz *et al.*, 1988). Dans le cadre du programme d'évaluation du satellite Spot sur les végétaux marins, une première approche à été réalisée avec des simulations d'images Spot sur les baies de Santa Giulia et de San Cipriano (côtes sud-est de la Corse : Belsher *et al.*, 1985 ; 1988). Elles avaient laissé espérer de bonnes discriminations entre certains peuplements ou types de fonds. La présente étude consiste en une confrontation entre divers traitements d'images Spot avec, d'une part des photographies aériennes, d'autre part une vérité-terrain réalisée en plongée sous-marine.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Justification du choix du secteur étudié

La scène de 60 x 60 km a été centrée sur la rade d'Hyères et comprend, à l'ouest, le littoral de Carqueiranne jusqu'à Saint Tropez, à l'est ; les îles d'Hyères (Levant, Port-Cros et Porquerolles) sont incluses dans cette scène. Cette zone

présente la plus grande surface de petits fonds entre Menton (limite est des côtes continentales françaises) et Martigues (à l'est du cône de petits fonds alluvionnaires du Rhône), soit 5271 ha entre 0 et -10 m (Meinesz *et al.*, 1981). C'est la partie des côtes continentales françaises où l'herbier de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* (L.) Delile est le plus étendu. Les données de terrain et les traitements de l'image ne portent que sur la face nord de l'île de Porquerolles (fig. 1).

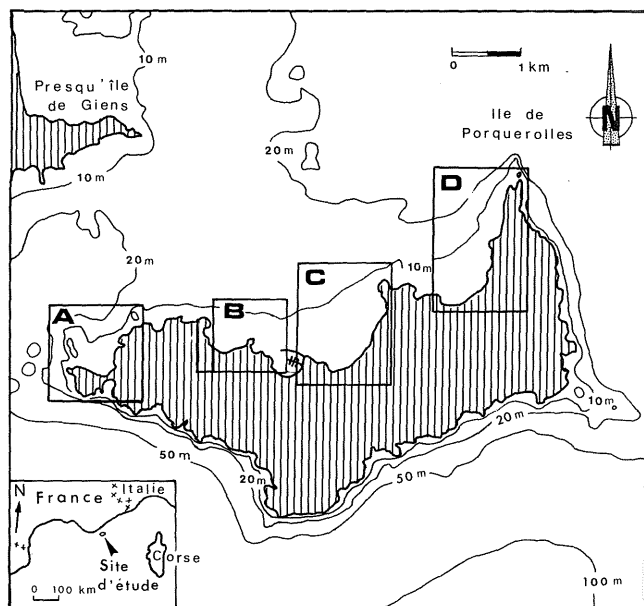


Figure 1

Carte bathymétrique des fonds et situation des zones étudiées (A à D).
Bathymetric chart showing types of bottom and study areas (A to D).

Acquisition de l'image

Parmi les scènes acquises par le satellite Spot sur ce secteur, celle du 28 juin 1986, prise à 10 h 30 T.U., a été sélectionnée, après s'être assuré que les conditions météorologiques marines étaient bonnes (mer belle, vent de 2 à 4

noeuds de sud-est). Elle a été réalisée à une saison où les herbiers de phanérogames marines *Posidonia oceanica* et *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson sont le plus développés et où leurs feuilles sont le moins couvertes d'épiphytes.

Les caractéristiques principales de cette scène prise en vue oblique sont : orientation 11,6°, incidence R.O3.7, azimut +142.2, élévation 066.4.

Données de terrain

Les résultats de divers traitements de l'image ont permis d'orienter la stratégie de saisie de données de terrain. Pour connaître les limites et la nature des peuplements sous-marins de la zone d'étude, nous avons également utilisé une photographie aérienne noir et blanc de qualité satisfaisante de l'Institut Géographique National (prise dans de bonnes conditions météorologiques et à une heure de survol pendant laquelle il n'y a pas de réflexion spéculaire). Les peuplements visibles sur cette photographie aérienne ont été interprétés après la réalisation d'observations ponctuelles et de six transects sous-marins de 400 m de longueur (T1 à T6 : figs 2, 3 et 4). La situation de ces transects

a été choisie en fonction des limites des peuplements visibles sur les photos aériennes et sur les traitements préliminaires de l'image Spot (rehaussement de contraste et classification non supervisée sur le domaine marin). Ils ont été cartographiés en plongée sous-marine par la méthode définie par Meinesz et Simonian (1983), qui a été appliquée ainsi :

- Un filin de 400 m de longueur, lesté et étalonné, est déroulé puis tendu sur le fond de la côte vers le large à partir d'un bateau pneumatique. Ce filin matérialise le transect.
- L'origine et l'extrémité du transect sont positionnées au cercle hydrographique.
- Deux plongeurs suivent le filin : l'un mesure la profondeur tous les 5 m à l'aide d'un décimètre souple fixé à une bouée de surface (précision de la lecture ± 5 cm) ; l'autre note la position, la nature et l'état des peuplements et types de fonds rencontrés sur le parcours du transect.

Au total 2400 m ont été ainsi parcourus en plongée sous-marine entre 0 et 18 m de profondeur, et 480 relevés bathymétriques ont été positionnés.

Traitement de l'image

Au laboratoire de traitement d'images de l'IFREMER à Brest, après sélection du secteur d'étude (littoral nord de l'île de Porquerolles), dans la scène de 60 x 60 km, divers traitements ont été testés par l'un d'entre nous (Belsher) à l'aide des logiciels Gipsy et Gringo (Belbeoch, 1983). Les principaux défauts radiométriques, qui se manifestent surtout sur la partie marine, ont été, dans la mesure du possible, corrigés. En particulier, un programme informatique approprié a permis d'amoinrir le lignage. La séparation domaine marin - domaine émergé, du fait de l'absorption du proche infra-rouge par l'eau, a été tracée avec précision d'une façon automatique par seuillage, à partir du canal XS3 (0,79 - 0,89 μm).

Après élimination du domaine terrestre, une nouvelle image a été créée (XS1² / XS2, XS2, XS1), sur laquelle nous avons réalisé une classification par analyse en composantes principales. L'information géographique terrestre est ensuite, après un simple rehaussement de contraste, ramenée sur l'image précédemment traitée.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Bien que les caractéristiques de l'état de la mer aient été bonnes lors de l'acquisition de l'image, les données recueillies ont été perturbées par une forte réflexion spéculaire sur une grande partie du secteur d'étude (vers le large et devant les côtes exposées au sud). A l'heure et à la date de la prise de vue (10 h 30 T.U. le 28 juin), la position du soleil était très défavorable pour la prise de vues verticale (d'après Orth et Moore, 1983 ; Lefèvre *et al.*, 1984). L'orientation de la prise de vue oblique a également pu

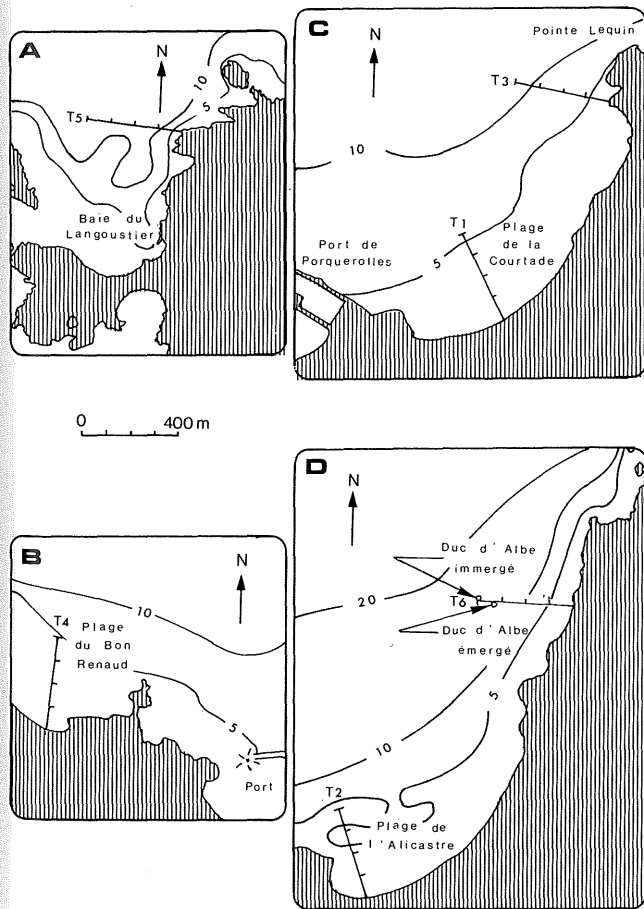


Figure 2

Situation des transects (T1 à T6).
Location of T1 to T6.

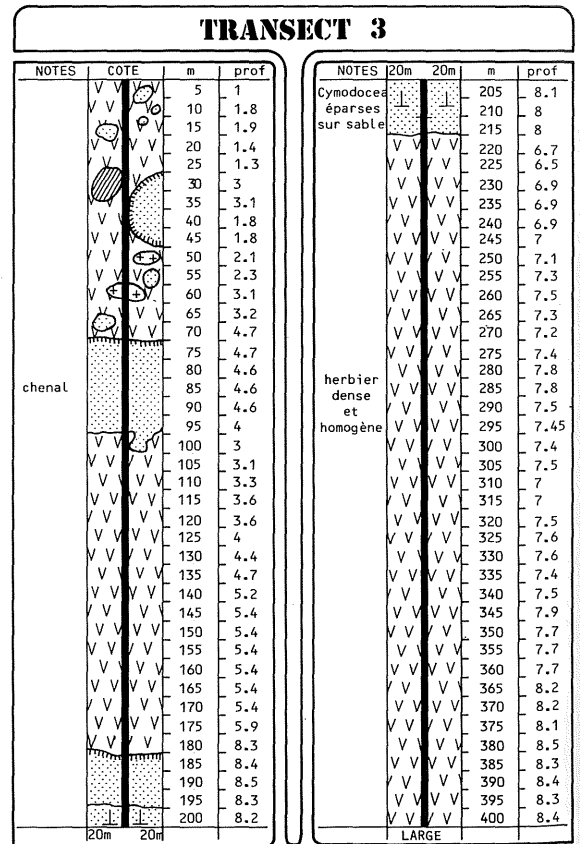
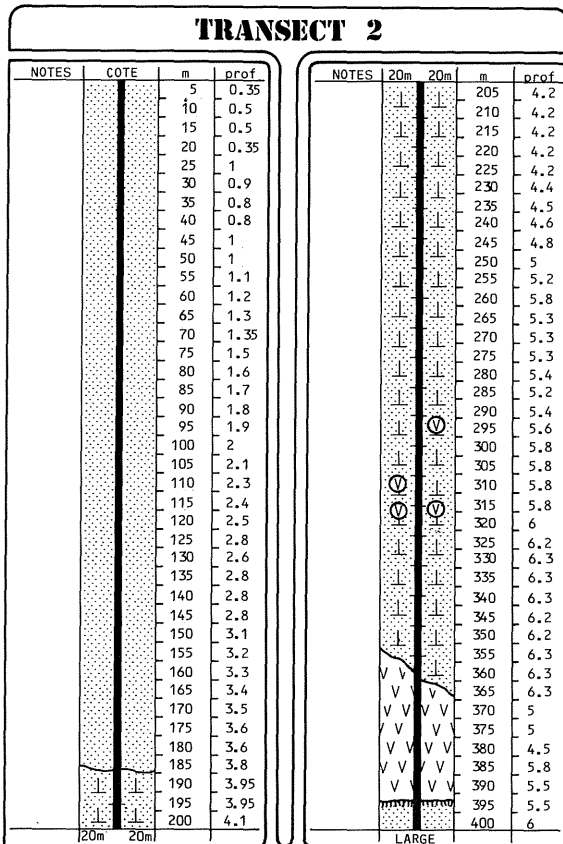
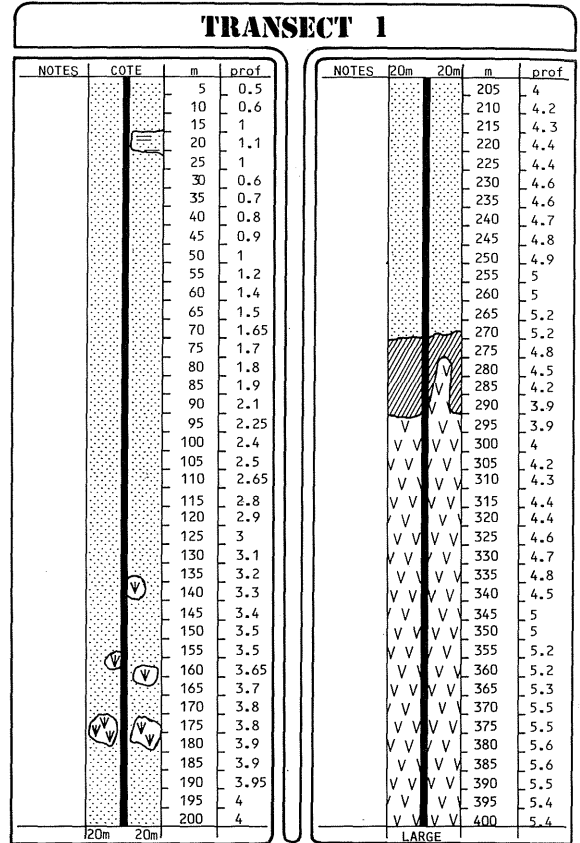
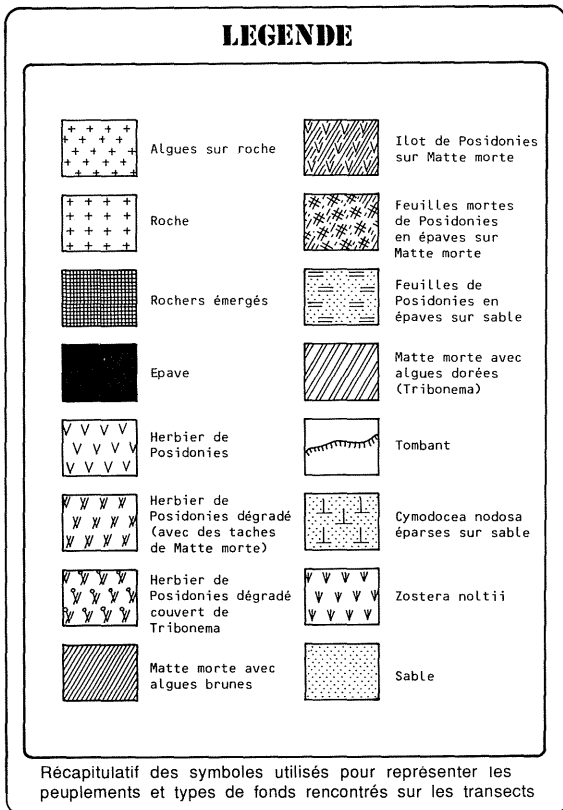
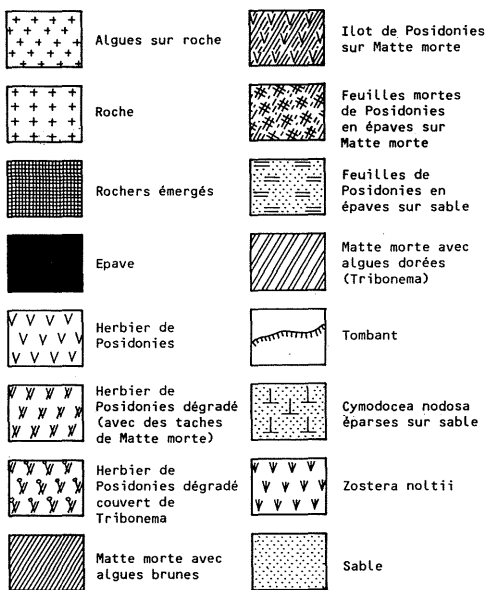


Figure 3

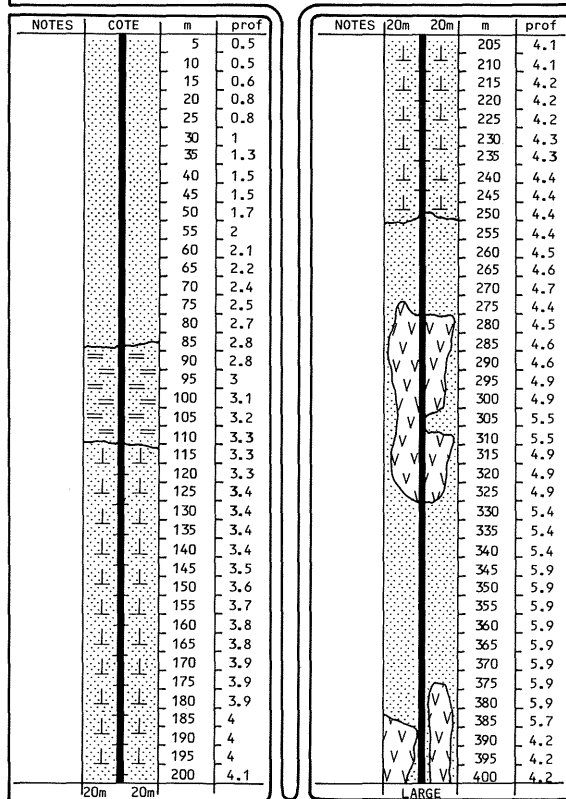
Transects 1 à 3. La représentation graphique normalisée de Meinesz *et al.* (1983) a été utilisée pour figurer les peuplements et les types de fonds.
 Transects 1 to 3. Graphic presentation of benthic communities and substrata, using the convention of Meinesz *et al.* (1983).

LEGENDE

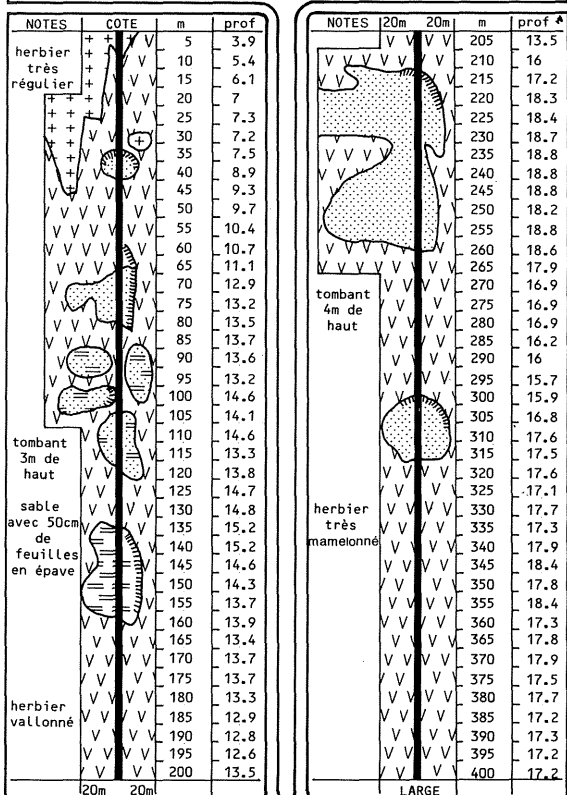


Récapitulatif des symboles utilisés pour représenter les peuplements et types de fonds rencontrés sur les transects

TRANSECT 4



TRANSECT 5



TRANSECT 6

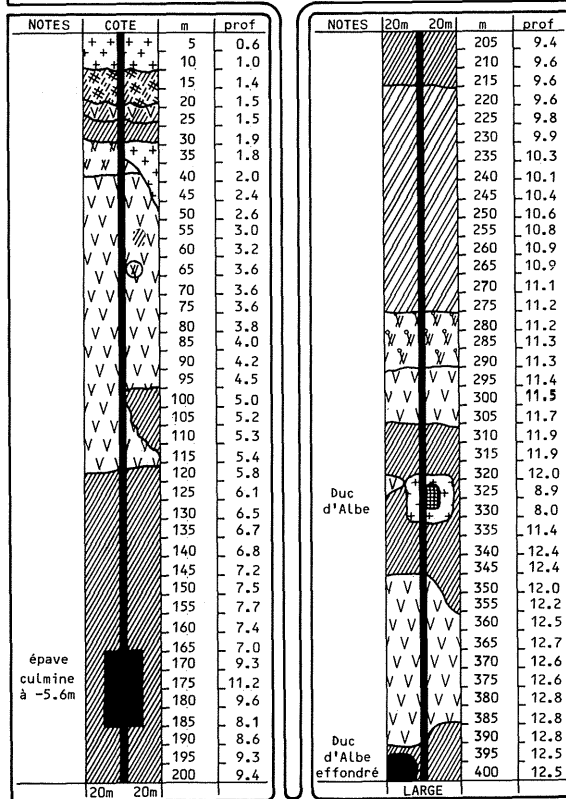


Figure 4

Transects 4 à 6. La représentation graphique normalisée de Meinesz *et al.* (1983) a été utilisée pour figurer les peuplements et les types de fonds. Transects 4 to 6. Graphic presentation of benthic communities and substrata, using the convention of Meinesz *et al.* (1983).

autre image du même site prise un jour différent (2 juin 1986 à 10 h 30 T.U.) présentait des défauts analogues (heure et date défavorables). Cette réflexion spéculaire n'a pu être éliminée par filtrage.

Le traitement final centré sur la face nord de l'île de Porquerolles permet de donner les indications suivantes.

Frange littorale et fonds sableux

L'identification des fonds sableux dépourvus de couverture végétale est aisée, mais doit tenir compte de la bathymétrie. En effet, le même type de substrat sableux donne une réponse spectrale différente selon sa profondeur. Ce principe connu (Polcyn et Lyzenga, 1973 ; Doak *et al.*, 1980 ; Pirazzoli, 1982 ; 1985), et que nous avons déjà mis en évidence sur des fonds similaires (Belsher *et al.*, 1985 ; 1988) permet de tracer des isobathes précis, surtout dans les petits fonds (entre 0 et 10 m). Une seule identification de ce type de fond avec un relevé bathymétrique précis sur un transect permet de réaliser une corrélation entre la profondeur et les différentes réponses spectrales données par les fonds sableux. Cette corrélation peut être étendue, pour ce type de fond, à l'ensemble du littoral (à condition que la nature du sable soit très homogène, ce qu'il convient de vérifier sur le terrain par des observations ponctuelles bien positionnées). Dans le secteur étudié, le traitement effectué permet de discriminer les fonds sableux entre 0 et 2 m de ceux compris entre 2 et 8 m. Ils apparaissent, à la suite d'une classification automatique, respectivement dans les teintes vertes et violettes (exemples T1, T4 et T2 : fig 6). Pour une carte thématique, la même couleur peut être donnée pour l'ensemble des fonds sableux après une classification systématique des diverses réponses spectrales données par les fonds sableux de profondeurs différentes.

Phytobenthos

La couverture végétale sous-marine est visible dans toute la partie nord de l'île où la déclivité est faible, avec présence de larges zones de petits fonds sableux. Dans la scène étudiée, on distingue des détails du fond jusqu'à l'isobathe - 15 m. Au sein de cette couverture végétale, qui se développe par endroits dès la côte, plusieurs discriminations sont possibles.

La prairie à *Cymodocea nodosa*

Cette phanérogame marine constitue, dans la zone étudiée, des peuplements denses ou très épars sur substrat sableux ou sablo-vaseux entre 3,3 m et 8 m (exemple T2 et T4 : fig. 5). Les prairies à *C. nodosa* du littoral de Porquerolles avaient été déjà signalées par Augier (1978), qui a réalisé des cartes précises à grande échelle de secteurs du littoral nord de cette île. Dans l'anse du Bon Renaud, il signale une zone

de 100 m de large avec une prairie dense de *C. nodosa*. Nous avons réalisé un transect dans cette zone (T4, figs 4 et 5), et il apparaît que la prairie de *C. nodosa* est moins dense et occupe un secteur différent. La croissance de cette espèce peut être très rapide (la croissance annuelle des rhizomes peut atteindre 2 m de longueur : Caye et Meinesz, 1985). Nos observations confirment que la densité et la localisation des peuplements de cette phanérogame marine peuvent être très fluctuantes. Lorsque le peuplement à *Cymodocea* y est dense (plus de 50 % de recouvrement), il peut être distingué avec précision sur des images radiométriques traitées (Belsher *et al.*, 1988), alors que sur la photographie aérienne elles apparaissent très estompées.

Sur les images Spot de Porquerolles, il apparaît que la densité de *C. nodosa* est trop faible pour pouvoir discriminer cette phanérogame du sable nu. Pour cette phanérogame, il convient de faire coïncider la prise de vue avec la période optimale de développement (d'avril à septembre) car, le reste de l'année, seule une faible partie de ses feuilles sont persistantes (Caye et Meinesz, 1986).

L'herbier à *Posidonia oceanica*

L'herbier à *P. oceanica* couvre la partie profonde des six transects réalisés et s'étend bien au-delà (la limite inférieure se situe à près de 35 m de profondeur). Sa limite supérieure est irrégulière, mais est dans l'ensemble bien identifiable sur les traitements obtenus. Les résultats de la classification automatique affectent des colorations différentes à des types d'herbier apparemment homogènes. Ainsi trois couleurs (orange, rouge ou lie de vin) correspondent indifféremment à des herbiers, soit homogènes et à des profondeurs voisines (exemple les 200 derniers mètres du T3 : figs 4 et 5), soit entrecoupés d'intermatte de sable et à des profondeurs différentes (exemple les 300 derniers mètres du T5 : figs 4 et 5).

Des chenaux et des fonds de sable intermatte peuvent être distingués à l'intérieur de l'herbier (exemple: le chenal de sable de 40 m de large à 8 m de fond face à la pointe Lequin (figs 2 et 3, transect 3). Cependant, nous avons constaté que les algues photophiles sur roche et les feuilles mortes de *P. oceanica* en épave donnent la même réponse spectrale que l'herbier à *P. oceanica*, et sont ainsi susceptibles d'induire des erreurs d'interprétation. Des erreurs d'interprétation similaires peuvent être faites en utilisant des photographies aériennes couleur prises à faible altitude (Boudouresque *et al.*, 1985). Nous avons également constaté que la matte morte de *P. oceanica* couverte d'algues photophiles, rencontrée sur une large surface entre 5 et 11 m de profondeur (transect 6, figs 2 et 4), se confond avec l'herbier vivant qui l'entoure. Cette discrimination est pourtant fondamentale pour la surveillance de la partie superficielle de l'herbier de *P. oceanica*. L'analyse comparative d'images multitemporelles traitées de ce secteur permettrait peut-être de discriminer les deux peuplements (la flore algale photophile de matte morte est essentiellement annuelle et subit de fortes fluctuations qualitatives et quantitatives).

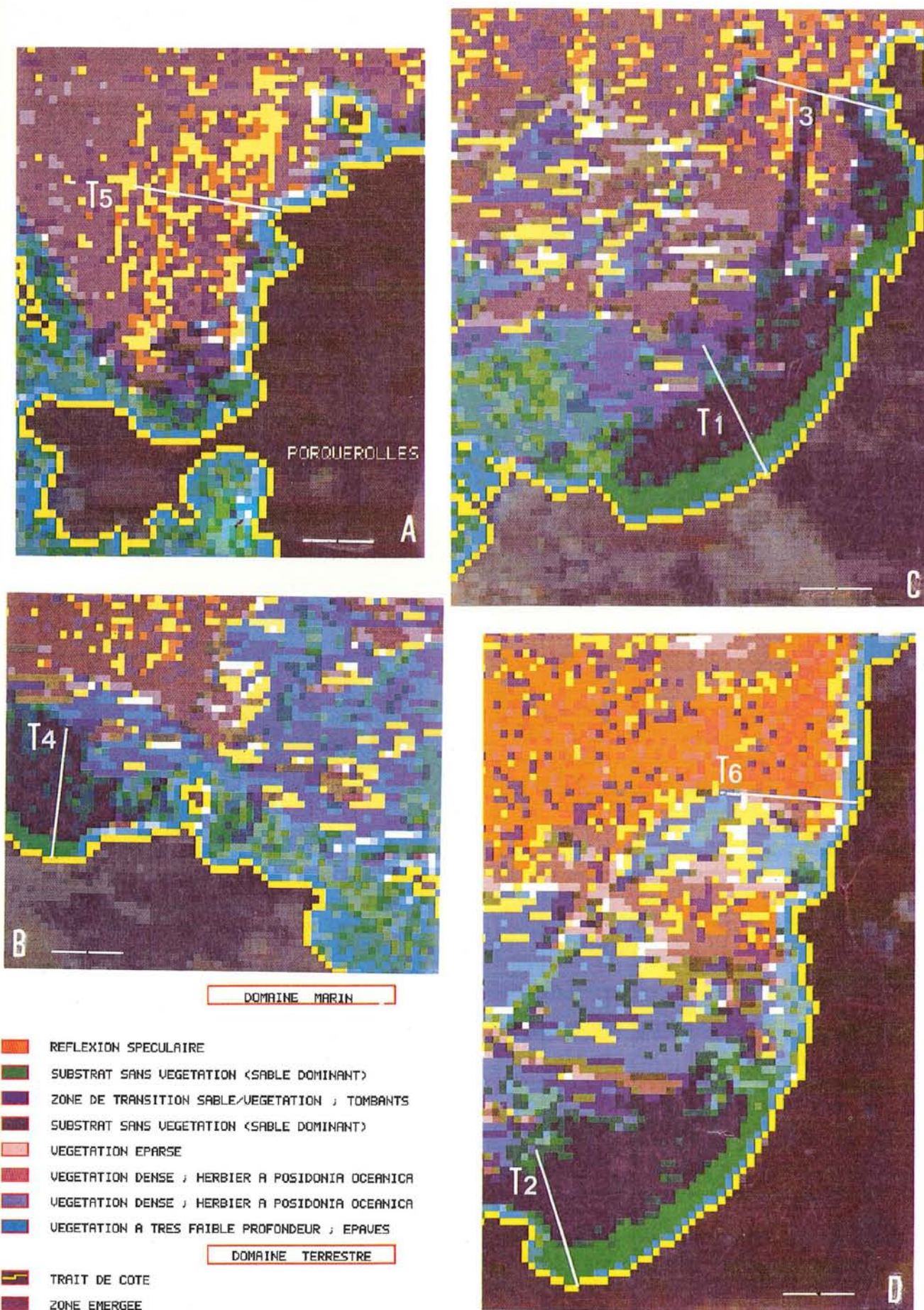


Figure 5
 Résultat final: image Spot, traitée et interprétée : les secteurs étudiés avec position des transects (T1 à T6 ; traitement: T. Belsher / IFREMER).
 Final result: interpretation of processed Spot imagery, with positions of transects T1 to T6 (treatment by T. Belsher, IFREMER).

CONCLUSIONS

Dans l'ensemble, les traitements se sont avérés moins précis que ceux obtenus à partir des simulations d'image Spot (Belsher *et al.*, 1988). L'absence d'utilisation du mode panchromatique à résolution de 10 m, et surtout la réflexion spéculaire, sont vraisemblablement les causes de ce manque de précision. Une grande partie de la scène est occultée par des phénomènes de réflexion spéculaire ; toutefois, certains secteurs de cette scène peuvent être exploités, en particulier la partie nord de l'île de Porquerolles. Les traitements réalisés pour la cartographie des limites des principales biocénoses superficielles (0 à 10 m de profondeur) de l'étage infralittoral, permettent une discrimination aisée de peuplements ou substrats voisins très contrastés, comme sable et herbiers à *P. oceanica* ou sable et autre type de peuplement dense sur roche (ou sable / feuilles mortes de *P. oceanica*). Cependant, certaines ambiguïtés de discrimination de divers composants végétaux n'apparaissent pas pouvoir être levées par les divers traitements réalisés sur une seule image. Ces difficultés d'interprétation pourront être réduites par :

- des prises de données répétitives et comparables ;
- l'intégration du canal panchromatique dans le traitement des images (des résultats encourageants ont été obtenus avec des traitements d'image Spot simulées où le canal XP a été retenu : Belsher *et al.*, 1988) ;
- pour les secteurs où le satellite ne peut prendre une image verticale, une comparaison d'images du même site, mais prises avec une orientation différente, pourrait améliorer les discriminations (vues obliques d'un même site, l'une vers l'ouest, l'autre vers l'est, lors de deux passages successifs du satellite de part et d'autre de la zone d'étude).

Dans les zones sombres et uniformes sur les photographies aériennes, correspondant le plus souvent à des herbiers de *P. oceanica* homogènes, situés au-delà de 10 m, les traitements donnent des nuances dont la signification n'a pu être mise en évidence malgré les contrôles effectués en plongée sous-marine. Au-delà de 15 m, les fonds prennent un aspect soit uniforme, soit très diversifié, alors qu'ils sont homogènes.

Cette étude nous permet de donner des indications préliminaires sur l'utilisation de l'outil Spot pour la cartographie des peuplements et types de fonds immergés :

- Des repérages cartographiques en plongée sous-marine (vérité terrain) restent nécessaires pour l'interprétation des traitements (tout comme pour l'interprétation des photographies aériennes). La méthode des transects apparaît très appropriée pour la validation des images Spot. En l'occurrence, chaque transect s'étend sur 400 m, soit 20 pixels. Le nombre de transects à effectuer et la stratégie de leur répartition doivent être déterminés en fonction des paramètres locaux et des indications données par les traitements préliminaires des images Spot.

- Pour le phytobenthos, en l'état actuel des potentialités de traitement de l'image, les données du satellite Spot n'apparaissent utilisables en Méditerranée occidentale que pour la cartographie des petits fonds de 0 à 10 m de profondeur en faible déclivité (inférieure ou égale à 5 %), qui ne sont pas les plus fréquents sur les côtes de Méditerranée. Même avec une déclivité de cet ordre, la bande de littoral immergée où le satellite peut donner des informations est très restreinte (l'information cartographiable se répartit le plus souvent sur quelques dizaines de pixels seulement). Ainsi, à part quelques secteurs assez rares en Méditerranée (comme par exemple le golfe de Gabès), seules des portions de scène pourront être traitées de manière homogène. L'échelle optimale apparaît être supérieure au 1/25 000^{ème} (actuellement les cartographies des biocénoses marines sont réalisées à des échelles qui se situent essentiellement entre le 1/5000^{ème} et le 1/500^{ème} : Meinesz *et al.*, 1983).

- Pour un secteur déterminé, l'heure d'acquisition des données par le satellite ne peut être modifiée. Il apparaît ainsi que certains secteurs ne seront survolés par Spot qu'à des heures où la réflexion spéculaire perturbe la saisie des données. Il convient ainsi de vérifier, avant toute programmation d'image, si le secteur choisi peut permettre, à une heure et saison définie, de saisir convenablement des données exploitables (abaque des heures et saisons favorables dans Lefèvre *et al.*, 1984). Dans certains secteurs de la Méditerranée, la prise de données radiométriques sera toujours oblique : il conviendra d'évaluer la réflexion spéculaire en fonction de l'inclinaison des capteurs du satellite et de l'heure-saison de survol. De même, l'inclinaison des capteurs du satellite doit être dans la même direction que l'éclairage solaire. Une abaque spécialement conçue pour les utilisateurs de Spot pour la cartographie des fonds marins pourrait être constituée.

- Pour les études concernant les milieux immergés, afin d'atténuer le filtre que constitue l'eau, il est souhaitable que les futurs satellites soient équipés de capteurs du canal bleu (0,455 - 0,49 mm). Le traitement des réponses spectrales dans les longueurs d'ondes de ce canal est très utile pour discriminer les détails situés à plus grande profondeur. Le satellite Landsat, équipé d'un capteur permettant une perception du canal bleu, peut discriminer (avec une résolution moins précise que Spot) divers types de fonds jusqu'à 35 m (dans certains lagons d'atolls du Pacifique où l'eau est particulièrement claire : Pirazzoli, 1982), ce qui double les potentialités du satellite et permet de meilleures discriminations par petits fonds.

Des recherches complémentaires sont encore nécessaires pour approfondir les potentialités du satellite Spot pour une utilisation rentable et compétitive par rapport à la cartographie des petits fonds avec des photographies aériennes (seul support de cartographie des biocénoses marines que le satellite peut concurrencer). Ces recherches devraient être réalisées sur une image prise dans des conditions optimales.

Remerciements

Nous remercions R. Pierson et R. Boulesteix pour l'aide apportée dans l'acquisition des données de terrain, et Mme A. Lacoste pour les dessins. Nous remercions également le

Parc National de Port-Cros pour l'appui logistique à Porquerolles. Cette étude a bénéficié du concours financier de l'IFREMER (convention IFREMER / GIS Posidonie), dans le cadre des programmes PEPS (projet VEGMA).

RÉFÉRENCES

- Augier H.** (1978). Peuplements benthiques de l'île de Porquerolles (Méditerranée, France). I: Carte de l'anse du Bon Renaud et de la plage d'Argent. *Trav. sci. Parc nation., Port-Cros*, **4**, 89-100.
- Belbeoch G.** (1983). Logiciel interactif de traitement d'images numériques GIPSY, version II. IFREMER Ed., Brest, Département Informatique, 232 pp.
- Belsher T., A. Meinesz, J.-R. Lefèvre et C.-F. Boudouresque** (1988). Simulation of Spot satellite imagery for charting shallow-water benthic communities in the Mediterranean. *P.S.Z.N.I. Mar. Ecol.*, **9**, 2, 157-165.
- Belsher T., A. Meinesz et M. Viollier** (1985). Étude thématique des simulations Spot 1980 et 1982. Les peuplements végétaux marins immergés. *5ème Congrès Ass. Québec. Télédétection, Québec*, **5**, 399-408.
- Boudouresque C.F., A. Meinesz et J.-R. Lefèvre** (1985). Cartographie des peuplements benthiques marins de Corse. I : La formation récifale à *Posidonia oceanica* de Saint-Florent. *Ann. Inst. océanogr., Paris*, **61**, 1, 27-28.
- Caye G. et A. Meinesz** (1985). Observations of the vegetative development, flowering and seeding of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asherson on the Mediterranean coasts of France. *Aquat. Bot.*, **26**, 75-87.
- Colantoni P., P. Galignani, E. Fresi et F. Cinelli** (1982). Patterns of *Posidonia oceanica* (L.) Delile beds around the island of Ischia (Gulf of Naples) and in adjacent waters. *P.S.Z.N.I. : Mar. Ecol.*, **3**, 1, 53-74.
- Doak E., J. Livizay, D.R. Lyzenga, J. Ott et F.C. Polcyn** (1980). Evaluation of water depth extraction techniques using Landsat and aircraft data, Final Report, Defense Mapping Agency, Hydrographic/Topographic Center, Washington DC, 1359000-2-J, 208 pp.
- Gili J.M. et J. Ros** (1985). Study and Cartography of the Benthic Communities of Medes Islands (NE Spain). *P.S.Z.N.I. : Mar. Ecol.*, **6**, 3, 219-238.
- Lefèvre J.-R., C. Valerio et A. Meinesz** (1984). Optimisation de la technique de la photographie aérienne pour la cartographie des herbiers à *Posidonie*. *Proc. 1st Intern. Workshop on Posidonia beds*, 43-49.
- Meinesz A., J.-M. Astier et J.-R. Lefèvre** (1981). Impact de l'aménagement du domaine maritime sur l'étage infralittoral du Var, France (Méditerranée occidentale), *Ann. Inst. océanogr., Paris*, **57**, 2, 65-77.
- Meinesz A., C.-F. Boudouresque, C. Falconetti, J.-M. Astier, D. Bay, J. Blanc, M. Bourcier, F. Cinelli, S. Cirik, G. Cristiani, I. Di Géronimo, G. Giaccone, J.-G. Harmelin, L. Laubier, A.Z. Lovric, R. Molinier, J. Soyer et C. Vamvakas** (1983). Normalisation des symboles pour la représentation et la cartographie des biocénoses benthiques littorales de Méditerranée. *Ann. Inst. océanogr. Paris*, **59**, 2, 155-172.
- Meinesz A., M. Cuvelier et R. Laurent** (1981). Méthodes récentes de cartographie et de surveillance des herbiers de phanérogames marines, leur application sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Vie et Milieu*, **31**, 1, 27-34.
- Meinesz A. et M. Simonian** (1983). Cartes de la végétation sous-marine des Alpes-Maritimes (côtes françaises de la Méditerranée) II : La végétation mixte à *Cymodocea nodosa* - *Zostera noltii* - *Caulerpa prolifera* et la limite supérieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* entre Juan les Pins et Golfe Juan. *Ann. Inst. océanogr. Paris*, **59**, 1, 39-53.
- Meinesz A., C.-F. Boudouresque et J.-R. Lefèvre** (1988). A map of the *Posidonia oceanica* beds of Marina d'Elbu (Corsica, Mediterranean). *P.S.Z.N.I. : Mar. Ecol.*, **9**, 3, 243-252.
- Pergent G., C.-F. Boudouresque et B. Vadier** (1985). Étude préliminaire des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la côte des Albères (Pyrénées-Orientales, France). *Ann. Inst. océanogr. Paris*, **61**, 2, 97-114.
- Orth R.J. et K.A. Moore** (1983). Submersed vascular plants : techniques for analyzing their distribution and abundance. *Mar. Tech. Soc. J.*, **17**, 2, 38-52.
- Polcyn F.C. et D.R. Lyzenga** (1973). Updating coastal and navigational charts using ERTS-1 data. *3rd Earth resources technology satellite Symp., Washington DC*, **M4**, 1335-1346.
- Pirazzoli P.A.** (1982). Télédétection en milieu récifal, utilisation d'une image Landsat pour évaluer la bathymétrie dans l'atoll de Rangiroa (Polynésie française), *Oceanis*, **8**, 4, 297-308.
- Pirazzoli P.A.** (1985). Bathymetric mapping of coral reefs and atoll from satellite. *Proc. 5th intern. Coral Reef Congr., Tahiti*, **6**, 539-544.