

MÉTHODES RÉCENTES DE CARTOGRAPHIE ET DE SURVEILLANCE DES HERBIERS DE PHANÉROGAMES MARINES

Leurs applications sur les côtes françaises de la Méditerranée

Alexandre MEINESZ ⁽¹⁾, Michèle CUVELIER ⁽²⁾ et Richard LAURENT ⁽³⁾

(1) Laboratoire de Biologie et d'Écologie Marines
Université de Nice - Parc Valrose - 06034 Nice Cedex

(2) Station Zoologique de Villefranche-sur-Mer
Université de Paris - La Darse - 06230 Villefranche-sur-Mer

(3) Cellule d'Intervention contre les Pollutions
dans les Alpes Maritimes -
Centre Administratif Départemental B.P. 3-06028 Nice Cedex

CARTOGRAPHIE
PHANÉROGAMES MARINES
MÉDITERRANÉE

RÉSUMÉ. - Toutes les méthodes de cartographie des herbiers de Phanérogames marines appliquées sur les côtes françaises de la Méditerranée ont été décrites et analysées par les auteurs. Parmi ces méthodes, nous pouvons distinguer celles qui demandent une vision rapprochée de l'herbier (utilisation de la plongée sous-marine ou d'un sous-marin d'exploration). Elles permettent de bien relever les différents états de l'herbier, mais leur localisation est limitée au seul parcours linéaire des plongeurs ou du sous-marin. D'autres méthodes permettent d'obtenir une vue d'ensemble (photographie aérienne ou sonar latéral). Elles donnent des cartes très précises des contours de l'herbier (entre 0 et - 20 m pour la photographie aérienne et entre - 5 m et les limites inférieures pour le sonar latéral). Pour ces méthodes, des plongées sont nécessaires pour identifier certaines images ou pour reconnaître l'état de l'herbier. Pour suivre avec plus de précision toute modification de l'herbier sans recourir à une campagne de cartographie, on peut réaliser un balisage sur certains sites judicieusement choisis. Toute régression ou progression de l'herbier peut ainsi être mesurée d'année en année.

MAPPING
SEA GRASS BEDS
MEDITERRANEA

ABSTRACT. - All the methods of mapping the seagrass beds which have been applied on the Mediterranean French coast are described and analysed by the authors. Among these methods, we have sorted out those which require a close investigation of the beds (by utilization of the SCUBA technique or an exploratory submarine). They allow us to show accurately the different aspects of the sea-grass beds, but the localization is limited to the area where the divers and the submarine have passed. Other methods permit us to obtain general survey (aerial photographs or utilization of side-scan sonar system). For the latter, it is necessary to dive in order to determine the condition of the sea-grass beds. To follow with more precision any change in the beds without having to do a new mapping expedition, underwater sea-marks on some particularly well chosen sites can be used. Any regression or progression of the beds can thus be measured easily from year to year.

INTRODUCTION

La cartographie des biocénoses marines sur les côtes françaises de Méditerranée a déjà fait l'objet de nombreuses publications. Les cartes ont été réalisées le plus souvent à des échelles supérieures au 1/50 000^e, et localisent les principales biocénoses des étages infra et circa-

littoraux. Sur ces documents figurent les limites des herbiers de Phanérogames (ex. : biocénoses marines et terrestres du Cap Corse, Molinier, 1960 ; biocénoses des parages de Marseille, Picard, 1965 ; carte bionomique de Port-Vendres au Cap Rederis, Laubier, 1966). Ces cartes ont été réalisées essentiellement par l'emploi de la technique du quadrillage par dragage (décrite par Molinier et

Picard, 1961). Cette méthode a succédé à l'emploi de la benne ou du plomb de sonde, qui ont permis notamment aux Services Hydrographiques de la Marine Française de figurer sur les cartes marines des indications relatives à l'état des fonds (roche, herbiers, sable, vase; le terme « algues » étant souvent utilisé à tort pour localiser des Phanérogames marines).

Les premières cartes effectuées plus particulièrement pour localiser la présence des herbiers de Phanérogames ont été réalisées par ces méthodes conventionnelles (une liste des cartes d'herbiers actuellement dressées en Méditerranée a été établie par Boudouresque et Foucher (1975, p. 7) et Boudouresque *et al.* (1977); pour les Alpes Maritimes, Meinesz et Lefèvre (1978) donnent une liste exhaustive.

Les récentes observations faites essentiellement sur les côtes de Provence-Côte d'Azur montrent que la couverture des Phanérogames a tendance à diminuer, surtout au voisinage des grands centres urbains. Cette régression est très sensible au niveau de la limite inférieure des herbiers (Pères et Picard, 1975; Pères, 1977; Meinesz et Laurent, 1978).

L'importance de l'utilité des Phanérogames pour l'équilibre des biocénoses littorales et leur fragilité, maintenant reconnue, nécessitent une cartographie plus précise. De nouvelles techniques ont été ainsi élaborées ces dernières années, et appliquées essentiellement sur les côtes de Provence-Côte d'Azur.

I. LA PLONGÉE SOUS-MARINE

L'exploration sous-marine en apnée ou à l'aide de scaphandre autonome a permis l'élaboration de nombreux relevés de cartes d'herbier à grande échelle (généralement supérieure au 1/5000^e). Plusieurs croquis des fonds ou coupes de secteurs localisés ont été ainsi réalisés notamment par Molinier et Picard (1952) et Laubier (1966). Ces dix dernières années, de grands progrès ont amélioré l'utilisation de ce moyen pour la cartographie.

Deux techniques peuvent être distinguées

- *L'exploration de profils*

Cette méthode consiste à prospecter en plongée un trajet sous-marin précis, selon un cap déterminé. Les observations concernant la présence ou l'absence de l'herbier ainsi que celles relatives à son état sont notées. Les cartes réalisées par ce moyen couvrent généralement de petites surfaces (inférieures à 100 hectares).

- *Les plongées d'identification*

Ces plongées ont pour but d'identifier les différentes biocénoses observées de la surface. Ces observations sont effectuées préalablement à bord d'une embarcation, au sommet d'un point de vue ou par l'intermédiaire de photos aériennes. Seul l'herbier, situé entre 0 et - 10 m (- 20 m maximum), est bien perceptible de la surface et peut être ainsi cartographié. Les images obtenues au sonar latéral nécessitent également des plongées d'identification.

Les quelques exemples suivants de cartographie d'herbier en plongée illustrent l'évolution des techniques utilisées :

Harmelin et True (1964) ont effectué des plongées dans la région marseillaise en utilisant une planche de remorquage tirée en profondeur par un hors-bord marchant à vitesse réduite (deux nœuds). A chaque point particulier (limite d'herbier ou modification de la végétation), le plongeur, qui traîne une bouée de surface, lâche la planche et fixe la bouée à l'aplomb du point. La profondeur est notée au bathymètre, et les coordonnées sont relevées en surface au sextant (carte à l'échelle 1/50 000^e; la limite inférieure des Posidonies située à - 30 m est figurée).

A Port-Cros, plusieurs cartes ont été réalisées par Augier et Boudouresque, à des échelles comprises entre le 1/1250^e et le 1/5000^e. Les auteurs ont utilisé des photos aériennes qui ont été interprétées grâce à de nombreuses plongées en scaphandre autonome ou en apnée. Les zones cartographiées sont limitées entre 0 et - 15 m : Baie de la Palu (1967); Baie de Port Man (1970 a); Baie de Port-Cros (1970 b); zone superficielle de l'étage infralittoral de 9 secteurs de côte rocheuse (1976). La même méthode a été utilisée par Augier (1978) à Porquerolles.

Dans la région toulonnaise, le groupe Ecomair, aidé par des plongeurs démineurs de la Marine Nationale, a effectué de nombreuses plongées sur des profils améliorant la technique de relevé. Le cap suivi en plongée est maintenu par une boussole submersible. A chaque point particulier, les plongeurs libèrent une petite bouée de repérage. Les coordonnées de la bouée sont immédiatement relevées en surface au cercle hydrographique par une équipe qui suit la progression des plongeurs à bord d'une embarcation. Les profils, espacés de 30 à 150 mètres, sont parcourus par un groupe de 2 plongeurs. Cartes réalisées : Rade abri de Toulon au 1/2 000^e; Rade des Vignettes au 1/2 000^e - Astier (1972, 1975); Ecomair (1973 a, 1973 b).

A Beaulieu (Alpes-Maritimes) des plongeurs de l'Université de Nice : Falconetti *et al.* (1974) ont réalisé une carte très précise d'une petite réserve sous-marine. Les profils ont été matérialisés sur le fond de la façon suivante : à partir d'un point choisi à terre, un technicien, muni d'un compas, vise la direction d'un profil perpendiculaire à la côte. Pendant ce temps, une embarcation navigue parallèlement au rivage et traverse ainsi la ligne de visée. A chaque passage, le technicien situé à terre donne à l'embarcation le signal d'immersion d'un corps mort. Cette opération est répétée plusieurs fois, ainsi, le profil est matérialisé précisément par les corps morts que l'on relie au fond par un filin. Les observations, effectuées tous les 5 mètres par un groupe de deux plongeurs, ont été communiquées à la surface par liaison phonique (utilisation de téléphones sous-marins). Une carte très précise au 1/500^e couvrant 8 hectares a été ainsi réalisée (profondeur maximum : - 15 mètres).

A Menton, Meinesz et Falconetti (1975) matérialisent les profils sur le fond en déroulant en surface un filin

selon un axe relevé au compas. Ce filin est plombé et marqué tous les 5 mètres par un repère. Les plongeurs explorant le profil peuvent ainsi localiser rapidement et avec précision les observations réalisées sur le fond sans recourir à une aide extérieure: Carte de l'herbier de *Cymodocea nodosa* au 1/2000^e; profils de 250 m de longueur; profondeur maximale atteinte: -10 mètres (Pl. I, 1 et 2).

II. LA PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE

Plusieurs cartes ont été établies grâce à l'utilisation de photographies aériennes qui permettent une bonne localisation des contours de l'herbier situé entre la côte et

- 10 m (- 20 m maximum). Les petits fonds ainsi cartographiables sont souvent très variés: les herbiers de Posidonies alternent avec ceux de Cymodocées; des roches recouvertes d'algues photophiles et des plages de sable ou de vase peuvent s'y rencontrer. Ces biocénoses sont parfois difficiles à différencier sur des photos aériennes, et il convient d'effectuer des plongées d'identification pour les déterminer avec certitude. Les cartes effectuées à Port-Cros par Augier et Boudouresque ont nécessité de nombreuses plongées malgré l'utilisation de photographies aériennes prises à bord d'un hélicoptère (1967, 1970 a, b, 1976).

Ces photographies sont souvent prises en noir et blanc, mais la couleur est également employée et nous avons constaté notamment qu'elle permet de mieux différencier un herbier de Posidonies (qui donne une teinte vert foncé à bleu selon la profondeur), d'un herbier de Cymodocées (teinte vert clair à bleu foncé). Les limites supérieures des herbiers de Posidonies figurées sur les nombreuses cartes couvrant les côtes des Bouches-du-Rhône et du Var (Blanc, 1975 et Blanc et Jeudy-de-Grissac, 1978), ont été localisées essentiellement grâce aux documents photographiques en émulsion ectachrome de l'Institut Géographique National.

Les réponses spectrales données par un herbier peuvent être amplifiées par des filtres sélectionnés qui permettent une meilleure réception de la longueur d'onde caractéristique d'un herbier. Malheureusement, la pénétration sélective de la lumière et la diminution rapide de son intensité en fonction de la profondeur, donnent une image des fonds d'autant plus monochrome (bleu), et moins contrastée que la profondeur est importante. Ainsi, si la zone actuellement exploitable par cette méthode est située entre 0 et -10 m (-20 m au maximum), tout progrès en vue de cartographier l'herbier situé à de plus grandes profondeurs reste hypothétique.

A cette méthode s'oppose également un aspect pratique qu'il ne faut pas négliger: sa bonne application est fonction de nombreux paramètres liés à l'état de la mer et à sa turbidité. Les meilleurs résultats seront obtenus avec une mer absolument calme sans aucune ride, et avec une turbidité minimale pour le secteur considéré. Ces conditions sont essentielles pour obtenir de bons clichés et sont déterminantes pour la portée maximale en profondeur. De telles conditions sont aléatoires, il faut ainsi prévoir pendant une assez longue période la mobilisation de moyens importants nécessaires à l'application de cette méthode (avions et hélicoptères équipés du matériel photographique adéquat).

III. L'UTILISATION D'UN SOUS-MARIN D'EXPLORATION

Une nouvelle technique de cartographie de l'herbier a été mise au point et appliquée sur les côtes des Alpes Maritimes et du Var. La méthode est fondée sur l'utilisation d'un sous-marin qui a pour mission de suivre avec

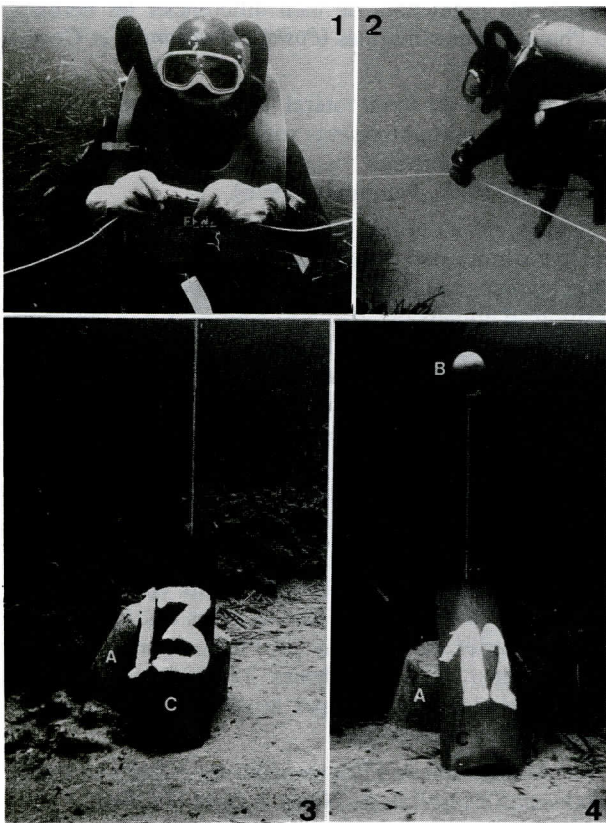


PLANCHE I

1 et 2: Cartographie d'un herbier de Posidonie en plongée sous-marine. Utilisation d'un filin avec repères plombés matérialisant le profil. 3 et 4: Balises disposées à la limite inférieure d'un herbier de Posidonie (Galeria - Corse, -36 m). a) Balise (30kg de béton); b) Bouée repère; c) Numérotation de la balise.

1 and 2: Mapping of a Posidonia bed by underwater diving. Use of a rope with leaded reference markers to materialize the cross section. 3 and 4: Markers placed at the lower limits of a Posidonia bed (Galeria, Corse, -36 Meters) a) Marker (30 kg of concrete) b) reference marker buoy c) Numbering of the marker.

précision la limite inférieure de l'herbier de Posidonies. En relevant la route du submersible, on obtient la cartographie de la limite de l'herbier. Cette méthode a été appliquée la première fois sur le littoral des Alpes Maritimes en 1976 et 1977. Six cartes au 1/5000^e couvrant plus de 30 km de limite inférieure d'herbier de Posidonies ont été ainsi dressées (Meinesz et Laurent, 1978, 1980, 1982). Depuis, Augier et Boudouresque (1979) ont également appliqué cette méthode au Sud de l'île du Levant où 2 km de limite inférieure de l'herbier ont été cartographiés.

Pour relever la route du sous-marin, et pour suivre la limite inférieure de l'herbier avec un maximum de précision, nous avons utilisé de nombreux dispositifs de localisation et d'observation dont étaient munis les bâtiments de la Marine Nationale « Triton » (bâtiment d'intervention et d'exploration sous-marine) et « Griffon » (sous-marin d'exploration) qui ont participé à toutes les campagnes. Le Triton a relevé, à intervalles d'une minute, d'une part la position du sous-marin, et d'autre part sa propre position par rapport à la côte. Le repérage du sous-marin a été réalisé par le sonar (DUBA 1 B) du Triton. Le Triton a pu se localiser avec une grande précision grâce à l'utilisation de Balises radio disposées à terre (Range positioning system). Les mesures ont été facilitées par la mise en ancrage dynamique du Triton, qui, en se mettant au point fixe, a gardé pendant de longues périodes la même position par rapport à la côte.

Plusieurs moyens ont servi au sous-marin pour diriger sa route sans perdre la limite inférieure des Posidonies. Des hublots permettent une vision directe de cette limite qui a également été suivie à l'intérieur du submersible sur un écran de télévision grâce aux images fournies par une caméra orientable disposée à l'avant du sous-marin. Au cours des huit plongées effectuées à bord du sous-marin, nous avons pu remarquer que le sonar de navigation du sous-marin (de type Straza) permettait d'observer avec une portée importante (100 m) la limite inférieure des herbiers situés sur des fonds homogènes non rocheux. L'utilisation du sonar s'est ainsi révélée très efficace, et a permis de suivre rapidement (4 nœuds) et sans erreur, certaines limites régulières qui donnaient des échos très distincts des fonds sablo-vaseux.

La précision de cette cartographie a été évaluée à ± 20 m, le grand nombre de mesures (une toutes les minutes) et la mise en ancrage dynamique ont réduit l'ampleur des erreurs de positionnement.

Un observateur embarqué à bord du Griffon a noté, au fur et à mesure de la progression du submersible, l'état de l'herbier au niveau de sa limite inférieure. Ces observations ont été transcrites sur les cartes, et ont permis d'effectuer une classification des différents types d'herbiers susceptibles d'être rencontrés au niveau de la limite inférieure (Meinesz et Laurent, 1978).

IV. L'UTILISATION DU SONAR LATÉRAL

Le son a été utilisé depuis longtemps pour observer les fonds marins : les premiers sondeurs à écho fonctionnant à basse fréquence, actuellement très communs, ont été utilisés dès 1929. Ce n'est qu'en 1958 que Chersterman, Clynick et Stride ont mis au point le sonar à exploration latérale à haute fréquence. Cet appareil s'est avéré extrêmement utile pour l'étude géologique des fonds, son emploi a fait l'objet de nombreuses publications (des bibliographies importantes sont données par Belderson *et al.*, 1972 et Flemming, 1976).

Plus récemment, Newton et Stefanon (1975) ont réussi notamment à mettre en évidence sur des enregistrements des rebords de matte morte de *Posidonia oceanica*. L'un de nous : Cuvelier (1976) a obtenu des enregistrements permettant de bien différencier les herbiers de Phanérogames marines (*Posidonia oceanica* et *Cymodocea nodosa*).

Le principe du sonar latéral, son utilisation et l'interprétation des enregistrements sont bien connus et décrits par ailleurs (synthèses dans Belderson *et al.*, 1972; Leenhardt, 1974; Flemming, 1976).

L'appareillage utilisé comprend d'une part le « poisson » et d'autre part, l'enregistreur. Le « poisson » est un corps ovoïde, équilibré hydrodynamiquement, tracté en position d'immersion par un bateau. Ce « poisson » contient deux transducteurs situés à droite et à gauche de son axe qui explorent chacun un côté du profil parcouru par l'embarcation. L'enregistreur, relié au poisson par un câble, est disposé à bord de l'embarcation. Les signaux recueillis, transcrits sur un papier électrolytique, constituent le sonogramme, celui-ci représente une vue oblique des zones explorées (Pl. II, 7).

L'un de nous, Cuvelier (avec la collaboration de Meinesz), a utilisé le sonar latéral au cours de trois campagnes de cartographie sur les côtes des Alpes Maritimes. 7 cartes des herbiers de Phanérogames marines ont été ainsi établies, échelles 1/2 000^e et 1/1 000^e. Cartes réalisées et éditées par la société SCOP Océanographie, sous contrat avec :

- la direction de l'Équipement des Alpes maritimes, subdivision Maritime de Nice : 1 carte (1977 a);
- la ville de Nice : 3 cartes (1977 b);
- la ville de Cannes et la Direction de l'Équipement des Alpes Maritimes C.I.P.A.M. : 3 cartes (1977 c).

Par la suite, cette méthode a été appliquée avec succès par Cristiani (1980) sur la côte bleue (Bouches-du-Rhône).

Au cours de ces campagnes, nous avons utilisé un sonar latéral à haute fréquence (100 KHZ, durée d'impulsion 0,1 ms); le poisson a été tracté à une vitesse de 2 nœuds. Sa portée est de 75 mètres, soit 150 mètres pour chaque profil parcouru. Pour obtenir un bon recouvrement et une meilleure interprétation des sonogrammes, nous avons déterminé des profils parallèles

espacés de 100 mètres. Toutes les trente secondes, un repère a été imprimé sur le sonogramme, ce qui permet de localiser les fonds cartographiés. La position du bateau a été relevée toutes les minutes, soit par triangulation au moyen de deux théodolites disposés à terre, soit par positionnement radio-électrique (balises radio disposées à terre : système DECCA - Motorola).

La bonne utilisation de ce système nous a permis de différencier très nettement l'herbier de *Cymodocea nodosa* des fonds non colonisés par cette espèce (Pl. II, 7), et nous avons notamment remarqué que la limite inférieure de l'herbier de Cymodocées est le plus souvent très franche (Baie de Nice : - 15 m; Rade de Cannes : - 10 m). L'image donnée par un herbier de Cymodocées (trames en pointillé) est nettement différente de celle donnée par un herbier de Posidonies (trame granuleuse caractéristique). Ainsi, les deux herbiers qui se succèdent souvent peuvent bien être distingués. Les sonogrammes permettent une cartographie aisée et extrêmement pré-

cise des herbiers de Posidonies : au sein de l'herbier, les chenaux et les cuvettes de sable ainsi que les traces causées par les ancrs importantes sont perceptibles. Les touffes de Posidonies isolées peuvent également être décelées lorsque leur surface est supérieure à 2 m² (Pl. II, 7). Dans certains cas, on arrive même à déterminer le type de limite (classification Meinesz et Laurent 1978) ainsi :

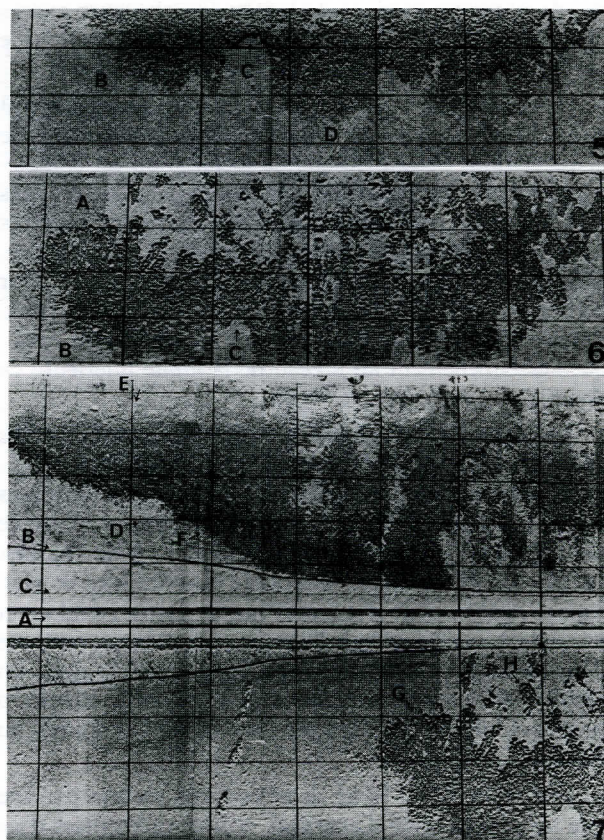
- Un rebord de matte en limite donne une image très reconnaissable (Pl. II, 5 et 6). Si le poisson est tracté en aval du rebord ce dernier reflète bien les échos sonores qui apparaissent sous forme d'une marque noire très contrastée (Pl. II, 5). Si le poisson est tracté en amont du rebord de matte, celui-ci constitue une zone aveugle pour le sonar, ce qui donne une ombre « blanche » (Pl. II, 6).

- Les variations importantes du recouvrement de l'herbier peuvent également se déceler sur les sonogrammes. La trame granuleuse caractéristique de l'herbier de

PLANCHE II

5, 6 et 7 : Photographies d'enregistrements réalisés au sonar latéral dans la rade de Cannes : Cannes la Bocca. 5, et 6, Détails de sonogrammes (un canal) des limites inférieures et supérieures d'un herbier de *Posidonia oceanica* (- 10 m, - 20 m). Ces enregistrements figurent deux passages successifs (dans le même sens : de droite à gauche) sur les mêmes limites. 5, Enregistrement sur le canal de droite du sonar : le rebord de matte situé en limite inférieure apparaît sous forme d'une ombre blanche qui permet de déduire la hauteur de la matte (poisson en amont de la limite). 6, Enregistrement sur le canal de gauche du sonar : le même rebord de matte apparaît très contrasté (poisson en aval de la limite). a) Limite supérieure de l'herbier, b) Limite inférieure de l'herbier, c) Rebord de matte (limite de type 3 dans la classification Meinesz-Laurent, 1978), d) Limite inférieure de l'herbier se terminant en dégradé (limite de type 1). 7, Sonogramme présentant 2 canaux : a) Position « O » du poisson, b) Enregistrement du fond, c) Enregistrement de la surface, d) ligne d'échelle transversale (15 m entre chaque ligne), e) Ligne d'échelle horizontale (intervalle de temps entre deux lignes : 30 secondes), f) Limite inférieure de l'herbier de *Cymodocea nodosa*, g) Touffes isolées de *Posidonia oceanica*, h) Limite supérieure de l'herbier de Posidonies.

5, 6 and 7 : Photographs of the side scan sonar recordings made in the bay of Cannes (Cannes la Bocca) 5, and 6, Détail of sonographs (one canal) of the lower and superior limits of the *Posidonia oceanica* beds (- 10 meters) These recording show two successive passages (in the same direction : from right to left) over the same limits. 5, Recording from the canal of right hand side of the sonar : the edges of the rhizome layer situated at the lower limit show up as a white shadow. It is thus possible to deduct the height of the rhizome layer. 6, Recording from the canal edge appears contrasted; a) Superior limit of the bed, b) lower limit of the bed, c) edge of rhizome layer (limit of type 3 in the classification of Meinesz and Laurent 1978). 7, Sonograph showing 2 canals; a) position « O » of the fish, b) recor-



ding of the sea floor, c) recording of the surface, d) transversal graphic line (15 meters between each line), e) horizontal graphic line (time interval between 2 lines : 30 seconds), f) lower limit of bed of *Cymodocea nodosa*, g) superior limit of the bed of *Posidonia*, h) isolated clusters of *Posidonia oceanica*.

Posidonies est de moins en moins contrastée au fur et à mesure que la densité de l'herbier diminue (Pl. II, 5 et 6).

L'utilisation du sonar latéral s'est avérée peu opérationnelle d'une part sur des fonds rocheux, qui gênent une bonne perception des herbiers et d'autre part par petits fonds (entre 0 et - 5 m) où la traction du poisson pose des problèmes pratiques.

Cette technique, nouvelle pour la cartographie des herbiers, s'avère déjà extrêmement pratique et précise. Des améliorations concernant le réglage de l'enregistreur, ainsi que la lecture des sonogrammes (avec leur interprétation éventuelle par ordinateur) permettront d'augmenter les données fournies par ce moyen.

V. LE BALISAGE

Les méthodes précitées nécessitent, le plus souvent, la mise en œuvre de moyens importants ou de nombreux plongeurs qualifiés. En outre, pour vérifier toute évolution il faut refaire une nouvelle campagne de cartographie. Seule une régression ou une transgression de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres (de plusieurs mètres dans les meilleurs cas) peut être décelée (en fonction de la précision des cartes de référence et de contrôle).

Le balisage d'un herbier permet d'évaluer rapidement et avec une très grande précision toute modification de la végétation. Cette méthode de localisation est complémentaire aux cartographies effectuées avec les moyens précités. Elle a l'avantage d'être peu onéreuse : une fois le balisage réalisé, une simple plongée de surveillance, effectuée tous les ans ou tous les deux ans, suffit pour constater et décrire les modifications éventuelles de la végétation. Cette méthode de surveillance a été appliquée essentiellement au niveau de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica*.

Les balisages permettent de surveiller un secteur très restreint (jalons isolés : quelques mètres ; jalons groupés : plusieurs dizaines de mètres). Au cours des plongées effectuées à bord du sous-marin « Griffon », l'un de nous a pu constater que les caractéristiques de l'herbier au niveau de sa limite inférieure (profondeur et état) étaient relativement identiques sur de vastes étendues et ne varient que d'une baie à l'autre. Ainsi, la surveillance d'un balisage, disposé d'une façon appropriée dans un secteur, donne des indications que l'on peut étendre à plusieurs kilomètres d'herbier situé de part et d'autre du balisage.

Les balises (20 à 30 kg de béton) sont scellées par une tige métallique (pieu d'ancrage), et sont surmontées d'un flotteur (à 1 m, 1,50 m du fond), ce qui facilite leur repérage en plongée.

Le premier balisage a été effectué par Harmelin (1976-1977) à Port-Cros. Avec l'aide des plongeurs de la Marine Nationale et du Laboratoire d'Endoume, 8 jalons témoins isolés ont été installés entre 1970 et 1972

au niveau de la limite inférieure de l'herbier. 4 de ces jalons ont été retrouvés en 1976 et ont permis de décrire l'évolution de l'herbier. Les fluctuations ont été aisément décelées par comparaison entre des photos sous-marines prises sous le même angle à différentes périodes.

L'un de nous (Meinesz 1977 a), aidé par des plongeurs d'un club local (Moana de Cagnes-sur-Mer) a réalisé le 1/6/1975 un balisage compact : 11 corps morts ont été disposés régulièrement tous les 5 m sur une limite inférieure de l'herbier de Posidonies (située à - 28 m dans la rade de Villefranche-sur-mer, Alpes Maritimes). La longueur du balisage (50 m) permet de retrouver aisément la zone jalonnée. Un relevé photographique a été réalisé chaque année (depuis la mise en place) à la même période (septembre).

Un 2^e balisage de ce type a été effectué le 31/5/1977 dans la baie d'Elbo (Réserve sous-Marine de Scandola du Parc Naturel Régional de Corse). 13 balises (Pl. II, 3 et 4) ont été disposées par les guides du Parc sur la limite inférieure des Posidonies située à - 36 m (Meinesz 1977 b). Un 3^e balisage a été mis en place en octobre 1977 dans la Réserve sous-marine du Larvotto (Monaco), 18 balises ont été fixées sur 150 m de limite inférieure (- 22 m) par des plongeurs du Club Moana pour l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature.

Enfin, Cristiani (1980) a réalisé plusieurs balisages similaires des limites inférieures et supérieures d'un herbier de Posidonies situé devant Carry le Rouet (Bouches-du-Rhône).

VI. REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE DES DIFFÉRENTS ÉTATS D'UN HERBIER

L'évolution des méthodes de cartographie et de surveillance des herbiers nécessite des descriptions de plus en plus précises de l'herbier qui doivent être introduites sur les cartes.

Pour les 5 cartes de la campagne Poseidon 1976 (Meinesz et Laurent 1978), nous avons figuré plusieurs types d'herbiers classés d'après le barème des coefficients de dominance attribués en fonction du recouvrement (méthode phytosociologique issue de l'école Zuricho-Montpelliéraine appliquée aux phytocoenoses marines benthiques par Boudouresque 1971). Cette classification présente l'inconvénient de ne pas considérer la « santé » d'un herbier : on peut ainsi attribuer un même coefficient à deux herbiers très différents ayant le même recouvrement, l'un étant en bon état mais éparé, l'autre étant en régression et dégradé.

Ainsi, nous avons dû ajouter aux représentations graphiques des 5 coefficients de dominance, un signe (+) correspondant à l'état dégradé de l'herbier. Cette classification utilisant 10 signes (5 coefficients pour l'herbier sain et ces mêmes coefficients auxquels le signe + est ajouté pour l'herbier dégradé) est assez fastidieuse à relever *in situ* et à figurer sur les cartes. En outre, les

variations saisonnières du nombre de feuilles et de leurs longueurs sont importantes : un même herbier peut ainsi être noté différemment selon la saison. Pour ces raisons, nous avons établi une classification plus simple de l'herbier (Meinesz et Laurent 1978) qui tient compte d'éléments aisément reconnaissables : le recouvrement, la position des rhizomes et la présence ou l'absence de matte. Ces critères ont permis de définir les 3 types d'herbiers suivants :

– le type 1 correspond à un herbier de faible densité (recouvrement inférieur à 50 %) dont les rhizomes sont en position horizontale ;

– le type 2 correspond à un herbier de densité élevée (recouvrement supérieur à 50 %) dont les rhizomes, en position verticale, ne constituent pas encore une couche importante ;

– le type 3 correspond à un herbier de densité très élevée (recouvrement supérieur à 75 %) dont les rhizomes, en position verticale, constituent une couche épaisse (supérieure à 20 cm).

La limite de l'herbier peut présenter ces trois types ; un signe supplémentaire (+) permet de signaler l'état dégradé de ces types (descriptions et figures données par Meinesz et Laurent 1978).

Cette nouvelle classification a été transcrite sur les cartes de la campagne Poseidon 1977 (Meinesz et Laurent 1982).

VII. CONCLUSION

Parmi les méthodes récemment utilisées pour les cartographies de l'herbier, on peut distinguer :

– celles qui nécessitent une vision rapprochée de l'herbier (plongée sous-marine ou sous-marin). Elles permettent de bien relever les différents états de l'herbier mais les positionnements ne sont précis que sur le parcours linéaire des plongeurs (profils) ou du sous-marin (qui n'a été utilisé que sur la limite inférieure) ;

– celles qui permettent d'obtenir une vue d'ensemble (photographie aérienne ou sonar latéral). Elles donnent des cartes très précises des contours de l'herbier (entre 0 et -20 m pour la photographie aérienne et entre -5 m et les limites inférieures pour le sonar latéral). Pour ces méthodes, des plongées d'identification sont nécessaires pour identifier certaines images ou pour reconnaître l'état de l'herbier.

Une fois l'herbier cartographié, il convient de baliser certains sites judicieusement choisis (limites inférieures ou supérieures, chenaux etc...) ce qui permet de suivre son évolution avec un maximum de précision sans recourir à une nouvelle campagne de cartographie.

L'ensemble des méthodes exposées ont été appliquées essentiellement sur les côtes Provence-Côte d'Azur ; sur le littoral des Alpes Maritimes, la majeure partie de la végétation de *Posidonia* et de *Cymodocea* a été récemment cartographiée avec précision. Ces méthodes per-

mettent de dresser des états initiaux qui serviront de base à la surveillance des herbiers. Ces cartographies sont souhaitables au voisinage des grands centres urbains ou touristiques où toute régression importante de l'herbier imputable aux activités humaines mérite d'être enregistrée pour pouvoir éventuellement circonscrire et réduire la cause de la dégradation.

Les documents obtenus permettent également de calculer les surfaces exactes de la couverture végétale benthique la plus importante du système phytal. Grâce à une première série de mesures sur la production primaire de l'herbier de Posidonies, effectuées à toutes saisons et à différentes profondeurs par Bay (1978), on peut désormais évaluer la production primaire (production d'oxygène, fixation de gaz carbonique etc) d'une surface d'herbier convenablement cartographiée.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTIER J.M., 1972. Régression de l'herbier de Posidonies en rade des Vignettes à Toulon. *Ann. Sci. nat. Archéol. Toulon Var*, 24 : 97-103.
- ASTIER J.M., 1975. Cartographie des fonds marins de la région de Toulon par le groupe « ECOMAIR ». *Ann. Sci. nat. Archéol. Toulon Var*, 27 : 120-132.
- 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.
- AUGIER H., et C.F. BOUDOURESQUE, 1967. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). I. La baie de la Palu. *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille*, 27 : 93-124.
- AUGIER H., et C.F. BOUDOURESQUE, 1970 a. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). V. la baie de Port Man et le problème de la régression de l'herbier de Posidonies. *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille*, 30 : 145-165.
- AUGIER H., et C.F. BOUDOURESQUE, 1970 b. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). VI. Le récif-barrière de Posidonies. *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille*, 30 : 221-227.
- AUGIER H., et C.F. BOUDOURESQUE, 1976. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). XII. Documents pour la carte des peuplements benthiques. *Trav. Sci. Parc Nation. Port-Cros*, 2 : 9-22.
- AUGIER H., et C.F. BOUDOURESQUE, 1979. Premières observations sur l'herbier de Posidonies et le Détritique côtier de l'île du Levant (Méditerranée, France), à l'aide du sous-marin « Griffon » de la Marine Nationale. *Trav. Sci. Parc Nation. Port-Cros*, 5 : 141-153.
- BAY D., 1978. Étude « in situ » de la production primaire d'un herbier de Posidonies (*Posidonia oceanica* (L) (Delille) de la Baie de Calvi - Corse. *Thèse soutenue à la Faculté des Sciences de l'Université de Liège*, 251 p.
- BELDERSON R.H., N.H. KENYON, A.H. STRIDE et A.R. STUBBS, 1972. Sonographs of the sea floor. *Elsevier Scientific Publ. Co. Amsterdam*, 185 p.
- BLANC J., 1975. Recherches de Sédimentologie appliquée au littoral rocheux de la Provence - Aménagement et protection. *Document ronéotypé édité par l'auteur et le C.N.E.X.O.*, 164 p.

- BLANC J. et A., JEUDY de GRISSAC, 1978. Recherches de géologie sédimentaire sur les herbiers à Posidonies du Littoral de la Provence. *Document ronéotypé édité par les auteurs et le C.N.E.X.O.*, 185 p.
- BOUDOURESQUE C.F., 1971. Méthodes d'étude qualitative et quantitative du Benthos (en particulier du Phytobenthos), *Tethys*, 3(1) : 79-104.
- BOUDOURESQUE C.F., et M. FOUCHER 1975. Synthèse bibliographique des ouvrages traitant des herbiers de Posidonies. *Document ronéotypé, contrat CNEXO-Université d'Aix-Marseille II*, 40 p.
- BOUDOURESQUE C.F., G. GIRAUD R., et M. PERRET, 1977. *Posidonia oceanica*. Bibliographie. Document ronéotypé, contrat CNEXO-Université d'Aix-Marseille II, 191 p.
- CRISTIANI G., 1980. Biomasse et répartition de l'herbier de *Posidonia oceanica* de la côte Bleue (B. du Rh. France) et pollution marine par les métaux lourds. *Thèse 3^e cycle, Université de droit, d'économie et de sciences d'Aix-Marseille*, 150 p, 1 carte.
- CUVELIER M., 1976. Surveillance en temps réel de l'évolution des herbiers : nouvelle méthode de recensement des herbiers par cartographie au sonar latéral. *3^e journée d'Etud. Pollutions. SPLIT, C.I.E.S.M.*, 191-193.
- FALCONETTI C., G. FREDJ, J. JAUBERT, M. LAFAURIE, G. LEGER et R. VAISSIÈRE, 1974. Relevés topographique et biocénotique précis d'un parc expérimental sous-marin (Beaulieu-sur-Mer - Alpes Maritimes - France). *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 22 (6) : 109-112, 1 fig.
- FLEMMING B.W., 1976. Guide Pratique du sonar latéral. *Rev. Hydrograph. int.*, 53 (1) : 73-101.
- HARME LIN J.G., 1976. L'herbier de Posidonies de Port-Cros régresse-t-il ? Mise en place de jalons témoins à sa limite. *Trav. sci. Parc. nat. Port-Cros*, 2 : 189-190.
- HARME LIN J.G., 1977. Évolution de l'herbier de Posidonies de Port-Cros au niveau de jalons témoins. *Trav. Sci. Parc nat. Port-Cros*, 3 : 210-211.
- HARME LIN J.G., et M.A. TRUE, 1964. Délimitation cartographique de l'extension actuelle des herbiers de *Posidonia oceanica* (Delille) dans le golfe de Marseille. *Rec. trav. St. Mar. Endoume*, 34 (50) : 157-160.
- LAUBIER L., 1966. - Le coralligène des Albères. Monographie biocénotique. *Ann. Inst. Océanogr. Paris*, 43 (2) : 137-316.
- LEENHARDT O., 1974. Étude théorique du sonar latéral. *Rev. Hydrograph. int.*, 51 (1) : 63-82.
- MEINESZ A., 1977 a. Balisage de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* en rade de Villefranche-sur-Mer (Alpes-Maritimes - France). *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 24 (6) : 143-144.
- MEINESZ A., 1977 b. Surveillance des herbiers de Posidonies dans la réserve sous-marine de Scandola. *Courrier du Parc de la Corse*, 26 : 24-27.
- MEINESZ A., et C. FALCONETTI, 1975. Aménagement de la Baie Ouest de Menton. Étude des peuplements benthiques végétaux et animaux. *Document ronéotypé édité par le laboratoire de Biologie Générale de l'Université de Nice*, 16 p., 1 carte.
- MEINESZ A., et R. LAURENT, 1978. Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes Maritimes - France. Campagne Poseidon 1976. *Bot. Marina*, 21 : 513-526.
- MEINESZ A., et R. LAURENT, 1980. Cartes de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes Maritimes (France). Campagne Poseidon 1976. *Ann. Inst. Océanogr. Paris*, 56 (1) : 45-54.
- MEINESZ A., et R. LAURENT, 1982. Cartes de la végétation sous-marine des Alpes-Maritimes (côtes françaises de la Méditerranée). I. Limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans le Golfe Juan et à l'est des Iles de Lerins. *Ann. Inst. océanogr. Paris*, sous-presses.
- MEINESZ A., et J.R. LEFÈVRE, 1978. L'aménagement de la côte entre Menton et Théoule (Alpes Maritimes et Monaco) inventaire des restructurations du rivage et impacts sur la vie sous-marine littorale. *Bull. Ecol.*, 9 (3) : 259-276.
- MOLINIER R., 1960. Étude des biocénoses marines du Cap Corse. *Vegetatio, Den Haag*, 9 (3-5) : 121-312.
- MOLINIER R., et J. PICARD, 1952. Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanogr., Paris*, 27 (3) : 157-234.
- MOLINIER R., et J. PICARD, 1961. Délimitation et cartographie des peuplements marins benthiques de la mer Méditerranée. *Bull. Serv. carte phytogéographique du C.N.R.S. série B-4* (1) : 73-81.
- NEWTON R.S. et A. STEFANON, 1975. Application of Side-Scan Sonar in Marine Biology. *Mar. Biol.*, 31 : 287-291.
- PICARD J., 1965. Recherches qualitatives sur les biocénoses marines des substrats meubles dragables de la région de Marseille. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume*, 36 (52) : 1-160.
- PÉRÈS J.M., 1977. Utilité et importance de l'herbier de Posidonies en Méditerranée. *Bull. Off. mar. Pêche Tunisie*, 1 (1) : 3-8.
- PÉRÈS J.M., et J. PICARD, 1975. Causes de la raréfaction et de la disparition des herbiers de *Posidonia oceanica* sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Aquatic. Bot.*, 1 (2) : 133-139.

CARTES CITÉES

- ECOMAIR-TOULON (Groupe), 1973 a. Premier inventaire biologique et sédimentologique des fonds marins de la rade abri de Toulon : 1 carte au 1/5 000^e.
- ECOMAIR-TOULON (Groupe), 1973 b. Premier inventaire biologique et sédimentologique des fonds marins de la rade des Vignettes : 1 carte au 1/5 000^e.
- MEINESZ A., et R. LAURENT, 1977. Cartes de la campagne Poseidon 1976. 1 - Cap Martin, 2 - Mer d'Eze à Cap d'Ail, 3 - Baie de Beaulieu, 4 - Golfe Juan - Juan-les-Pins, 5 - Baie de Golfe Juan. Publiées par la Cellule d'Intervention contre les Pollutions dans les Alpes Maritimes - Direction de l'Équipement des Alpes Maritimes, 5 cartes au 1/5 000^e.
- MEINESZ A., et R. LAURENT, 1978. Carte de la campagne Poseidon 1977. Cannes-Iles de Lérins. Carte publiée par la Cellule d'Intervention contre les Pollutions dans les Alpes-Maritimes. Direction de l'Équipement des Alpes-Maritimes. 1 carte au 1/5 000^e.
- SOCIÉTÉ SCOP OCÉANOGRAPHIE, 1977 a. Baie de Beaulieu : du Cap Roux à la petit Afrique. Carte des herbiers au sonar latéral pour la subdivision maritime de Nice. Direction de l'Équipement des Alpes Maritimes. 1 carte au 1/1 000^e.
- SOCIÉTÉ SCOP OCÉANOGRAPHIE, 1977 b. Baie de Nice. Section 1 : Carras - Pont de Magnan, Section 2 : Pont de Magnan - Pointe des Ponchettes, Section 3 : Pointe des Ponchettes - Cap de Nice. Cartes des herbiers au sonar latéral pour la ville de Nice, 3 cartes au 1/2 000^e.
- SOCIÉTÉ SCOP OCÉANOGRAPHIE, 1977 c. Rade de Cannes, Section 1 : La Croisette, Section 2 : Les plages du Midi, Section 3 : La Bocca, Cartes des herbiers au sonar latéral pour la ville de Cannes et la Cellule d'Intervention contre les Pollutions dans les Alpes Maritimes, 3 cartes au 1/2 000^e.