

# *Caulerpa taxifolia*



*Acquisition d'éléments  
qualitatifs et quantitatifs  
1995 - 1996*





**Résumé :**

Plusieurs campagnes océanographiques, menées à bord du N.O « L' Europe » (Ifremer) et du « Vitamar II » (Services de l'Environnement et de la Marine, Monaco), au cours des années 1995 et 1996, ont permis d'établir la cartographie de *C. taxifolia* le long des côtes des Alpes Maritimes et de la Principauté de Monaco.

L'expansion de l'algue continue, notamment en profondeur. Une étude *in situ* du métabolisme et de la production primaire des champs de *C. taxifolia* et de *P. oceanica* a été également initiée.

**Abstract :**

During 1995 and 1996, some oceanographic campaigns were conducted with vessels « L'Europe » (Ifremer) and « Vitamar II » (environmental and Marine Services, Monaco) along the French (Alpes Maritimes) and Monaco coasts.

Monitoring of *C. taxifolia* has revealed a continued expansion particularly in deep waters. A field study on the metabolism and productivity of *C. taxifolia* and *P. oceanica* was also initiated.

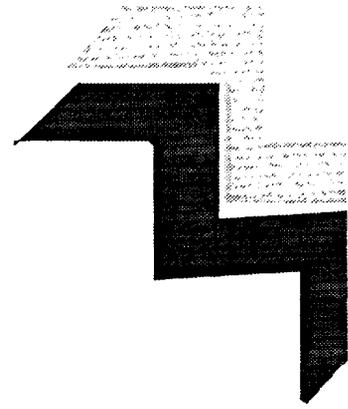
**Mots-clés :**

*Caulerpa taxifolia*, *Posidonia oceanica*, cartographie, dynamique, métabolisme

**Keywords :**

*Caulerpa taxifolia*, *Posidonia oceanica*, cartography, dynamism, metabolism.

**Commentaire :**



**ACQUISITION D'ELEMENTS QUALITATIFS ET  
QUANTITATIFS SUR L'EXPANSION  
DE CAULERPA TAXIFOLIA  
EN 1995 ET 1996**

**(ALPES MARITIMES ET PRINCIPAUTE DE MONACO)**



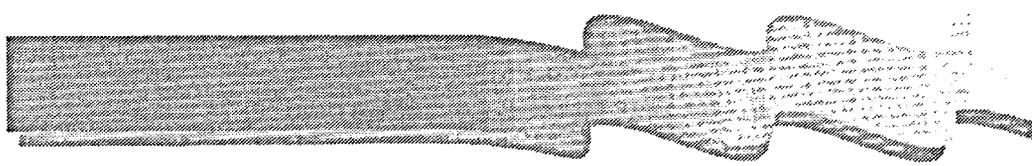


**PAR**

Thomas Belsher, Jean Marc Deslous-Paoli, Françoise Dagault, Joël Dimeet, Jean-Michel Raillard, Eric Emery, Michel Boutbien, Christian Prudhomme (Ifremer / Centres de Brest et de Toulon - Genavir)

et

Marie Christine Grillo, Roland Pucci et André Veglia (Service Environnement de la Principauté de Monaco)



# SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
MATERIEL ET METHODES	4
1- Cartographie et étude de la dynamique de la population	4
2- Etude du devenir de la biomasse développée et des modifications du sédiment	4
3- Etude de compétition entre <i>Caulerpa taxifolia</i> et <i>Posidonia oceanica</i>	4
RESULTATS	15
1- Cartographie et dynamique de la population	15
2- Devenir de la biomasse développée et modifications du sédiment	27
3- Compétition entre <i>Caulerpa taxifolia</i> et <i>Posidonia oceanica</i>	27
- conditions environnementales	
- biomasses	
- oxygène	
- production primaire brute	
- sels nutritifs	
CONCLUSIONS	32
1- dynamique de l'expansion	32
2- biomasses	32
3- modifications de la biodiversité	32
4- modification des sédiments	32
5- mécanismes de la compétition	33
BIBLIOGRAPHIE	34
LISTE DES FIGURES	37
LISTE DES PHOTOS	37
LISTE DES ANNEXES	37

## INTRODUCTION

Au cours des années 1995 et 1996, plusieurs campagnes océanographiques ont été menées à bord du N.O. « L'Europe » et du « Vitamar II », avec l'appui du Service de l'Environnement et du Service de la Marine monégasques.

Campagne du N/O « L'Europe » : Calife 95  
du 24/09 au 04/10/1995

Campagnes du « Vitamar II »  
du 16/05 au 19/05/1995  
du 28/09 au 03/10/1995  
du 25/03 au 29/03/1996  
du 28/09 au 03/10/1996

Ces opérations s'inscrivent dans le prolongement des études menées dès 1992 (campagnes du N/O « Roselys II », mars et octobre 1992 et du N/O « l'Europe », mars 1994).

Les objectifs sont les suivants :

- étude de la dynamique de la population,
- étude du devenir de la biomasse développée,
- suivi et quantification des phénomènes de compétition,
- évaluation des atteintes à la biodiversité.

## MATERIEL ET METHODES

### 1- Cartographie et étude de la dynamique de population

51 trajets ont été effectués par vidéo sous-marine tractée. L'enregistrement de données est réalisé sur cassette vidéo 8 et VHS. Le positionnement par GPS ainsi que le système de navigation assisté SODENA ont permis de répéter la couverture des zones prospectées depuis 1992 entre Menton et le cap d'Ail (figure 1 et annexe 1).

Un codage suivant trois classes est appliqué lors de la retransmission vidéo et permet d'établir en direct la carte de répartition selon la densité (figures 2, 3 et 4).

Une couverture par sonar latéral a été initiée afin de pouvoir situer dans leur environnement bio-sédimentaire l'implantation des populations de *C. taxifolia* (figure 5 et annexe 1).

Parallèlement, des plongées, effectuées avec le concours des plongeurs de la Compagnie des Carabiniers du Prince et de la police de la Principauté de Monaco, ont permis d'apporter des compléments d'informations et de préciser certains aspects de la dynamique de la population ( figure 6 et annexe 2).

### 2- Etude du devenir de la biomasse développée et des modifications du sédiment

Des prélèvements de *C. taxifolia* sont réalisés en plongée sur des superficies de 1 m<sup>2</sup>. Ils sont couplés avec des carottages, par carottier manuel, du sédiment sous jacent. Des carottages, par carottier multitubes, sont aussi effectués en plusieurs stations situées entre - 50 et - 70 m (figure 6). L'analyse de l'eau interstitielle est menée sur les premiers cm de sédiment. Les carottes, sont découpées en trois tranches (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm). Celles-ci, après décongélation, sont centrifugées à 2000 t/mn pendant 10 mn. L'eau interstitielle est ensuite filtrée (filtre de 0.45 µ) puis diluée 20 fois. Les méthodes d'analyse employées sont celles couramment utilisées pour l'exploitation d'un auto-analyser Technicon couplé à un enregistreur graphique.

### 3- Etude de compétition entre *C. taxifolia* et *P. oceanica*\*

(\* les paragraphes concernant cet aspect sont extraits d'une publication de Deslous-Paoli J.M, Belsher T., Dagault F. et Dimeet J., soumise à *Oceanologica acta* sous le titre : Premiers éléments sur l'étude comparée *in situ* du métabolisme et de la production primaire de champs de *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. agardh et d'herbiers à *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile dans la baie de Monaco.

Une étude des flux a l'interface eau-sédiment dans les herbiers à posidonie et à caulerpe a été initiée. A chaque station 6 cloches benthiques (3 transparentes et 3 noires) sont installées en plongée sur des anneaux cylindriques installés dans le sédiment (figure 7).

Les stations de mesures, où sont présents à la même profondeur des herbiers à *P. oceanica* et des champs de *C. taxifolia*, sont situées dans la réserve sous-marine monégasque du Larvotto, au droit du hall du centenaire (11 m) pour les mesures du mois de septembre 1995 et en face du Beach hotel (6 m) pour les mesures du mois de mars 1996 (Photos 1 et 2).

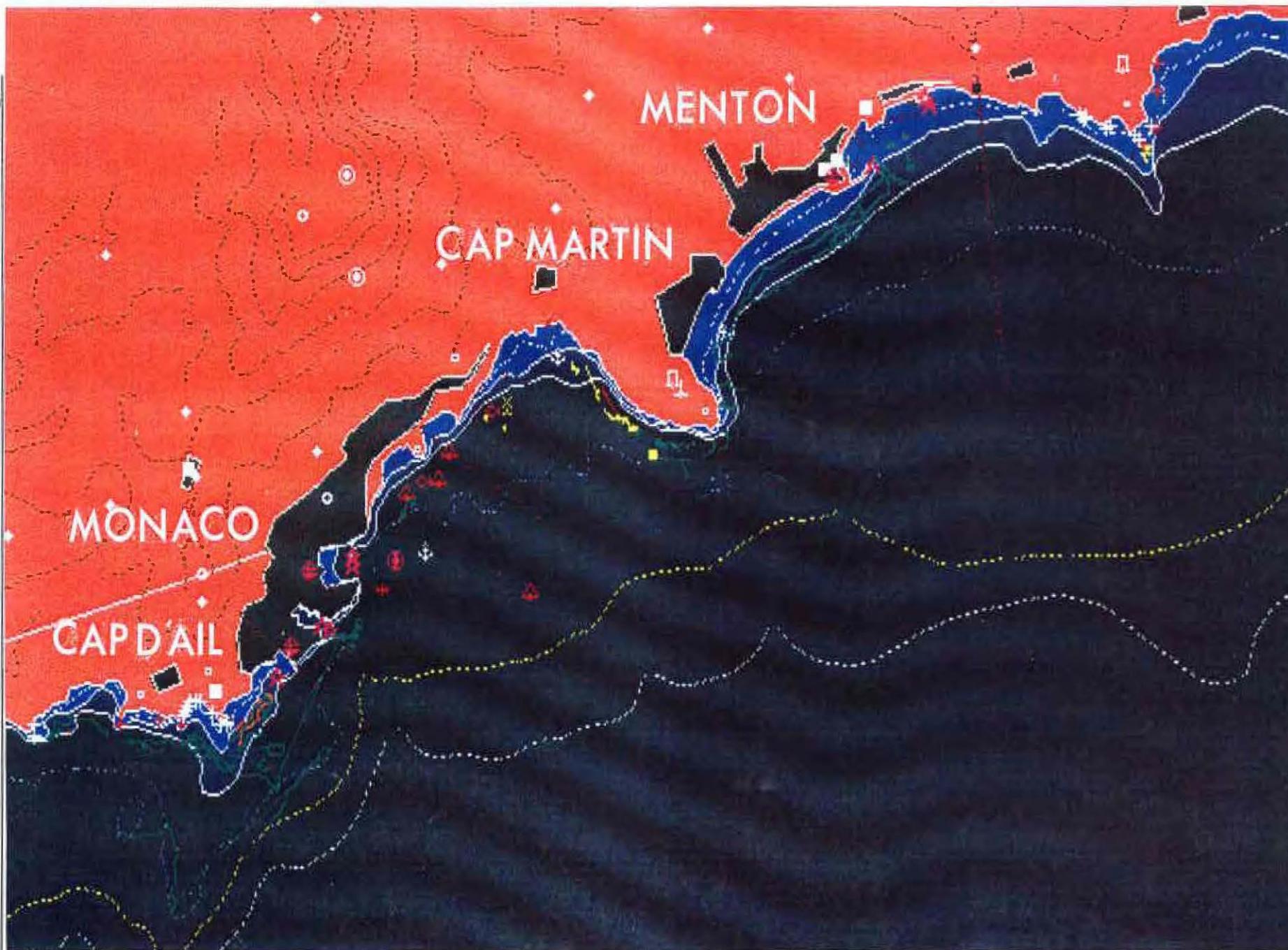


Figure 1. : Trajets effectués – Système de navigation assisté SODENA.

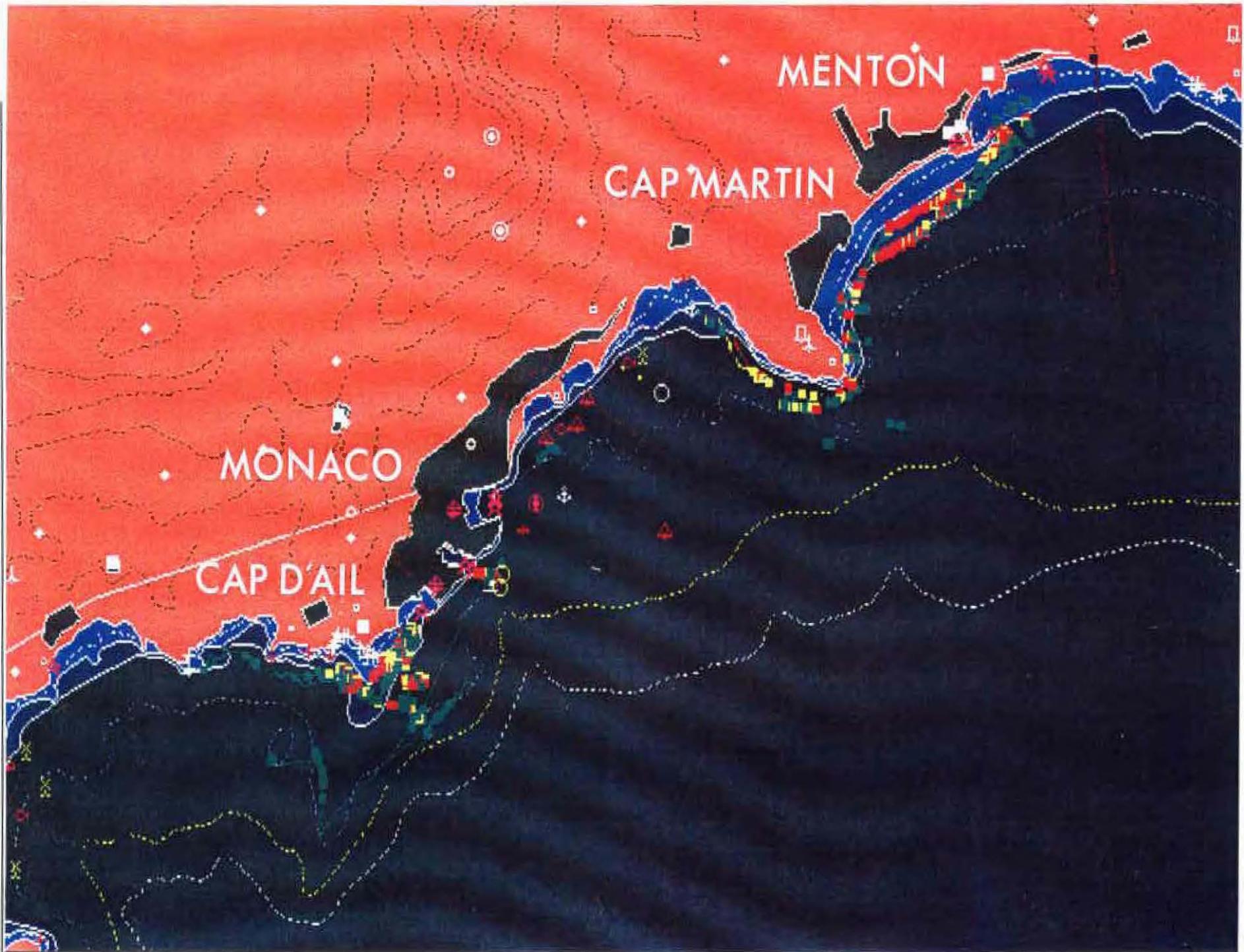


Figure 2. : Cartographie quantitative de *Caulerpa taxifolia*. De Cap d'Ail à Menton.  
vert : 0 à 25 % - jaune : > 25 à 50 % < - rouge : > 50 à 100 %

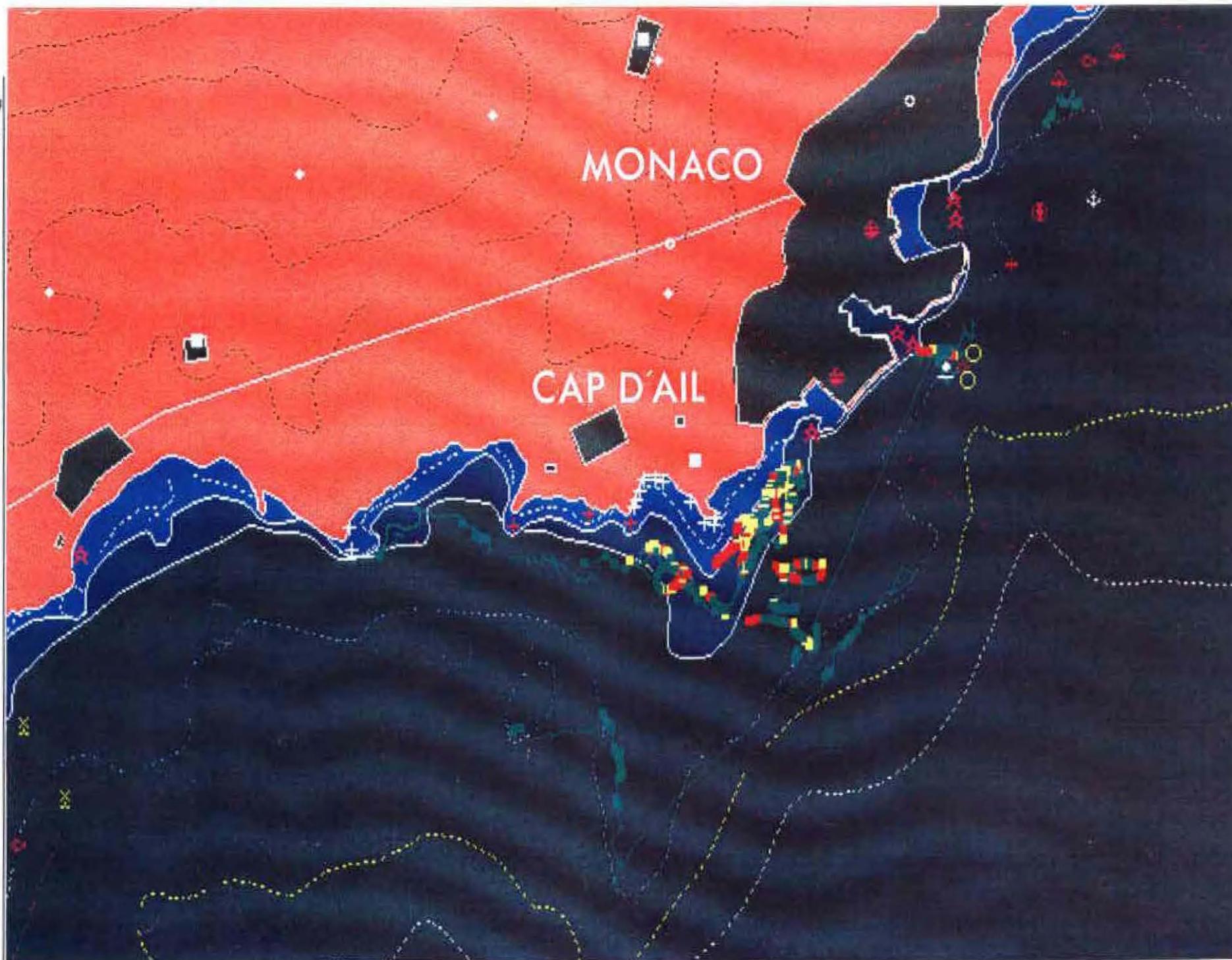


Figure 3. : Cartographie quantitative de *Caulerpa taxifolia*. Secteur de Cap d'Ail.  
vert : 0 à 25 % - jaune : > 25 à 50 % > - rouge : > 50 à 100 %

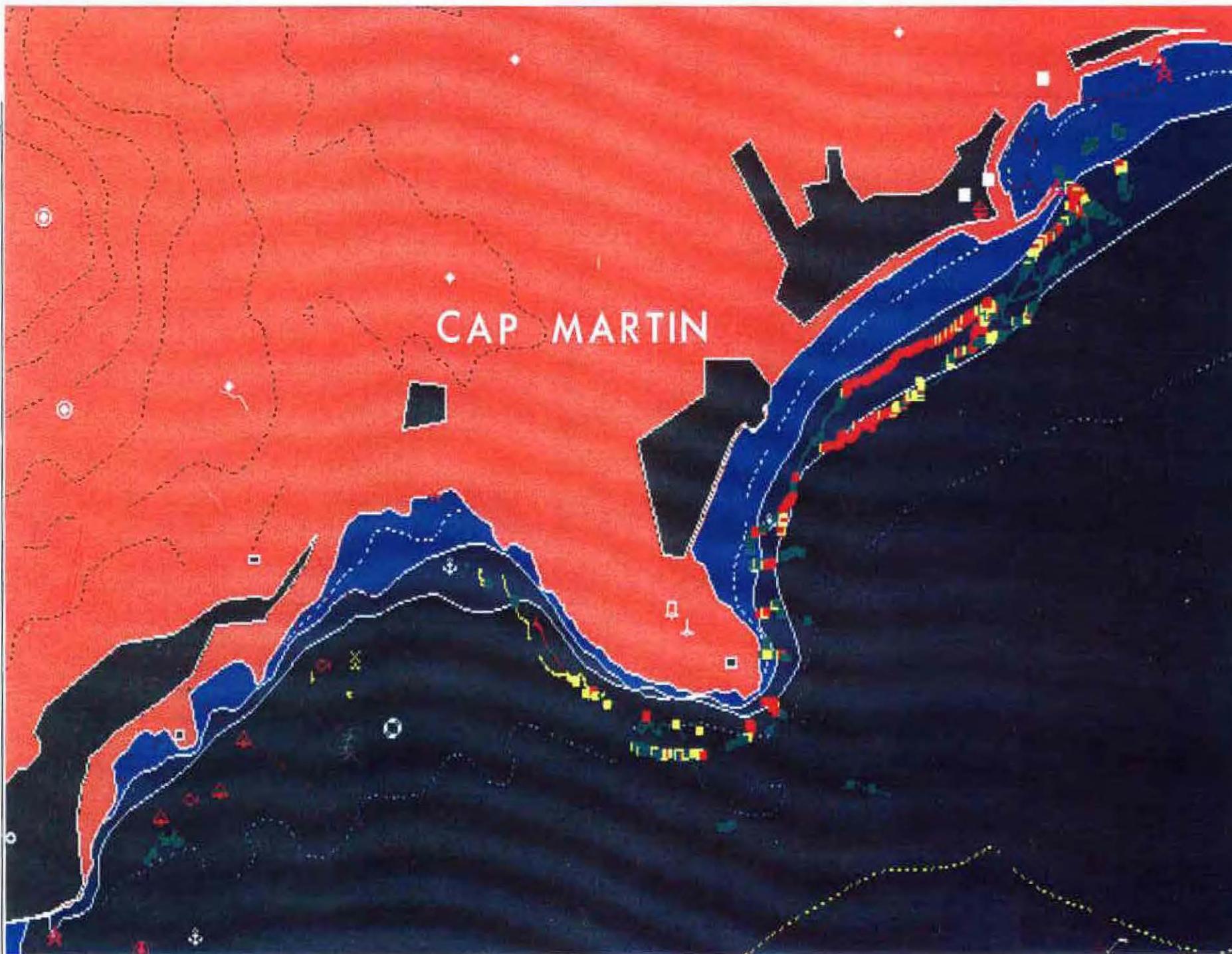


Figure 4. : Cartographie quantitative de *Caulerpa taxifolia*. Secteur de Cap Martin.  
vert : 0 à 25 % - jaune : > 25 à 50 % > - rouge : > 50 à 100 %

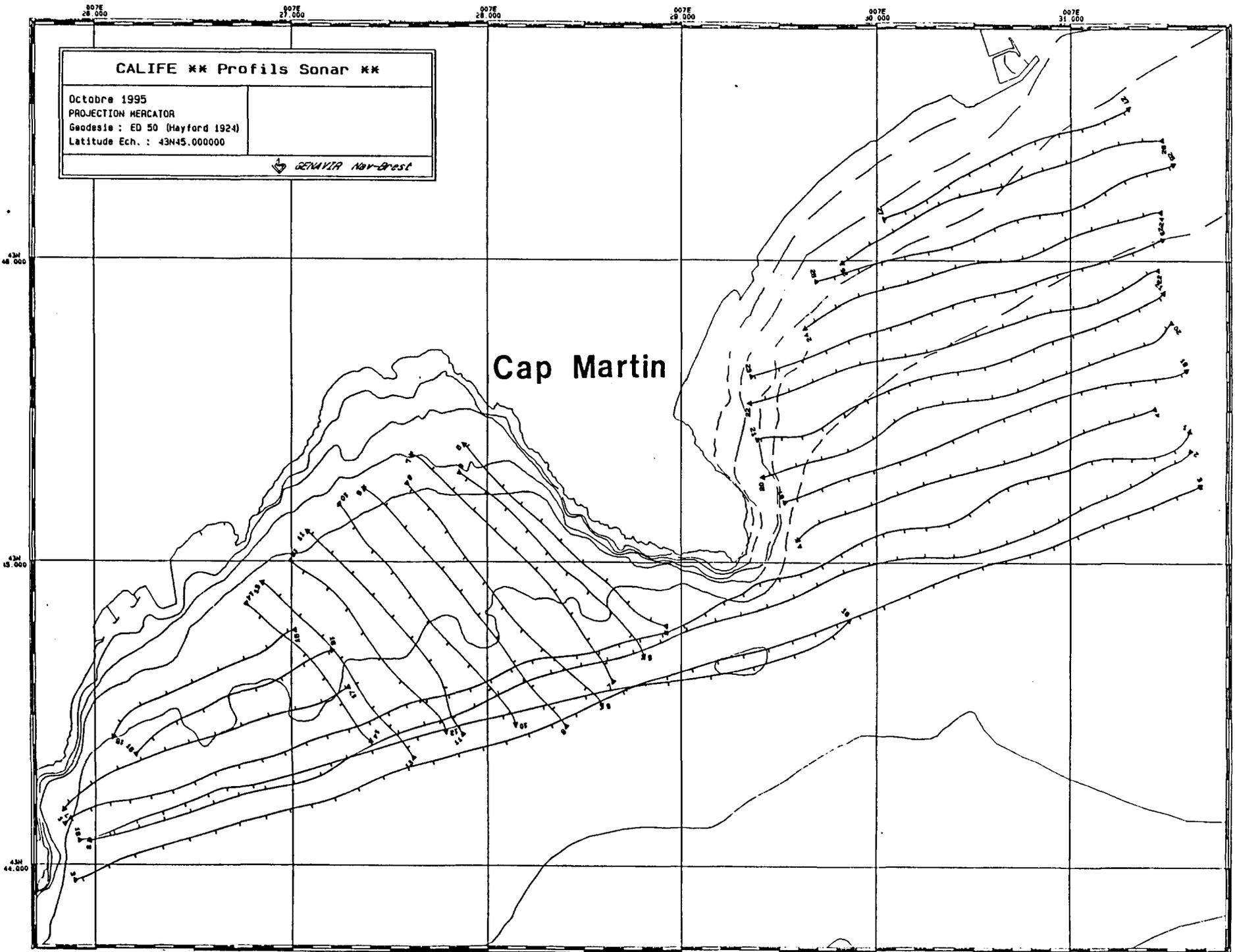


Figure 5 : Profils sonar

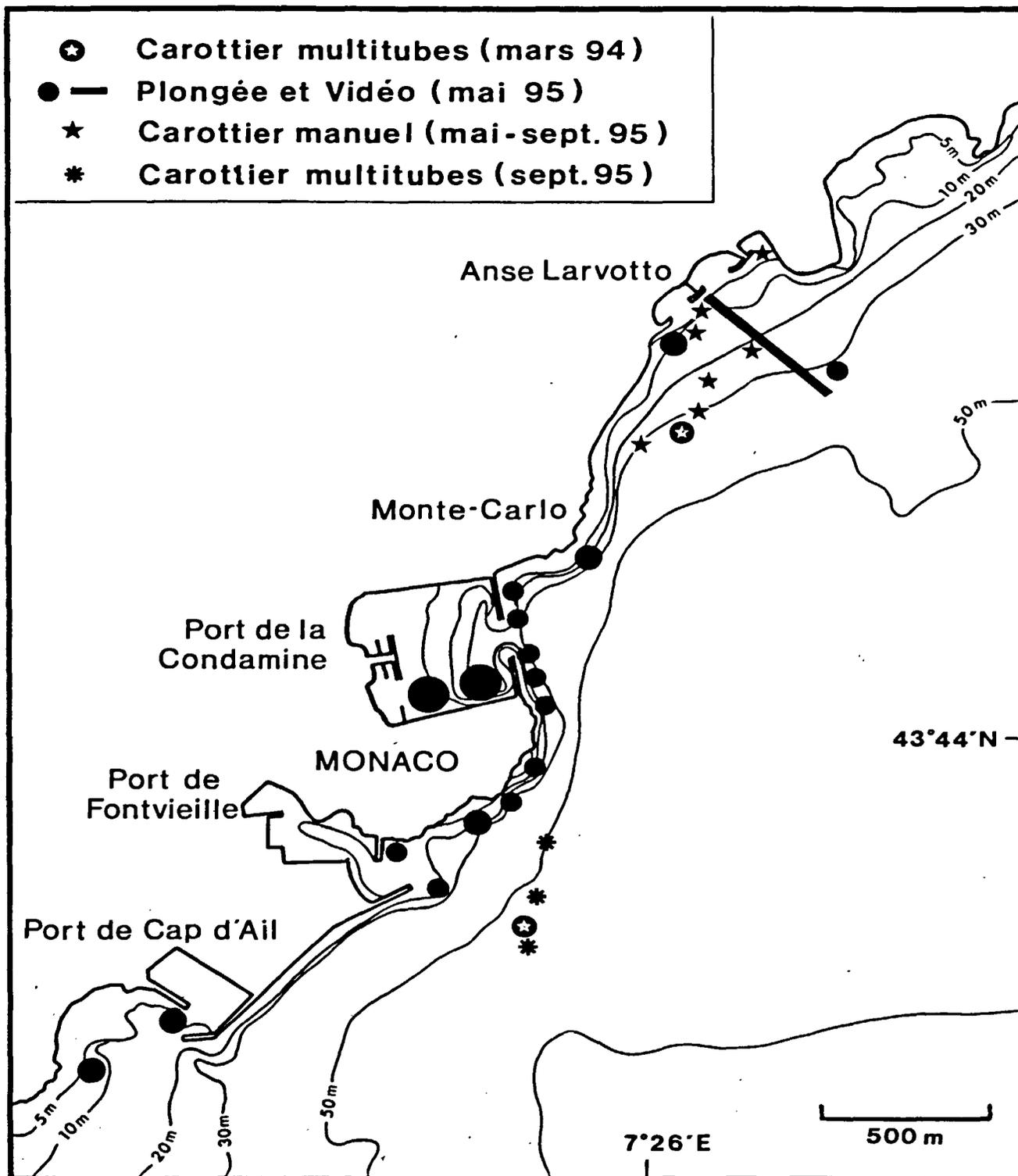


Figure 6 : Localisation des stations de carottages multitubes et manuel

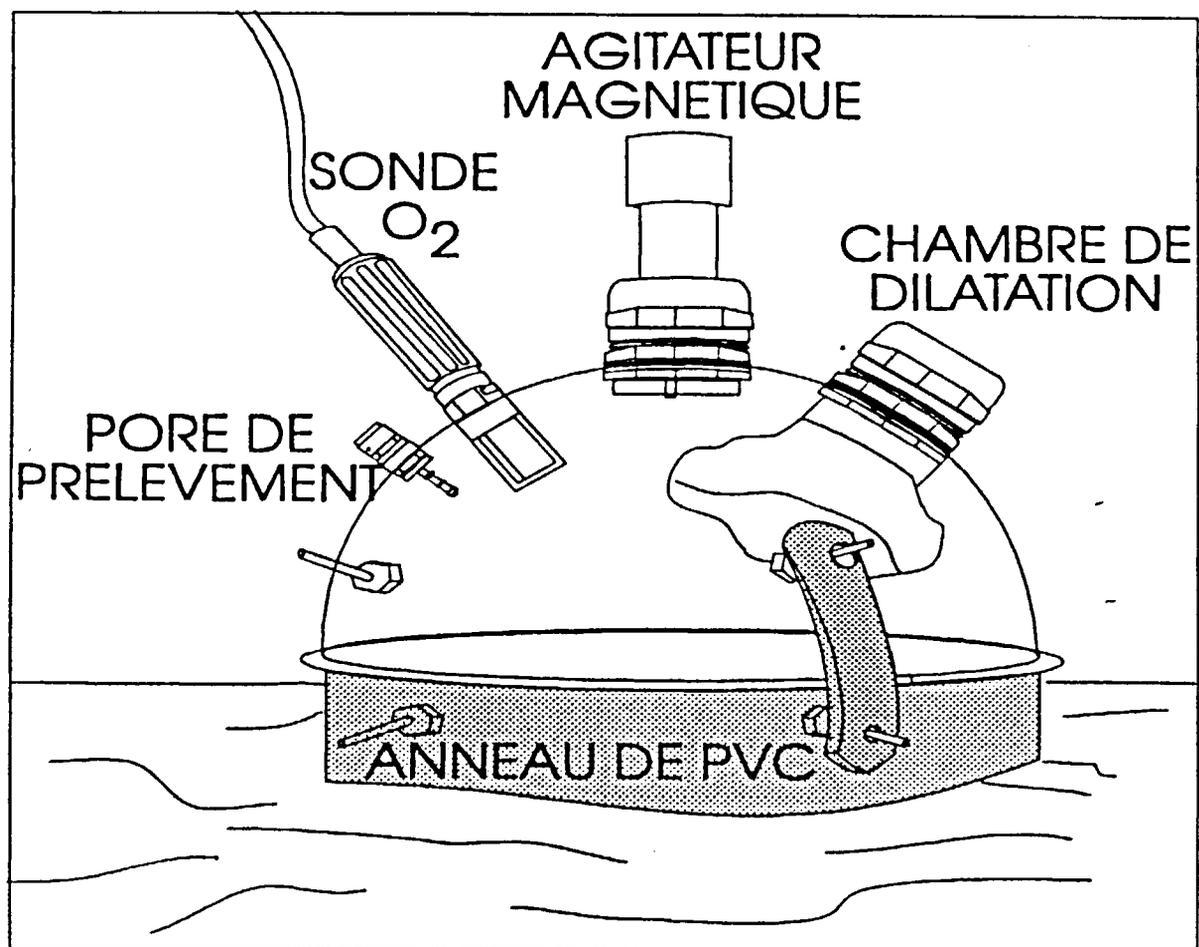


Figure 7 : Schéma d'une cloche benthique



Photo 1 (J.M . Estienne) : Cloche benthique claire sur population de *Caulerpa taxifolia*



Photo 2 (J.M. Estienne) : Cloche benthique claire sur herbier de *Posidonia oceanica*

En plongée autonome, 3 cloches benthiques claires (Hopkinson et Wetzel, 1982, Grenz et al., 1991) et 3 cloches benthiques noires, en polycarbonate (fig. 1) ont été installées entre 10 h 30 et 11 h sur les champs de *C. taxifolia* les 28 et 29 septembre 1995 et le 26 mars 1996, et sur l'herbier à *P. oceanica* le 3 octobre 1995. Le 27 mars les cloches sont posées simultanément sur des herbiers à *P. oceanica*, à *C. taxifolia* et du sédiment sans macrophytes. Les incubations durent 3 à 4 heures. Les 21 litres d'eau contenus dans les cloches benthiques sont homogénéisés grâce à des agitateurs magnétiques et la surface benthique isolée est de 0,114 m<sup>2</sup>.

Après 10 mn de stabilisation, la concentration en oxygène est directement enregistrée dans les cloches benthiques à l'aide d'un oxymètre YSI 51, placé dans un boîtier étanche, tous les quarts d'heure pendant une heure puis toutes les heures. Les résultats sont exprimés en mgO<sub>2</sub> h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> et mg O<sub>2</sub> h<sup>-1</sup> gcs<sup>-1</sup>.

Pour les sels nutritifs, des prélèvements de 120 ml d'eau sont faits en plongée, dans les cloches benthiques, à l'aide de seringues, toutes les heures à partir du début de l'incubation (photos 3 et 4). Pour le dosage de l'ammonium, 60 ml d'eau sont filtrés sur filtres Wattman GFF, préalablement calcinés à 400° C pendant 1 heure, puis fixés immédiatement sur le bateau pour lecture au spectrophotomètre selon la méthode de Koroleff (1970). Pour les phosphates, nitrates et nitrites, 60 ml d'eau sont fixés au chlorure mercurique à la concentration finale de 20µg ml<sup>-1</sup>, puis stockés à 4° C. Les dosages sont faits sur Alliance Evolution II selon les protocoles de Strickland et Parson (1972). Les résultats sont exprimés en µmole h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> et en µmole h<sup>-1</sup> gsec<sup>-1</sup>. En fin de mesure la totalité des macrophytes présents dans les cloches est récoltée, conservée formolée et séchée à l'étuve à 80° C pendant 48 h.

Les flux sont la pente de la droite de régression, calculée pour chaque cloche, entre la quantité d'oxygène ou d'éléments nutritifs et le temps exprimé en heure. Les moyennes des flux calculés dans les cloches claires correspondent au flux net (FN) du système benthique, alors que le métabolisme benthique (MB) correspond aux moyennes des flux calculés dans les cloches noires, les processus dans la colonne d'eau étant négligés. La production primaire brute (PB) est calculée selon la formule :  $PB = FN - MB$ .

En début d'expérimentation, les concentrations en oxygène et en éléments nutritifs (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) sont mesurées dans le milieu extérieur des cloches benthiques par la méthode de Winkler revue par Aminot et Chaussepied (1983) pour l'oxygène et à l'aide des méthodes décrites plus haut pour les éléments nutritifs. La température et la salinité des eaux sont mesurées avec un thermo-salinimètre WTW LF196. Des profils de lumière sont réalisés tous les mètres à l'aide d'un Licor.



**Photo 4 (J.M. Estienne) : Prélèvement pour analyse des nutriments**



**Photo 5 (J.M Estienne) : Mesure d'oxygène**

## RESULTATS

### 1- Cartographie et dynamique de la population

Les données sont obtenues à partir de l'analyse de 51 trajets vidéo représentant un parcours de plus de 116 km et une superficie couverte de 50 ha (figure 8). Les enregistrements correspondants couvrent une durée de 50 h.

#### Analyse et classement des trajets en fonction du recouvrement

##### Secteur de la Baie de Roquebrune

7 trajets effectués - présence de *C. taxifolia* sur trois trajets :  
2, 3, et 7 (figure 8).

n° 2 : 1 à 50 % de *C. taxifolia* sur herbier de posidonie

n° 3 : 50 à 100 % sur herbier de posidonie dense et cailloutis

n° 7 : 1 à 50 % sur sable et herbier à cymodocée

##### Secteur de Cap Martin

15 trajets effectués - présence de *C. taxifolia* sur tous les trajets :  
4, 5, 6, 15, 16, 17, 18, 23, 45 à 51 (figure 9).

n° 4 : 1 à 25 % de *C. taxifolia* sur fond de vase

n° 5 : 50 à 100 % sur roches (falaise) puis sur vase et cailloutis.

*C. taxifolia* est détectée jusqu'à - 41 m

n° 6 : 25 à 100 % sur falaise rocheuse puis sur sable et cailloutis

n° 15 : 1 à 100 % sur sable et cailloutis

n° 16 : 1 à 100 % sur sable, cailloutis et herbier de posidonie

n° 17 : 50 à 100 % sur herbier de posidonie

n° 18 : 25 à 100 % sur herbier de posidonie

n° 23 : 1 à 100 % sur sable et herbier de posidonie

n° 45 : 1 à 25 % sur cailloutis.

*Caulerpa taxifolia* est détectée jusqu'à - 71 m

n° 46 : 1 à 100 %

*C. taxifolia* est détectée jusqu'à - 23 m

n° 47 : 1 à 25 % *C. taxifolia* est détectée jusqu'à - 43 m

n° 48 : 1 à 25 % *C. taxifolia* est détectée jusqu'à - 45 m

n° 49 : 50 à 100 % sur roche

n° 50 : 1 à 25 % *C. taxifolia* est détectée jusqu'à - 47.50 m

n° 51 : 1 à 25 % *C. taxifolia*. à - 50 m

##### Secteur de Menton

12 trajets effectués - présence de *C. taxifolia* sur tous les trajets  
11 à 14, 19 à 22, 24 à 27 (figure 9).

n° 11 : 1 à 100 % de *C. taxifolia* sur sable et cymodocée à une profondeur moyenne de -  
10,5 m

n° 12 : 50 à 100 %

n° 13 : 1 à 25 % sur sable à - 4.9 m

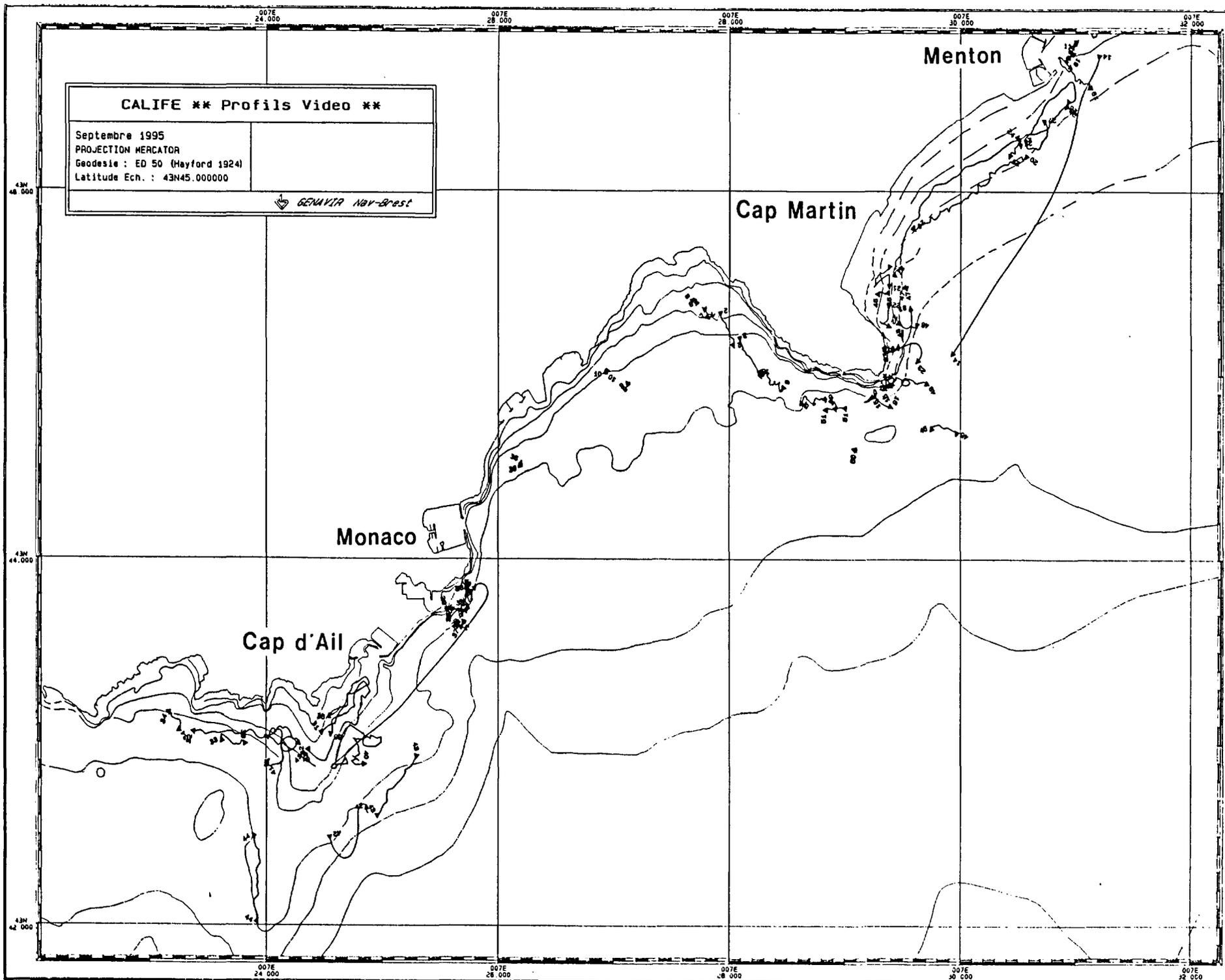


Figure 8

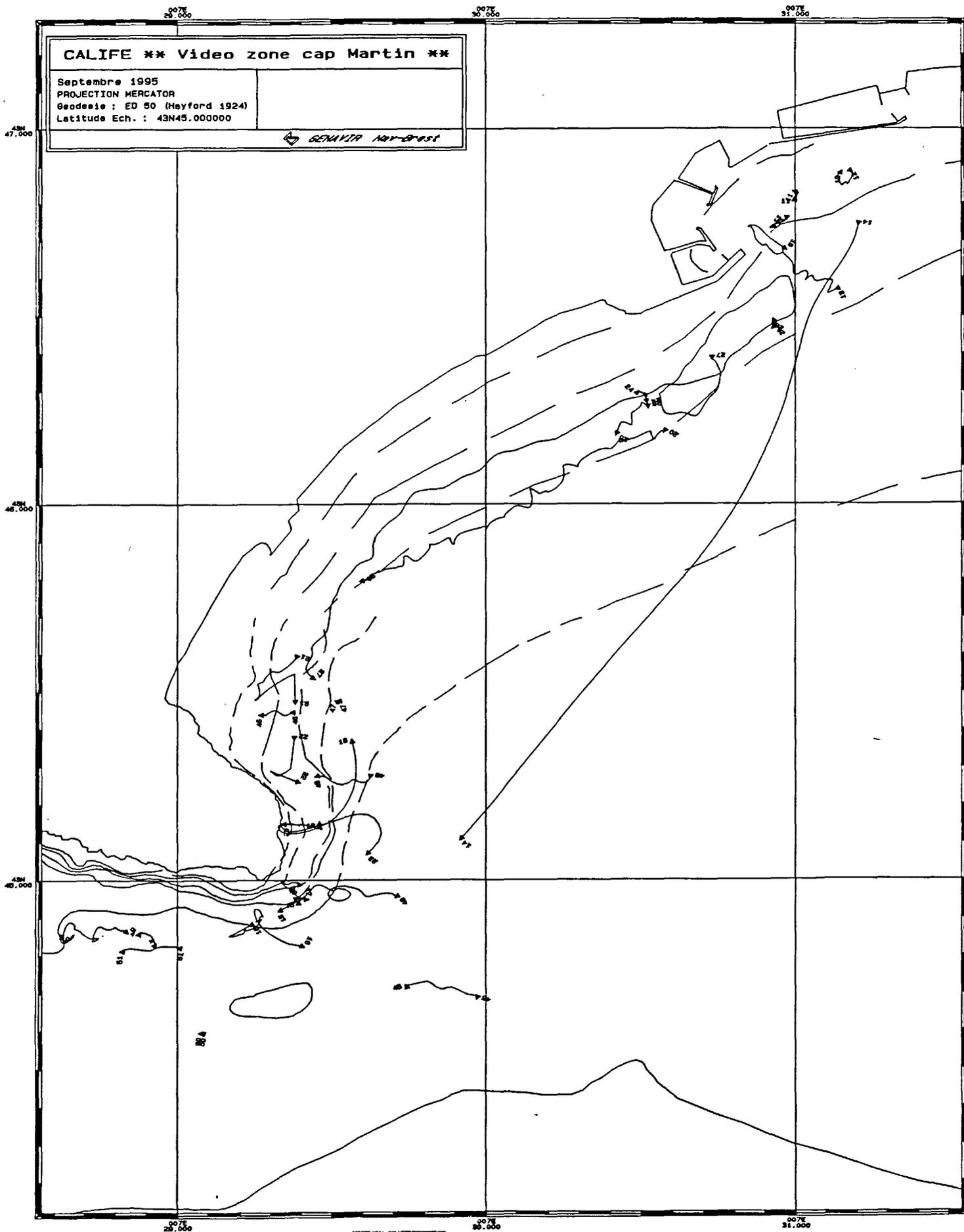


Figure 9

- n° 14 : 1 à 25 % sur sable et herbier de cymodocée à -5 m, puis sur herbier de posidonie et sur vase
- n° 19 : 50 à 100 % sur sable et sur herbier de posidonie
- n° 20 : 50 à 100 % sur herbiers de cymodocée et de posidonie
- n° 21 : 50 à 100 % sur herbier de posidonie
- n° 22 : 50 à 100 %
- n° 24 : 50 à 100 % sur vase et herbier de cymodocée
- n° 25 : 25 à 100 % sur herbier de cymodocée
- n° 26 : 50 à 100 % sur vase et herbier de posidonie
- n° 27 : 25 à 100 % sur vase, herbiers de cymodocée et de posidonie

### Secteur du Musée océanographique

La mise en place de nombreuses balises par le musée océanographique rend désormais impossible une prospection rationnelle du secteur par vidéo sous marine tractée par bateau. Cependant, quelques trajets en bordure de ce périmètre historique confirment l'implantation continue de l'algue en profondeur, sur substrat vaseux (figure 10).

6 trajets effectués - présence de *C. taxifolia* sur les trajets 29 (de - 30 à - 40 m : 100 %), 30 (-35 m : 1 à 25 %), 37 (de 1 à 25 %), 38 (- 30 m : de 1 à 50 %), 39 (- 64 m : 1 à 25 %)

Des prospections et des prélèvements effectués en plongée au droit du Musée témoignent également de la présence d'une couverture totale à *C. taxifolia* sur substrat rocheux jusqu'à au moins - 30 m.

### Secteur du Cap d'Ail

10 trajets effectués - présence de *C. taxifolia* sur les trajets 31, 32, 34, 35, 40 (- 35 m : de 1 à 25 %) à 44 (figure 11).

n° 31 : 50 à 100 % de *C. taxifolia*. La frange supérieure de l'herbier de posidonie dense présent lors de la précédente campagne, en 1994, a disparu par endroits, entre - 5 et - 15 m. Cet herbier apparaît maintenant complètement envahi.

n° 32 : 1 à 100 % de *C. taxifolia* sur herbier de posidonie dense, ainsi que sur les bordures de mat.

n° 34 : 1 à 25 % sur herbier de posidonie

n° 35 : 1 à 25 % sur herbier de posidonie

n° 40 : 1 à 25 % sur sable

n° 41 : 1 à 25 % sur vase ; *C. taxifolia* est détectée jusqu'à - 50 m

n° 42 : 1 à 25 % sur vase ; *C. taxifolia* à - 43 m

n° 43 : 1 à 25 % sur vase ; *C. taxifolia* à - 75 m

n° 44 : 1 à 25 % sur vase ; *C. taxifolia* à - 50 m

Evolution de l'occupation spatiale pour chacun des secteurs

### Secteur de Menton

La couverture végétale formée par l'algue est continue le long de la côte, avec une extension de la colonisation en profondeur, par rapport à l'année 1994. La densité du recouvrement va de 50 et 100 % entre - 5 et - 20 m et de 1 à 25 % entre - 20 et - 60 m.

évolution de l'occupation spatiale :

mars 1992 : 0.09 ha

octobre 1992 : 0.76 ha

mars 1994 : 80.4 ha

octobre 1995 : 229 ha

(figure 12)

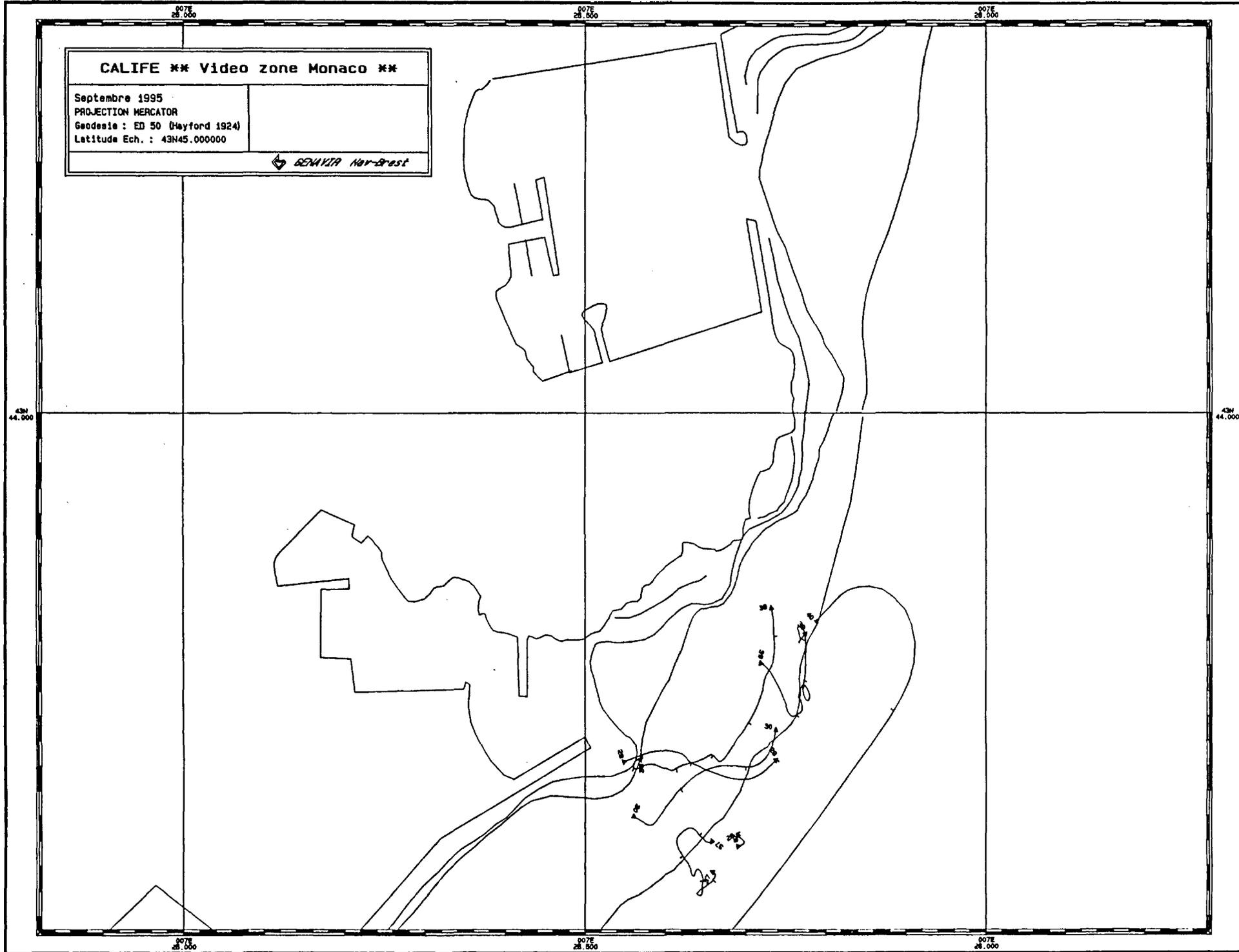
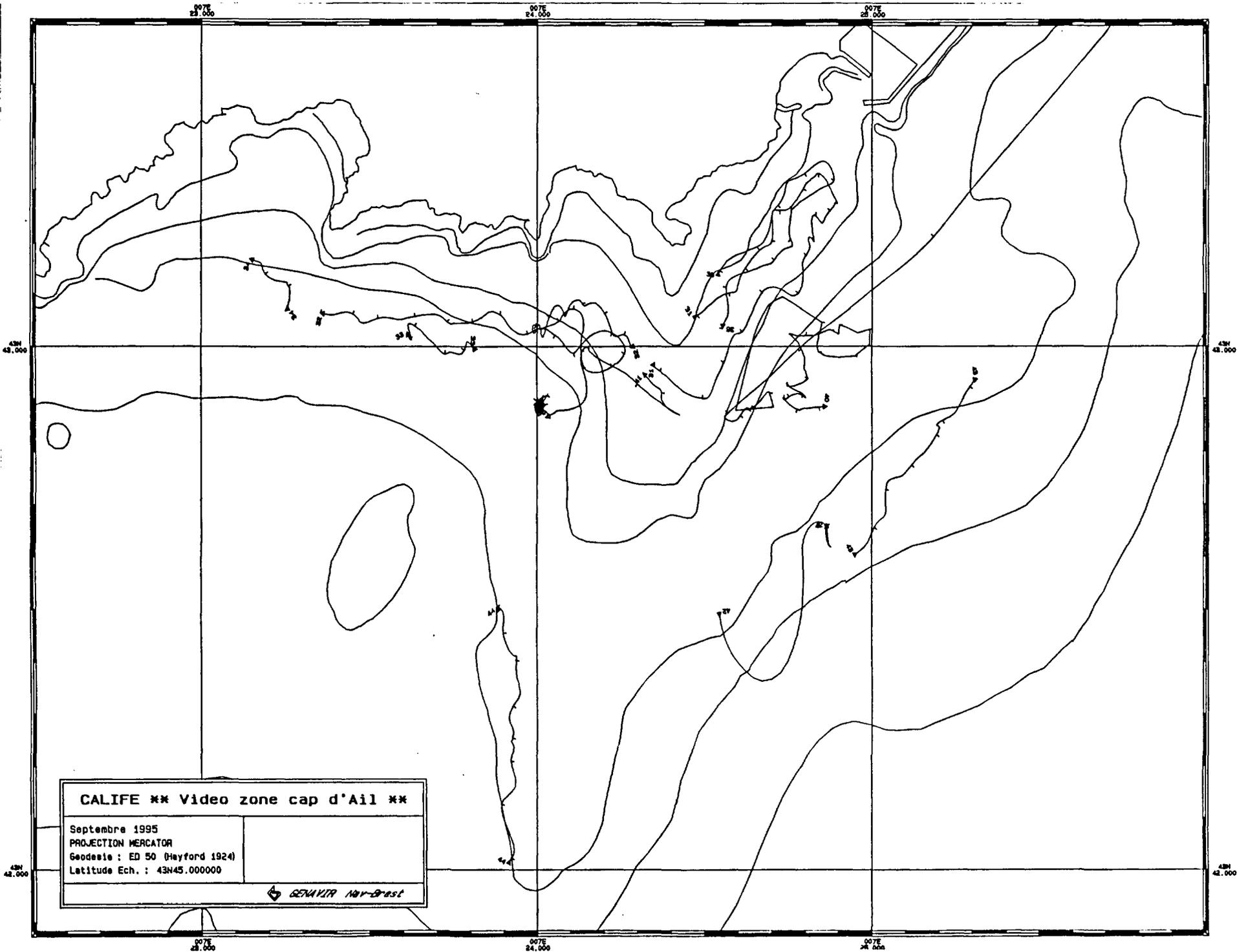


Figure 10

**Figure 11**



*Caulerpa taxifolia*



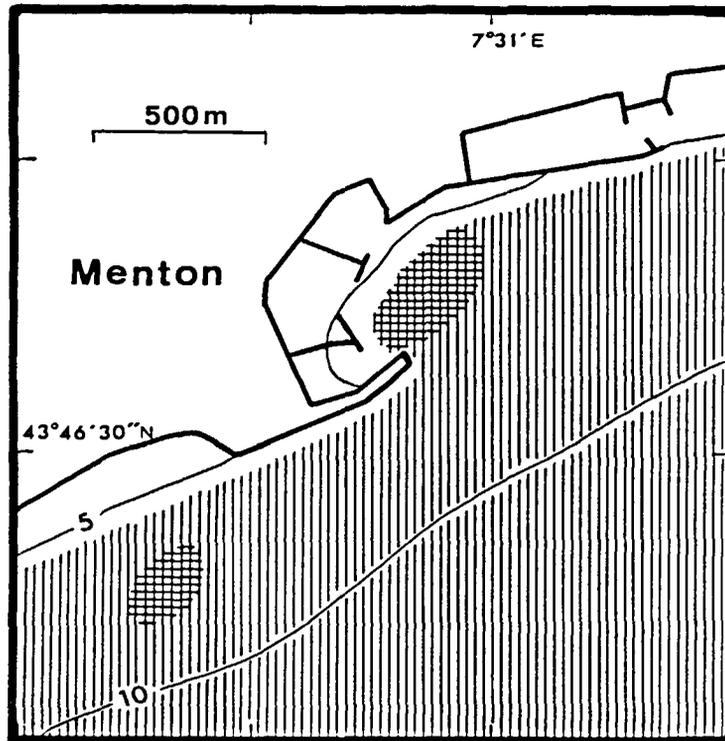
oct. 1992



oct. 1995

0,76 ha

229 ha



Octobre 1995

% de recouvrement



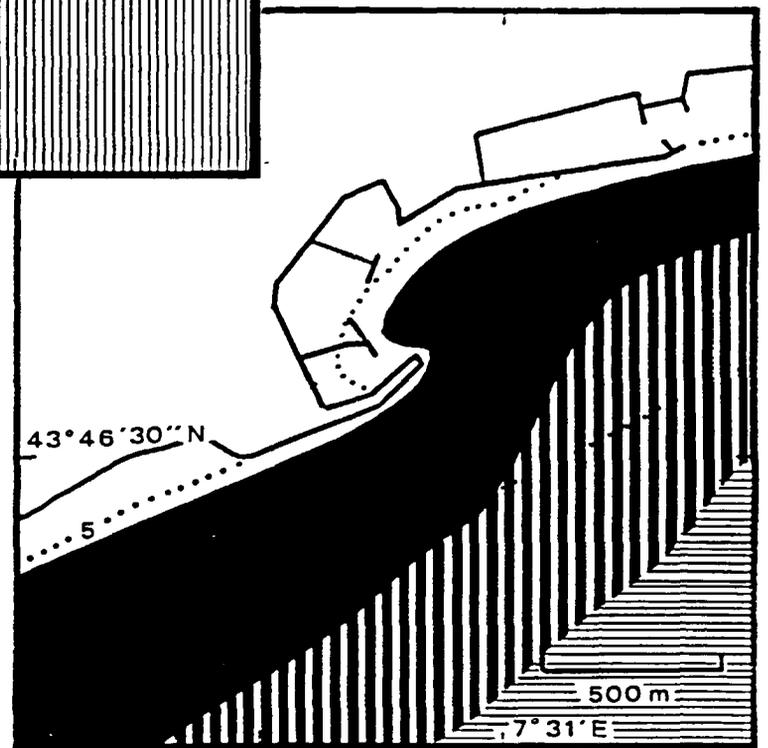
1 à 25



>25 à 50<



50 à 100



Belsher et al., 1997

Figure 12 : Données quantitatives

### Secteur du Cap Martin

*C. taxifolia* a continué sa progression en profondeur ainsi qu'autour du Cap Martin, en direction de la baie de Roquebrune. L'espèce a atteint maintenant les fonds situés à - 70 m. Les densités de recouvrement, ainsi que les superficies occupées sont en constant accroissement.

évolution de l'occupation spatiale:

mars 1992 : 34.82 ha

octobre 1992 : 129 ha

mars 1994 : 124 ha

octobre 1995 : 166.20 ha

( figure 13)

### Secteur de Monaco

- de la baie du Monte Carlo Beach au Tombant du Loews

De nombreuses taches à *C. taxifolia* se sont développées dans la baie du Monte Carlo Beach. La progression de l'espèce se poursuit dans la Réserve du Larvotto où les réimplantations de *Posidonia oceanica* sont complètement recouvertes ( photo 5 ).

Au tombant de l'hotel du Loëws, des mesures mensuelles effectuées par les plongeurs de la Compagnie des Carabiniers du Prince permettent d'estimer la vitesse de la colonisation des fonds.

janvier 1996 : *C. taxifolia* à - 13 m

février 1996 : *C. taxifolia* à - 16 m

mars 1996 : *C. taxifolia* à - 17.2 m

Des touffes isolées sont fixées jusqu'à - 30 m.

Aussi la distance par rapport aux réserves de corail naturel implantées dans ce secteur n'est plus maintenant que de 6 à 7 m.

- du Port d'Hercule au Port de Cap d'Ail (incluant Musée océanographique, Port de Fontvieille, tombant de St Nicolas)

De la cale de halage du fond du port d'Hercule jusqu'à la jetée centrale supportant la station B.P. : couverture à 100 % ; ensuite rien de la jetée centrale jusqu'au Yatch Club. A l'extérieur de la jetée sud, coté mer, apparition de C.t. au niveau de la seconde échelle à partir de l'extrémité de la jetée (figure 14 et bande continue, de densité inégale, jusqu'au port de Cap d'Ail. L'algue a accru sa densité en profondeur : de 50 à 100 % jusqu'à - 41 m. Elle a été repérée jusqu'à - 64 m au droit du Musée. Il est vraisemblable que son extension est plus profonde mais les balises disposées devant le Musée empêche une prospection rationnelle.

évolution de l'occupation spatiale :

octobre 1992 : 37 ha

mars 1994 : 45.3 ha

octobre 1995 : 97.6 ha

( figures 14 et 15)

### Secteur du Cap d'Ail

La progression de *C. taxifolia* se poursuit en profondeur, puisqu'elle a été détectée jusqu'à - 75 m. Le second fait marquant est l'augmentation de la densité de recouvrement entraînant, par endroits, par petits fonds, la disparition de l'herbier de posidonie.

évolution de l'occupation spatiale :

mars 1992 : 19.33 ha

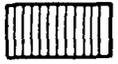
octobre 1992 : 50.45 ha

# *Caulerpa taxifolia*



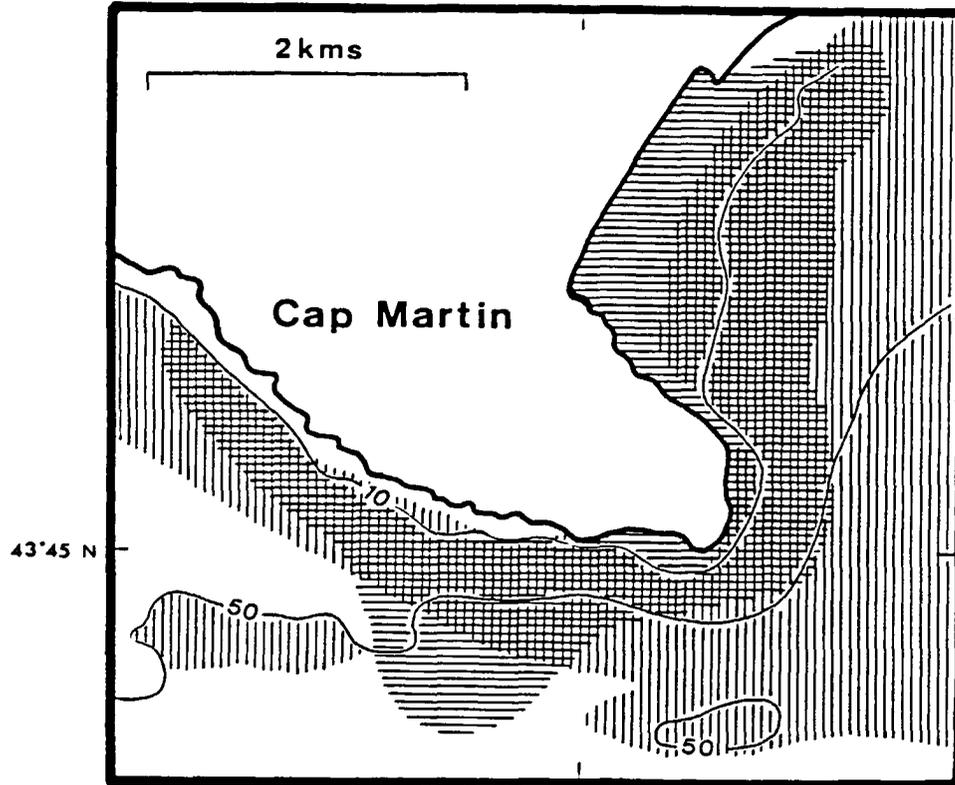
oct. 1992

129 ha



oct. 1995

166 ha



Octobre 1995

% de recouvrement



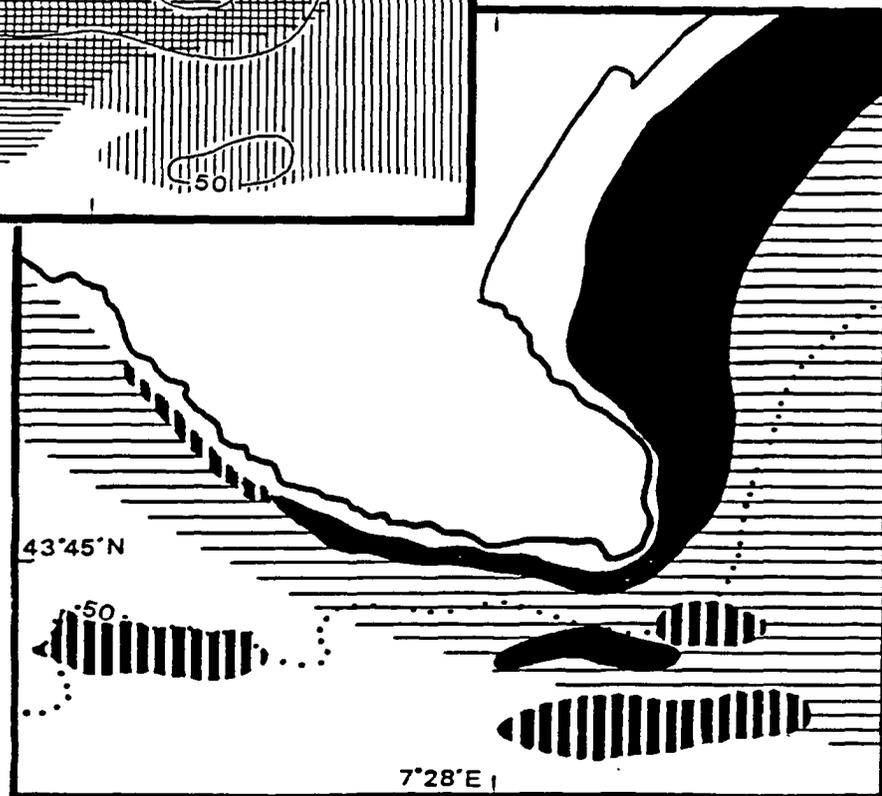
1 à 25



>25 à 50 <



50 à 100

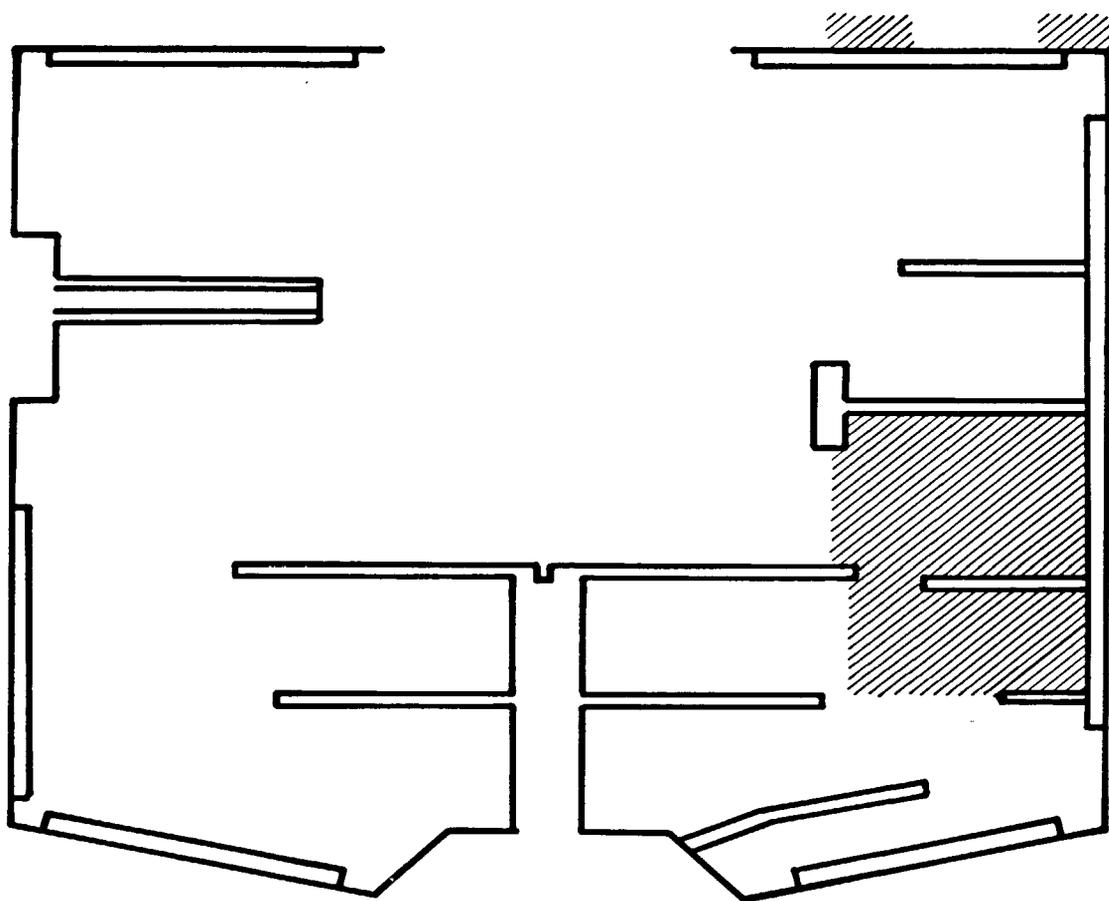


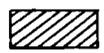
Belsher *et al.*, 1997

Figure 13 : Données quantitatives



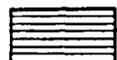
**Photo 5 (J.M. Estienne) : Colonisation de réimplantations de *P. oceanica* par *C. taxifolia* dans la réserve sous-marine monégasque du Larvotto**



 Localisation de *Caulerpa taxifolia*

**Figure 14 : Port d'Hercule, Monaco**

*Caulerpa taxifolia*



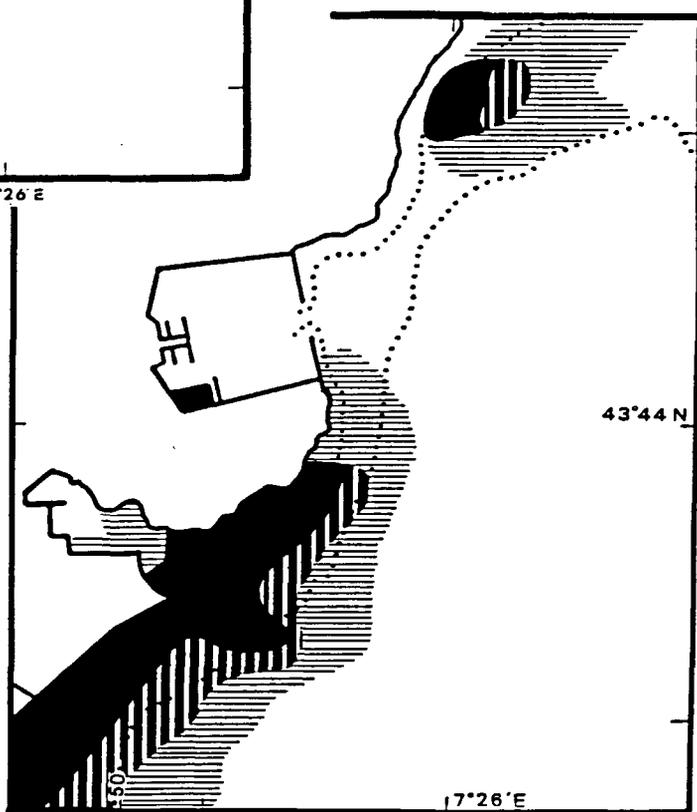
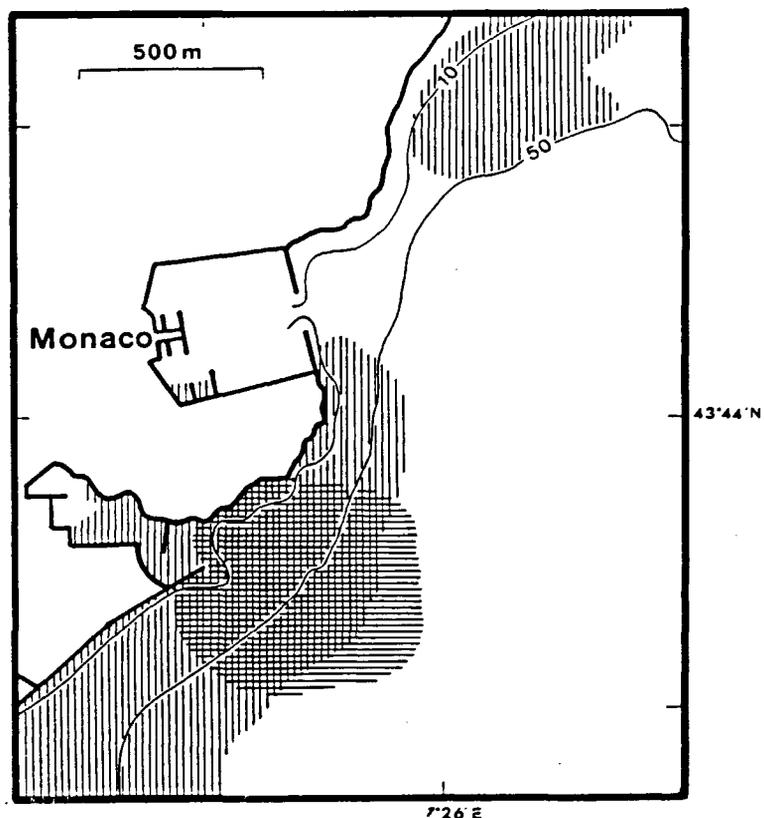
oct. 1992

37 ha



oct. 1995

97 ha



Octobre 1995

% de recouvrement



1 à 25



>25 à 50 <



50 à 100

Belsher *et al.*, 1997

Figure 15 : Données quantitatives

mars 1994 : 31 ha  
octobre 1995 : 238.33 ha  
(figure 16)

Le report, sur la couverture effectuée par sonar, des données qualitatives et quantitatives obtenues à partir des données vidéo est envisagé dès que celle-ci sera complète et totalement dépouillée.

## 2- Devenir de la biomasse développée et modifications des sédiments

Pour les populations denses, les biomasses mesurées s'échelonnent entre 53.5 g à 214 g/PS/m<sup>2</sup>, en 1995, et entre 134.83 g à 327.25 g/PS/m<sup>2</sup> en 1996. Dans la réserve sous-marine du Larvotto et devant le Musée océanographique de Monaco, les biomasses moyennes sont respectivement de 110 et de 170 g/PS/m<sup>2</sup>.

Les analyses de carottes de sédiments profonds, prélevés par carottier multitubes, entre - 50 m et - 60 m, donc dans des zones encore relativement peu colonisées par l'algue, révèlent des teneurs élevées en azote ammoniacal (figure 6 et annexe 3).

Les analyses de carottes effectuées par plongeurs montrent des valeurs beaucoup plus fortes pour ce composé dans les sédiments prélevés sous les populations denses de *C. taxifolia* que pour les sédiments voisins non encore colonisés. Quant aux valeurs en phosphates elles sont moins élevées dans les sédiments recouverts de *C. taxifolia* que dans ceux non colonisés par la végétation algale dans les secteurs du Musée océanographique et du Loews (figure 6 et annexe 4).

La dégradation de la végétation, et en particulier de *C. taxifolia*, induit donc une modification de la composition du sédiment, constatable d'ailleurs déjà aisément de visu, celui-ci apparaissant noirâtre et putride.

### Dosage des métaux lourds

Les concentrations mesurées indiquent une certaine contamination par rapport à des sédiments prélevés en haute mer. Les concentrations en métaux des sédiments ont tendance à augmenter lorsqu'on se rapproche de la côte (annexe 5).

## 3- compétition entre *C. taxifolia* et *P. oceanica*.

### - Conditions environnementales.

Pour les deux périodes étudiées, septembre 1995 et mars 1996, les conditions environnementales ont été relativement stables tant en température, salinité que pour les conditions d'oxygénation de la masse d'eau. Celle-ci est à saturation et les teneurs en éléments nutritifs traduisent un milieu oligotrophe (annexe 6, tableau 1). Le temps à été ensoleillé avec quelques passages nuageux. En mars la pénétration de la lumière est comprise entre 52 et 65 % à 4 m avec un coefficient d'atténuation K compris entre 0,14 et 0,24 m<sup>-1</sup>.

### - Biomasses

En septembre 1995, les biomasses sèches de *C. taxifolia* sont en moyenne de 94 g m<sup>-2</sup> (ec.t. = 47 ; n = 9) et celles de *P. oceanica* de 263 g m<sup>-2</sup> (ec.t. = 129 ; n = 3).

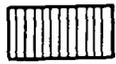
En mars 1996, ces biomasses de *C. taxifolia* sont en moyenne de 277 g m<sup>-2</sup> (ec.t. = 177 ; n = 5) le 26/03/96 et 255 g m<sup>-2</sup> (ec.t. = 41 ; n = 2) le 27/03/97 et celles de *P. Oceanica* de 539 g m<sup>-2</sup> (ec.t. = 55 ; n = 2).

# *Caulerpa taxifolia*



oct. 1992

50 ha



oct. 1995

238 ha

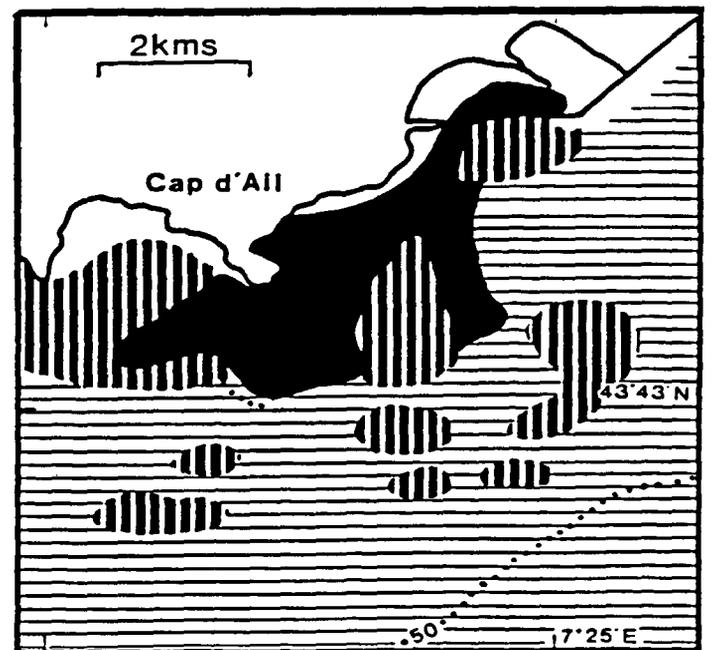
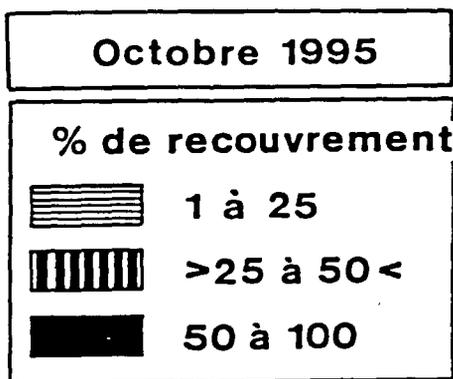
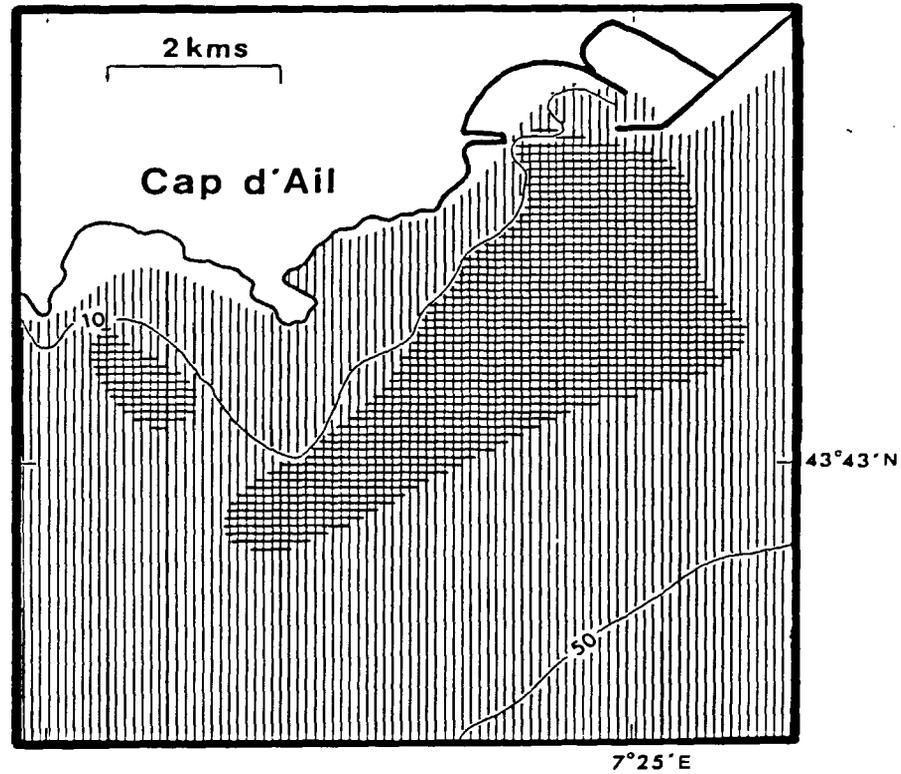


Figure 16 : Données quantitatives

Belsher *et al.*, 1997

#### - Oxygène

Seules les mesures ayant généré des séries de points présentant au cours du temps un alignement conduisant à un coefficient de corrélation linéaire supérieur à 0,85 sont retenues pour analyse (fig. 17).

En septembre 1995, la respiration benthique, à l'obscurité, est de  $143 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  pour les secteurs à caulerpes. Il ne semble pas y avoir de différence notable avec ce qui a été mesuré dans les herbiers à posidonies ( $152 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ). Par contre les flux nets vers le système pélagique montrent que les champs de caulerpes produisent plus d'oxygène ( $125 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) que les herbiers à posidonies ( $21 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ).

En mars 1996, la respiration benthique est de  $120,7 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  (ec.t. = 6,6 ; n = 3) le 26/03/96 et de  $173,5 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  (n = 1) le 27/03/96 pour les caulerpes. Cette respiration benthique est respectivement de  $179,6 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  (n = 1) et  $25,7 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  (n = 1) pour les herbiers à posidonies et le sédiment sans macrophyte. Les flux nets vers le système pélagique sont de  $118,2 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  (ec.t. = 21,5 ; n = 3) pour les caulerpes le 26/03/96 et respectivement de  $94,2 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  (n = 1),  $165,3 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  (n = 1) et  $11,6 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  (n = 1) pour les caulerpes, les posidonies et le sédiment sans macrophyte (tableau 2, annexe 7).

#### - Production primaire brute

La production primaire brute moyenne en septembre 1995 (tableau 2) est supérieure pour les caulerpes ( $268 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) à celle des posidonies ( $172 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ). Converties en carbone, en considérant un coefficient photosynthétique de 1, soit  $1 \text{ mgC} = 0,375 \text{ mgO}_2$  (Hargrave et al., 1983 ; Oviatt et al. 1986), la production primaire consomme respectivement 100 et  $65 \text{ mgC h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  pour les champs de caulerpes et les herbiers à posidonies.

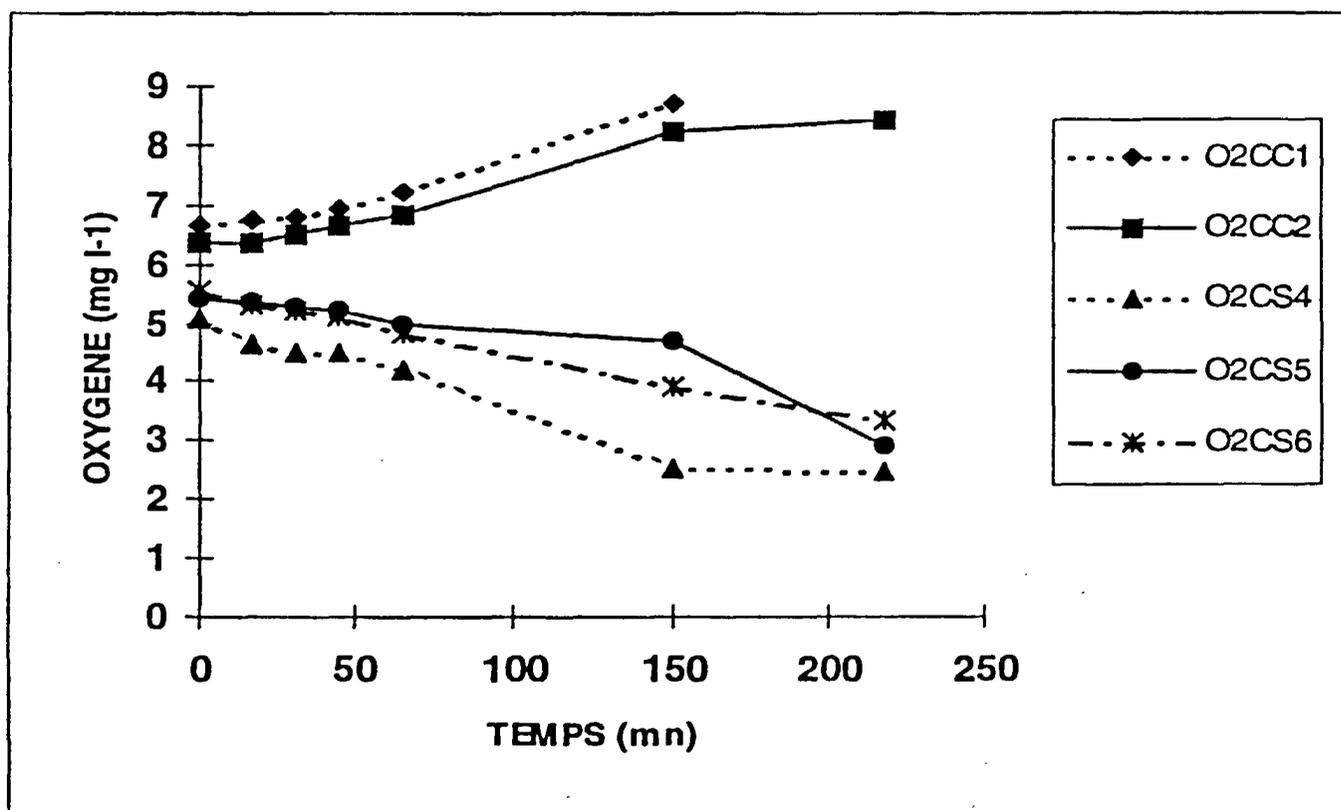
La production primaire brute moyenne en mars 1996 (annexe 7, tableau 2) est supérieure pour les posidonies ( $344,9 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) à celle des caulerpes (respectivement  $238,9 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  le 26/03 et  $267,7 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  le 27/03) et à celle du phytobenthos ( $37,3 \text{ mgO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ). Converties en carbone, la production des caulerpes est de  $90 \text{ mgC h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  le 26/03 et de  $100,4 \text{ mgC h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  le 27/03. Elle est de  $129,3 \text{ mgC h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  pour les posidonies et de  $14 \text{ mgC h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  pour le phytobenthos (tableau 2, annexe 7).

#### - Sels nutritifs

Du fait de la très faible teneur des eaux en nutriments, caractéristiques de ces secteurs, peu de cloches présentent des résultats significatifs : ceci est particulièrement vrai pour les nitrates et nitrites dont les données ne seront pas exploitées.

Cependant en septembre 1995, l'excrétion benthique ne semble pas différente pour les champs de caulerpes et les herbiers à posidonies (annexe 7, tableau 2), que cela soit pour l'ammonium (respectivement 11 et  $17 \mu\text{mole h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) ou les phosphates ( $0,6$  et  $1 \mu\text{mole h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ). Pour l'ammonium, les flux nets entre les systèmes pélagique et benthique sont supérieurs pour les caulerpes. De plus, comme pour l'oxygène, les flux nets de phosphate mettent nettement en évidence les besoins supérieurs des caulerpes par rapport aux posidonies.

En mars 1996, seules les pentes calculées pour l'ammonium présentent des corrélations supérieures à 0,9. Ainsi la consommation nette d'ammonium à la lumière ( $-7 \mu\text{mole h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) est supérieure à celle enregistrée à l'obscurité ( $-5,1 \mu\text{mole h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) pour les caulerpes. Le sédiment sans macrophytes se comporte de la même manière (tableau 2). Les besoins en ammonium pour les caulerpes et le phytobenthos sont donc respectivement de 2,1 et  $3,2 \mu\text{mole h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ .



**Figure 17 :** évolution simultanée des concentrations en oxygène (mg l<sup>-1</sup>) dans les cloches benthiques claires (O2CC) et noires (O2CS) le 29 septembre 1995 pour une incubation commencée à 11h40. Coefficient de corrélation supérieur à 0,97 en valeur absolue.

En conclusion, il apparaît que l'activité photosynthétique de *C. taxifolia* est largement supérieure à celle de *P. Oceanica* en automne comme en hiver. Si on la traduit en production primaire brute carbonée, elle est de 50 % supérieure par m<sup>-2</sup>, et 8 fois supérieure si elle est exprimée à biomasse sèche égale à 21° C et environ une fois et demi à 14°C. Elle semble légèrement supérieure aux ordres de grandeur rencontrés chez les macrophytes (annexe 8, tableau 3) pour le mois de septembre. Ceci traduit la forte capacité de développement de *C. taxifolia* par rapport à *P. oceanica* dans le même secteur et par rapport aux macrophytes en général en automne, alors qu'en hiver, à température plus faible, elle reste du même ordre de grandeur, confirmant ainsi les observations de Gayol *et al.* (1994) sur le rôle limitant de la température sur la photosynthèse de *C. taxifolia*. L'intensité de la compétition pourrait donc être moindre en hiver. Ceci serait en accord avec les variations morphologiques du cycle de la caulerpe mises en évidence dès 1992 (Belsher *et al.*, 1993) et confirmées depuis par tous les observateurs (Meinesz *et al.*, 1994., Verlaque *et al.*, 1994). Cependant, les conditions environnementales étant identiques, comment ces deux espèces vont-elles trouver les éléments azotés et phosphorés nécessaires à leur croissance ?

En septembre, les diffusions d'azote à l'obscurité (métabolisme benthique) pour les deux systèmes à *P. oceanica* et à *C. taxifolia* sont du même ordre de grandeur, et le flux net est dirigé vers le système benthique, traduisant l'utilisation par les macrophytes de plus d'ammonium que n'en produit le système benthique. Il en est de même pour l'utilisation des phosphates. Par contre les caulerpes fixent beaucoup plus de phosphates que le système benthique n'en fournit et que les posidonies n'en utilisent. Feldner (1979) signale que les sédiments ne sont pas suffisants pour couvrir les besoins des herbiers à *Zostera marina*, et que les feuilles de ces dernières montrent une meilleure capacité d'absorption de N et P que les racines. Mais McRoy *et al.* (1972), Orth (1977), Penhale et Thayer (1980) et Brix et Lyngby (1985) indiquent que lorsque les concentrations dans les eaux sont faibles, la croissance des *Z. marina* est limitée par les nutriments et liée à leurs disponibilités dans les sédiments. Delgado et Vidal (1988) ont analysé les teneurs en phosphore chez quatre phanérogames marines (*Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii*, *Ruppia cirrhosa* et *Posidonia oceanica*). Les valeurs trouvées sont de l'ordre de 1,0 à 2,5 mg gsec<sup>-1</sup> dans les feuilles et de 0,5 à 2,1 mg gsec<sup>-1</sup> dans les rhizomes, avec des différences significatives entre ces espèces. Les rhizomes de *P. oceanica*, en particulier, peuvent agir comme des réservoirs à phosphore : *Posidonia oceanica* jouerait, d'après ces auteurs, un rôle important dans la mobilisation du phosphore du sédiment.

En mars, les faibles températures et concentrations en éléments nutritifs dans les eaux n'ont pas permis d'obtenir des résultats probants quant à leur utilisation par les macrophytes. Les flux mesurés pour l'ammonium ne diffèrent pas pour les caulerpes et le phytobenthos et sont très inférieurs à ceux enregistrés en septembre à 21° C.

La méthodologie utilisée dans cette étude ne permet pas de différencier le rôle des feuilles et des rhizomes pour les deux herbiers étudiés. Cependant, au vu des très faibles concentrations en sels nutritifs des eaux ainsi qu'aux résultats obtenus, il semble que *C. taxifolia* soit plus apte que *P. oceanica* à utiliser les phosphates disponibles dans la masse d'eau en automne (annexe 9, tableau 4). Dans un environnement limité en phosphate, comme l'est la Méditerranée, cette capacité de fixation des phosphates, en période oxique où ils sont rares, est sans doute un avantage dans la compétition entre les deux espèces.

Cependant ces résultats restent préliminaires. Des mesures conjointes sur les deux espèces, et à différentes saisons, prévues pour l'année à venir, permettront de préciser si ces capacités à utiliser les éléments diffusants du système benthique et ceux disponibles dans la masse d'eau se confirment et si cette compétition est à toutes les saisons en faveur des caulerpes. D'après les expérimentations menées *in vitro*, *C. taxifolia* serait limité par les nutriments au printemps (Delgado *et al.*, 1994, ).

## CONCLUSIONS

### 1- Dynamique de l'expansion

L'analyse des données obtenues par vidéo-tractée et par plongée, année après année, montre clairement la persistance et l'extension des populations de *Caulerpa taxifolia*. La dynamique de l'expansion est modulée suivant la nature du substrat, les biocénoses rencontrées et la profondeur. Ainsi, sur les substrats à dominante vaseuse s'étendant devant le musée océanographique de Monaco, l'occupation spatiale est passée de 37 ha en 1992 à 97.6 ha en 1995 alors que dans le secteur du cap d'Ail, où l'herbier de posidonie constitue un bon substrat pour la progression de *C. taxifolia*, les chiffres sont respectivement pour les mêmes années, de 50.45 ha et de 238.33 ha. La progression la plus spectaculaire est constatée sur les hauts fonds à dominante sableuse du secteur de Menton.

Globalement, sur la zone d'étude, la colonisation des fonds par *C. taxifolia* est passée de 217 ha en 1992 à 730 ha en 1995 : elle devrait avoisiner les 1000 ha en 1996.

La poursuite de l'expansion en profondeur continue, plus lentement cependant que dans la zone photique de développement optimal qui apparaît être située entre - 1 m et - 30 m. Les populations denses, c'est à dire dont le recouvrement du substrat varie entre 50 et 100 % , et qui étaient jusqu'en 1994 l'apanage de la zone photique, s'étendent parfois au-delà de l'isobathe - 50 m.

La niche écologique de cette algue est donc susceptible de couvrir non seulement l'étage infralittoral, mais également la frange supérieure du circalittoral.

### 2- Biomasses

Pour les populations denses, les biomasses vont de 53.5 g à 214 g/PS/m<sup>2</sup>, en 1995, de 134.83 g à 327.25 g/PS/m<sup>2</sup> en 1996. Dans la réserve sous marine du Larvotto et devant le Musée océanographique de Monaco, les biomasses moyennes sont respectivement de 110 g/PS/m<sup>2</sup> et de 170 g/PS/m<sup>2</sup>.

Ces données ont été acquises en automne, lors de la période de biomasse maximale : elles sont sujettes à de très fortes diminutions en hiver, période de biomasse minimale.

### 3- Modifications de la biodiversité

Les aspects de compétition vis à vis de la flore indigène sont aigus. Les algues photophiles de l'étage infralittoral sont, à de rares exceptions près, totalement supplantées sous une couverture dense de *C. taxifolia*. La régression de la frange supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica*, observée au Cap d'Ail en 1995, est confirmée pour 1996. Il n'est pas possible pour l'instant de déterminer si cette régression est saisonnière ou définitive.

### 4- Modifications des sédiments

Les analyses de carottes de sédiments, tant au niveau des métaux lourds, des pesticides et des nutriments, effectuées à partir de 1994, entre - 32 m et - 64 m se sont poursuivies en 1995 et 1996. La comparaison des données montre une augmentation, en certains secteurs, des valeurs en azote ammoniacal. Celles-ci témoigneraient d'une forte activité biologique.

La reminéralisation de la matière organique peut-elle être attribuée à la dégradation de populations denses et voisines à *C. taxifolia* ? La série acquise, encore trop limitée dans l'espace et le temps, ne permet pas encore de répondre par l'affirmative à cette question.

Parallèlement, dans ces mêmes secteurs, les valeurs de nitrates indiquent que le sédiment n'est pas totalement anoxique.

Une réduction des sédiments sous les populations denses de *C. taxifolia* situées à - 10 m a été observée en 1996.

##### **5- Mécanismes de la compétition**

Afin de déterminer les mécanismes de la compétition entre l'algue *C. taxifolia* et la phytocénose végétale principale de Méditerranée constituée par l'herbier à *P. oceanica*, des mesures *in situ* à l'aide de cloches benthiques ont été effectuées en 1995 et 1996. L'activité photosynthétique de *C. taxifolia* est largement supérieure, en automne comme en hiver, à celle de *P. oceanica* : les ordres de grandeur sont respectivement de 8 fois et de 1.5 fois. *C. taxifolia* serait également plus apte à utiliser les phosphates. Dans un environnement limité en nutriments, comme l'est la Méditerranée, cette capacité de fixation est sans doute un avantage dans la compétition entre les deux espèces. Ces résultats préliminaires seront complétés par l'obtention de données supplémentaires au cours des années à venir.

## BIBLIOGRAPHIE

- Aminot A., Chaussepied M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO : 395 p.
- Augier H., 1985. L'herbier à *Posidonia oceanica*, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact. *Vie mar.*, 7 : 85-113.
- Barranguet C., Alliot E., Plante-Cuny M.R., 1994. Benthic microphytic activity at two Mediterranean shellfish cultivation sites with reference to benthic fluxes. *Oceanologica Acta*, 17 (2) : 211-221.
- Bay B., 1979. Etude *in situ* de la production primaire d'un herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delili, dans la baie de Calvi (Corse). P.V. Reun.Commiss. Intern. Explor. Sci. Mer Médit., Monaco, 25-26 (4) : 201-202.
- Bay B., 1984. A field study of the growth dynamics and productivity of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Calvi bay, Corsica. *Aquat. Bot.*, 20 : 43-64.
- Belsher T., Youenou G., Dimeet J., Raillard J.M., Bertrand S., et Mereau N., 1993. Evolution de *Caulerpa taxifolia* devant les côtes des Alpes Maritimes et de la Principauté de Monaco. Observations par vidéo-tractée (mars et octobre 1992). Rapport IFREMER/Centre de Brest, 36 p.
- Belsher T., Dimeet J., Raillard J.M., Coïc D., Grillo M.C., Veglia A. et Pucci R.. Acquisition d'éléments qualitatifs et quantitatifs sur l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en 1994 (Alpes maritimes et Principauté de Monaco). Rapport IFREMER/Centre de Brest, 32 p.
- Boudouresque C.F., Giraud G., Perret-Boudouresque M., 1979 et 1980.- Bibliography on vegetation and ecosystems of *Posidonia oceanica*. Part 1. *Excerpta botanica.*, Germ., 19 (2B) : 145-161 ; Part II. *Excerpta botanica.*, Germ., 20 (2B) : 125-135.
- Brix H., Lyngby J.E., 1985. Uptake and translocation of phosphorus in elgrass (*Zostera marina*). *Mar. Biol.*, 90 : 111-116.
- Cahoon L.B., Cooke J.E., 1992. Benthic microalgal production in Onslow bay, North Carolina, USA. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 84, 185-196.
- Delgado O., et Vidal, M., 1988. Phosphorus cycling in Mediterranean seagrass ecosystems phosphorus content of vegetal tissues and sediments. International Workshop on *Posidonia* Beds, Boudouresque C.F., Meinesz A., Fresi E. et Gravez V. edit., *GIS posidonie publ.*, Fr., 1989, 2 : 93-100.
- Delgado O., Rodriguez-Prieto C., Gacia E., et Ballesteros, E., 1994. Nutrient-limited productivity of *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, an alien seaweed invading the north-western Mediterranean : preliminary results. First international Workshop on *Caulerpa taxifolia* ; Boudouresque C.F., Meinesz A., et Gravez V., edit., *GIS Posidonie publ.*, Fr., : 295-299.
- Feldner J., 1979. Untersuchungen zum stickstoff und phosphorhaushalt von *Zostera marina* bestaenden. *Verh. Ges. Oekol.*, 62 : 393-401.

- Gayol P., Falconetti C., Chisholm J.R.M., et Jaubert J.M., 1994. First international Workshop on *Caulerpa taxifolia* ; Boudouresque C.F., Meinesz A., et Gravez, V., edit., *GIS Posidonie publ.*, Fr., 291-293.
- Grenz C., Plante-Cuny M.R., Plante R., Alliot E., Baudinet D., Berland B., 1991. Measurements of benthic nutrient fluxes in Mediterranean shellfish farms : a methodological approach. *Oceanol. Acta*, 14 ( 1 ) : 195-201.
- Hargrave B.T., Prouse N.J., Phillips G.A., Neame P.A., 1983. Primary production and respiration in pelagic and benthic communities at two intertidal sites in the upper Bay of Fundy. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40 (suppl. 1) : 229-243.
- Hopkinson C.S., Wetzel R.L., 1982. *In situ* measurements of nutrient and oxygen fluxes in a coastal marine benthic community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10 : 29-35.
- Jacobs R.P.W.M., 1979. Distribution and aspects of the production and biomass of eelgrass, *Zostera marina* L., at Roscoff, France. *Aquat. Bot.*, 7 : 151-172.
- Koroleff F., 1970. Direct determination of ammonia in natural water as indophenol blue (revised). Information on technique and method for sea-water analysis interlab. *Rep. Cons. int. Explor. Mer*, 3 : 19 -22.
- Lorenti M., Mazzella L., Buia M.C., 1995. Light limitation of *Posidonia oceanica* (L.) Delil growth at different depths. *Rapp. Comm. int. Mer médit.*, 34 : 34.
- Mc Roy C.P., Barsdate R.J., Nebert M., 1972. Phosphorus cycling in an eelgrass (*Zostera marina* L.) ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 17(1) : 58-67.
- Orth R.J., 1977. Effect of nutrient enrichment on growth of the eelgrass *Zostera marina* in the Chesapeake bay, Virginia, USA. *Mar. Biol.*, 44 : 187-194.
- Ott J.A., 1980. Growth and production in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Publ Staz zool Napoli : Mar. Ecol.*, 1 : 47-64.
- Oviatt C.A., Keller A.A., Sampou P.A., Beatty L.L., 1986. Patterns of productivity during eutrophication : a mesocosm experiment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 28 : 69-80.
- Penhale P.A., 1977. Macrophyte-epiphyte biomass and productivity in an eelgrass (*Zostera marina* L.) community. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 26 : 211-224.
- Pergent G., Romero J., Pergent-Martini C., Mateo M.A., Boudouresque C.F., 1994. Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 106 : 139-146.
- Pergent-Martini C., Rico-Raimondino V., Pergent G., 1994. Primary production of *Posidonia oceanica* in the Mediterranean Basin. *Mar. Biol.*, 129 : 9-15.
- Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A., 1963. The influence of organisms on the composition of sea water. In "*The Sea*", Hill M.N. ed, 2 : 26-77.
- Strickland J.D.H., Parson T.R., 1972. A practical Handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 167 : 310 p.
- Verlaque, M., et Fritayre, P., 1994. Modifications des communautés algales méditerranéennes en présence de l'algue envahissante *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. *Oceanologica acta*, 17,6 : 659-672.

- Villèle X. de et Verlaque, M., 1994.- Incidence de l'algue introduite *Caulerpa taxifolia* sur le phytobenthos de Méditerranée occidentale. 1. L'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile in : First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, C.F. Boudouresque, A. Meinesz et V. Gravez édit., *GIS Posidonie Publ.*, Fr., 343-347.
- Wolaver T.G., Zieman J., 1984. The role of tall and medium *Spartina alterniflora* zones in the processing of nutrients in tidal water. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 19 : 1-13.

## Liste des figures :

- 1- Trajets effectués - Système de navigation assistée Sodena
- 2- Cartographie quantitative de *C. taxifolia* de Cap d'Ail à Menton
- 3- Cartographie quantitative de *C. taxifolia*. Secteur de cap d'Ail
- 4- Cartographie quantitative de *C. taxifolia*. Secteur de cap Martin
- 5- Profils sonar 1995
- 6- Localisation des stations de carottages multitubes et manuel
- 7- Schéma d'une cloche benthique
- 8- Profils vidéo
- 9- Profils vidéo-zone de cap martin
- 10- Profils vidéo-zone de Monaco
- 11- Profils vidéo-zone de cap d'Ail
- 12- Menton : données quantitatives
- 13- Cap martin : données quantitatives
- 14- Port d'Hercule : localisation de *C. taxifolia*
- 15- Monaco : données quantitatives
- 16- Cap d'Ail : données quantitatives
- 17- Evolution des concentrations d'oxygène dans les cloches benthiques

## Liste des photos :

- (1 à 5 : photos J.M. Estienne, Compagnie des Carabiniers du Prince de Monaco)
- 1- Cloche benthique claire sur population de *C. taxifolia*
  - 2- Cloche benthique claire sur herbier de *Posidonia oceanica*
  - 3- Prélèvement pour analyse des nutriments
  - 4- Mesure d'oxygène
  - 5- Réserve du Larvotto : colonisation des réimplantations de *P. oceanica* par *C. taxifolia*

## Liste des annexes :

- 1- Caractéristiques des profils sonar et vidéo
- 2- Descriptif des stations de prélèvement par carottages manuels
- 3- Stations de carottages multitubes : analyses
- 4- Stations de carottage manuels : analyses
- 5- Dosage de métaux lourds
- 6- Tableau 1 : Caractérisation du milieu extérieur des cloches benthiques
- 7- Tableau 2 : flux net, métabolisme benthique et photosynthèse brute
- 8- Tableau 3 : biomasses et production primaire carbonée de divers macrophytes
- 9- Tableau 4 : assimilation de l'azote ammoniacal et du phosphore de divers herbiers
- 10- Prélèvements en relation avec les secteurs d'étude par cloches benthiques
- 11- Compte rendu de la Compagnie des Carabiniers du Prince de Monaco

# REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à tous ceux qui ont permis et facilité cette étude et, en particulier, à :

M. P. Van Klaveren (Chef du Service de L'Environnement de Monaco),

aux plongeurs de la Compagnie des Carabiniers du Prince ainsi qu'à ceux de la Police Monégasque,

ainsi qu'aux Commandants et aux équipages du N.O « L'Europe » et du « Vitamar II ».

Conception et réalisation de la couverture :

T. Belsher et M. Chapon

Photos :

Y. Gladu (oursin à la caulerpe et plongeur), J.M. Estienne (cloche benthique) et T. Belsher (bateaux, mesures et prélèvements).

# ANNEXE 1

## \*\*\*\*\* Profils : SONAR \*\*\*\*\*

PROFILE : 001 From 03/10/1995 06:29:33 to 03/10/1995 07:24:10 Length : 8209m  
PROFILE : 002 From 03/10/1995 07:28:03 to 03/10/1995 08:11:05 Length : 8002m  
PROFILE : 003 From 03/10/1995 08:36:41 to 03/10/1995 09:23:05 Length : 8132m  
PROFILE : 004 From 03/10/1995 09:27:09 to 03/10/1995 09:41:02 Length : 2621m  
PROFILE : 005 From 03/10/1995 09:47:18 to 03/10/1995 09:57:19 Length : 1814m  
PROFILE : 006 From 03/10/1995 09:59:31 to 03/10/1995 10:09:02 Length : 1724m  
PROFILE : 007 From 03/10/1995 10:11:14 to 03/10/1995 10:22:06 Length : 1987m  
PROFILE : 008 From 03/10/1995 10:23:38 to 03/10/1995 10:34:00 Length : 1929m  
PROFILE : 009 From 03/10/1995 10:36:12 to 03/10/1995 10:47:03 Length : 2025m  
PROFILE : 010 From 03/10/1995 10:48:55 to 03/10/1995 10:58:34 Length : 1825m  
PROFILE : 011 From 03/10/1995 11:01:19 to 03/10/1995 11:10:18 Length : 1670m  
PROFILE : 012 From 03/10/1995 11:12:20 to 03/10/1995 11:20:29 Length : 1518m  
PROFILE : 013 From 03/10/1995 11:22:32 to 03/10/1995 11:30:52 Length : 1510m  
PROFILE : 014 From 03/10/1995 11:32:13 to 03/10/1995 11:38:50 Length : 1220m  
PROFILE : 015 From 03/10/1995 11:45:36 to 03/10/1995 11:53:38 Length : 1450m  
PROFILE : 016 From 03/10/1995 11:55:10 to 03/10/1995 12:03:15 Length : 1519m  
PROFILE : 017 From 03/10/1995 12:05:48 to 03/10/1995 12:17:22 Length : 2133m  
PROFILE : 018 From 03/10/1995 12:19:01 to 03/10/1995 12:40:36 Length : 5501m  
PROFILE : 019 From 03/10/1995 12:50:28 to 03/10/1995 13:06:19 Length : 2917m  
PROFILE : 020 From 03/10/1995 13:08:41 to 03/10/1995 13:25:22 Length : 3035m  
PROFILE : 021 From 03/10/1995 13:27:45 to 03/10/1995 13:46:21 Length : 2994m  
PROFILE : 022 From 03/10/1995 13:47:28 to 03/10/1995 14:04:45 Length : 2971m  
PROFILE : 023 From 03/10/1995 14:06:48 to 03/10/1995 14:25:38 Length : 2988m  
PROFILE : 024 From 03/10/1995 14:27:10 to 03/10/1995 14:42:40 Length : 2600m  
PROFILE : 025 From 03/10/1995 14:49:06 to 03/10/1995 15:05:19 Length : 2596m  
PROFILE : 026 From 03/10/1995 15:07:02 to 03/10/1995 15:21:21 Length : 2374m  
PROFILE : 027 From 03/10/1995 15:26:58 to 03/10/1995 15:38:23 Length : 1849m

## \*\*\*\*\* Profils : VIDEO \*\*\*\*\*

PROFILE : 011 From 25/09/1995 07:19:56 to 25/09/1995 07:30:06 Length : 103m  
PROFILE : 012 From 25/09/1995 07:38:03 to 25/09/1995 07:57:02 Length : 237m  
PROFILE : 014 From 25/09/1995 09:00:17 to 25/09/1995 09:12:08 Length : 3543m  
PROFILE : 015 From 25/09/1995 09:30:06 to 25/09/1995 09:33:09 Length : 38m  
PROFILE : 016 From 25/09/1995 09:42:08 to 25/09/1995 10:16:02 Length : 685m  
PROFILE : 017 From 25/09/1995 10:28:06 to 25/09/1995 10:40:08 Length : 342m  
PROFILE : 018 From 25/09/1995 10:53:01 to 25/09/1995 11:10:08 Length : 950m  
PROFILE : 019 From 25/09/1995 12:58:00 to 25/09/1995 13:45:07 Length : 1014m  
PROFILE : 020 From 25/09/1995 14:00:02 to 25/09/1995 15:32:09 Length : 2004m  
PROFILE : 021 From 25/09/1995 15:47:03 to 25/09/1995 16:04:00 Length : 615m  
PROFILE : 022 From 25/09/1995 16:13:09 to 25/09/1995 16:20:06 Length : 267m  
PROFILE : 023 From 25/09/1995 16:46:01 to 25/09/1995 16:51:06 Length : 703m  
PROFILE : 024 From 26/09/1995 07:12:02 to 26/09/1995 07:21:01 Length : 134m  
PROFILE : 025 From 26/09/1995 07:26:06 to 26/09/1995 07:48:08 Length : 322m  
PROFILE : 026 From 26/09/1995 08:03:08 to 26/09/1995 08:17:02 Length : 129m  
PROFILE : 027 From 26/09/1995 08:27:02 to 26/09/1995 11:02:09 Length : 4835m  
PROFILE : 028 From 26/09/1995 13:42:01 to 26/09/1995 13:45:04 Length : 35m  
PROFILE : 029 From 26/09/1995 14:04:03 to 26/09/1995 14:15:04 Length : 293m  
PROFILE : 030 From 26/09/1995 14:30:09 to 26/09/1995 14:43:02 Length : 345m  
PROFILE : 031 From 26/09/1995 15:09:03 to 26/09/1995 16:37:09 Length : 2349m  
PROFILE : 032 From 27/09/1995 08:11:06 to 27/09/1995 10:05:01 Length : 2869m  
PROFILE : 033 From 27/09/1995 16:03:07 to 27/09/1995 16:26:09 Length : 471m  
PROFILE : 034 From 30/09/1995 09:25:04 to 30/09/1995 09:39:08 Length : 300m  
PROFILE : 035 From 30/09/1995 10:43:05 to 30/09/1995 11:30:01 Length : 1550m  
PROFILE : 036 From 30/09/1995 13:36:09 to 30/09/1995 13:38:01 Length : 70m

PROFILE : 037 From 01/10/1995 07:18:00 to 01/10/1995 07:37:09 Length : 338m  
PROFILE : 038 From 01/10/1995 07:53:05 to 01/10/1995 08:16:07 Length : 504m  
PROFILE : 039 From 01/10/1995 08:40:01 to 01/10/1995 09:05:09 Length : 363m  
PROFILE : 040 From 01/10/1995 09:07:00 to 01/10/1995 10:56:03 Length : 5347m  
PROFILE : 041 From 01/10/1995 12:02:08 to 01/10/1995 13:14:02 Length : 1812m  
PROFILE : 042 From 01/10/1995 14:30:07 to 01/10/1995 14:40:06 Length : 1208m  
PROFILE : 043 From 01/10/1995 14:55:01 to 01/10/1995 15:28:06 Length : 875m  
PROFILE : 044 From 01/10/1995 15:54:08 to 01/10/1995 16:30:03 Length : 1030m  
PROFILE : 045 From 02/10/1995 10:44:08 to 02/10/1995 11:03:06 Length : 351m  
PROFILE : 046 From 02/10/1995 13:04:06 to 02/10/1995 13:15:07 Length : 192m  
PROFILE : 047 From 02/10/1995 13:25:07 to 02/10/1995 13:29:01 Length : 47m  
PROFILE : 048 From 02/10/1995 13:45:07 to 02/10/1995 13:59:00 Length : 299m  
PROFILE : 049 From 02/10/1995 14:13:04 to 02/10/1995 14:43:07 Length : 792m  
PROFILE : 050 From 02/10/1995 15:49:01 to 02/10/1995 15:50:02 Length : 29m  
PROFILE : 051 From 02/10/1995 16:08:10 to 02/10/1995 16:18:07 Length : 290m

CUMULATIVE PROFILE LENGTH : 116794m

## ANNEXE 2

Descriptif des stations de prélèvement par carottages manuel en plongée pour analyse des nutriments et des plongées d'observation  
1995

16/05(matin)

J.M.Arnac, L.Salonoff(Police maritime monégasque)J.Dimeet(Ifremer)  
Réserve du Larvotto, coté ouest, le long d'un émissaire  
prélèvement 1A à -12.6m dans une zone sableuse, sans caulerpe

prélèvement 1B à -12m dans une zone sableuse recouverte de caulerpe

prélèvement 1C dans l'herbier de Posidonie à -12.1m

prélèvement 1D dans un herbier de posidonie colonisé par caulerpe à -13.8m

16/05(après-midi)

P.Gimard, P.Loiselet(Police maritime monégasque) J.Dimeet(Ifremer)  
Musée océanographique  
Le champ de *C.taxifolia* commence à -1m et se prolonge en tapis dense jusqu'à -30m  
prélèvement à -10.7m dans un tapis de caulerpe

prélèvement à -31.5m dans une zone sans caulerpe (dosage prévu des hydrocarbures pour l'AIEA)

17/05(matin)

J.M.Estienne, M.Blanc(Carabiniers du Prince), J.Dimeet(Ifremer)  
Tombant du Loews, Pointe de Focinane  
De -30m à -13m, nombreuses taches de *C.taxifolia* ainsi que quelques touffes d'herbier de *P.oceanica* (environ 50m<sup>2</sup>)

Face à la digue centrale de la plage du Larvotto, de la cote vers le large, jusqu'à -20m  
L'herbier de posidonie est dense de -9 à -18m, avec quelques zones sableuses à cette profondeur. Pas de *Caulerpa taxifolia*.

Prélèvement de *C.taxifolia* sur 1m<sup>2</sup> dans la réserve, secteur est, à proximité de l'émissaire, à la profondeur de 12.6m. *C.taxifolia* s'infiltré à cet endroit dans l'herbier de posidonie.

18/05(matin)

J.F.Konieczny, M.Blanc(Carabiniers du Prince), J.Dimeet(Ifremer)  
Réserve du Larvotto, face au Sporting  
profondeur -30m  
prélèvement dans une zone de vase sans Caulerpe

prospections devant la plage Marquet et le Port de cap d'Ail  
Herbier de posidonie aux feuilles couchées interrompus par de grandes étendues de caulerpe à -10m, devant la pointe constituée par l'extrémité de la digue.  
Devant l'entrée du port de cap d'Ail, fond colonisé par *C.taxifolia* à -15m.

18/05(après midi)

J.F.Konieczny, M.Blanc, J.Dimeet  
prélèvement à l'angle formé par la digue d'entrée du port de Fontvieille et le tombant du Musée.  
Couverture continue de *C.taxifolia* jusqu'à au moins -16m, profondeur à laquelle le prélèvement a été effectué sur 1m<sup>2</sup>

19/05(matin)

C.Tacco(Police maritime), J.M.Estienne, J.F.Konieczny  
prospection devant le Sporting avec mesures de dimensions de taches à *C.taxifolia*  
La première tache, dans un herbier de posidonie clairsemé, mesure 2.50 par 2.00m.  
La seconde tache, à -14.4m, mesure 2.70x2.50 au lieu de 1.70x1.40m en juillet 1994.

Legry, J.M. Estienne, J.F.Konieczny, J.Dimeet  
Exploration du Tombant de St Nicolas. Il s'avère entièrement recouvert de Caulerpe jusqu'à -32m

19/05(après midi)

J.M.Estienne, J.F.Konieczny  
Exploration de la zone portuaire entre la jetée Station service BP et l'école de voile: pas de caulerpe  
Exploration de face mer de la jetée sud entre l'échelle du fort St Antoine et la 1ère échelle: quelques taches de caulerpe. La 1ère échelle inox de la jetée apparait alors comme la limite de l'expansion à caulerpe dans le secteur du Musée océanographique.

**ANNEXE 3**

**Stations de carottage multitubes**

Carottage du 18/03/94

Position : 43° 42' 25" N - 07° 23' 22" E

Profondeur : - 56 m

Sédiment : vase

	<b>Nitrates</b>	<b>Nitrites</b>	<b>Azote ammoniacal</b>	<b>Phosphates</b>
<b>Niveau (cm)</b>	<b>N - (NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub>)</b>	<b>N - (NO<sub>2</sub>)</b>	<b>N - (NH<sub>4</sub>)</b>	<b>P - (PO<sub>4</sub>)</b>
<b>0 - 5</b>	<b>14.27</b>	<b>2.79</b>	<b>286.40</b>	<b>0.56</b>

Carottage du 21/03/94

Position : 43° 44' 33" N - 07° 26' 04",8 E

Profondeur : - 34 m

Sédiment : vase

	<b>Nitrates</b>	<b>Nitrites</b>	<b>Azote ammoniacal</b>	<b>Phosphates</b>
<b>Niveau (cm)</b>	<b>N - (NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub>)</b>	<b>N - (NO<sub>2</sub>)</b>	<b>N - (NH<sub>4</sub>)</b>	<b>P - (PO<sub>4</sub>)</b>
<b>0 - 5</b>	<b>7.04</b>	<b>1.40</b>	<b>435</b>	<b>2.04</b>
<b>5 - 10</b>	<b>10.90</b>	<b>1.32</b>	<b>200</b>	<b>2.15</b>

Carottage du 21/03/94

Position : 43° 43' 41" N - 07° 25' 43" E

Profondeur : - 62 m

Sédiment : vase

	<b>Nitrates</b>	<b>Nitrites</b>	<b>Azote ammoniacal</b>	<b>Phosphates</b>
<b>Niveau (cm)</b>	<b>N - (NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub>)</b>	<b>N - (NO<sub>2</sub>)</b>	<b>N - (NH<sub>4</sub>)</b>	<b>P - (PO<sub>4</sub>)</b>
<b>0 - 5</b>	<b>13.40</b>	<b>2.93</b>	<b>334</b>	<b>0.77</b>
<b>5 - 10</b>	<b>11.36</b>	<b>1.77</b>	<b>241</b>	<b>0.65</b>

Carottage du 27/09/95 : Station 1

Position : 43° 43' 37,8" N - 07° 25' 45" E

Profondeur : - 58 m

Sédiment : vase

	Nitrates	Nitrites	Azote ammoniacal	Phosphates
Niveau (cm)	N - (NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> )	N - (NO <sub>2</sub> )	N - (NH <sub>4</sub> )	P - (PO <sub>4</sub> )
0 - 5	26	0.33	600	0.85
5 - 10	26	5.80	280	0.51
10 - 20	16	0.44	160	0.91

Carottage du 27/09/95 : Station 2

Position : 43° 43' 42",6 N - 07° 25' 46",2 E

Profondeur : - 68 m

Sédiment : vase

	Nitrates	Nitrites	Azote ammoniacal	Phosphates
Niveau (cm)	N - (NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> )	N - (NO <sub>2</sub> )	N - (NH <sub>4</sub> )	P - (PO <sub>4</sub> )
0 - 5	176	1.20	400	0.74
5 - 10	4.6	2.20	240	0.51
10 - 20	2.3	1.30	200	0.68

Carottage du 27/09/95 : Station 3

Position : 43° 43' 43",2 N - 07° 25' 47",4 E

Profondeur : - 61 m

Sédiment : vase

	Nitrates	Nitrites	Azote ammoniacal	Phosphates
Niveau (cm)	N - (NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> )	N - (NO <sub>2</sub> )	N - (NH <sub>4</sub> )	P - (PO <sub>4</sub> )
0 - 5	3.2	2.15	580	0.85
5 - 10	6.6	2.80	240	0.62
10 - 20	3.2	1.40	200	0.74

## ANNEXE 4

**Stations de carottage par plongeurs**

Carottage du 16/05/95

Position : réserve du Larvotto, côté ouest

Profondeur : - 12 m

Population à Caulerpe

		Nitrates	Nitrites	Azote ammoniacal	Phosphates
<b>1A</b>	<b>s</b>	<b>0.24</b>	<b>0.24</b>	<b>1431</b>	<b>0.89</b>
	<b>i</b>	<b>18.91</b>	<b>0.40</b>	<b>757</b>	<b>0.25</b>
<b>1B</b>	<b>s</b>	<b>0.29</b>	<b>0.46</b>	<b>3789</b>	<b>1.45</b>
	<b>i</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>1C</b>	<b>s</b>	<b>0.94</b>	<b>3.70</b>	<b>10 000</b>	<b>&gt; 10</b>
	<b>i</b>	<b>2.70</b>	<b>2.59</b>	<b>8 500</b>	<b>&gt; 10</b>
<b>1D</b>	<b>s</b>	<b>0.54</b>	<b>0.88</b>	<b>2905</b>	<b>5.05</b>
	<b>i</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	

Carottage du 16/05/95

Position : musée océanographique

Profondeur : - 10.7 m

		Nitrates	Nitrites	Azote ammoniacal	Phosphates
<b>Population à Caulerpe</b>	<b>s</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>/</b>
	<b>i</b>	<b>7.56</b>	<b>0.74</b>	<b>6300</b>	<b>1.77</b>
<b>Sédiments sans caulerpe</b>	<b>s</b>	<b>1.62</b>	<b>0.4</b>	<b>2052</b>	<b>2.40</b>
	<b>i</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>/</b>

Carottage du 17/05/95

Position : tombant du Loews

Profondeur : - 37 m

		Nitrates	Nitrites	Azote ammoniacal	Phosphates
<b>Population à Caulerpe</b>	<b>s</b>	<b>0.85</b>	<b>0.16</b>	<b>1052</b>	<b>0.89</b>
	<b>i</b>	<b>28.10</b>	<b>1.66</b>	<b>2100</b>	<b>2.09</b>
<b>Sédiments sans caulerpe</b>	<b>s</b>	<b>1.48</b>	<b>0.22</b>	<b>821</b>	<b>7.05</b>
	<b>i</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>/</b>

## ANNEXE 5

### Dosage de métaux lourds dans des échantillons de sédiments (Monaco, Septembre 1995)

Station	Date de prélèvement	Cd	Cu	Hg	Pb
1	27/09/95	0,21	24,9	0,37	69,7
2	27/09/95	0,23	28,7	0,37	71,4
3	27/09/95	0,22	27,0	0,49	81,5

(les résultats sont exprimés en  $\mu\text{g.g}^{-1}$  de poids sec).

#### Positions des stations :

<b>Station 1</b>	43°43'37",8 N	07°25'45" E	à la hauteur de l'héliport profondeur - 58 m
<b>Station 2</b>	43°43'42",6 N	07°25'46",2 E	à la hauteur du phare de la digue de Fontvieille, face au musée ; profondeur - 68m.
<b>Station 3</b>	43°43'43",2 N	07°25'47",4 E	à la hauteur de la pointe Saint-Martin; profondeur - 61 m

**Fraction analysée** : couche supérieure du sédiment (10 premiers centimètres), fraction fine ( $< 63 \mu\text{m}$ ), obtenue par tamisage sur toile en nylon et séchage à  $45^\circ \text{C}$ .

## ANNEXE 6

Tableau 1 : caractérisation du milieu extérieur des cloches benthiques.

O<sub>2</sub> en mg l<sup>-1</sup>, éléments nutritifs en µM.

date	température	salinité	O <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
28/09/95 11h40	21,2	37,9	7.02	0,23	0,04	0,09	0,10
29/09/95 11h00	21,2	37,9	7.44	0,08	0,10	0,04	0,14
03/10/95 11h20	20,6	38,0	7.78	0,32	0,05	0,08	0,09
26/03/96 11h13	14	37,1	8,99	0,26	0,07	0,05	0,02
27/03/97 12h45	14	37,1		0,45	0,13	0,38	0
28/03/97 11h40	14	37,1	9,05	0,32	0,04	0,32	0,06

## ANNEXE 7

Tableau 2 : flux net, métabolisme benthique et photosynthèse brute des champs de *Caulerpa taxifolia* et des herbiers à *Posidonia oceanica*, en  $\mu\text{mole h}^{-1} \text{m}^{-2}$  pour les éléments nutritifs et en  $\text{mg h}^{-1} \text{m}^{-2}$  pour l'oxygène.

() : écart type, n : nombre de mesures retenues.

		ESPECE	FLUX NET	n	M. BENTH	n	P. brute
Sept. 1995	O <sub>2</sub>	<i>C. taxifolia</i>	125 (51)	6	-143 (46)	6	268
		<i>P. oceanica</i>	21 (7)	3	-152	1	172
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<i>C. taxifolia</i>	-6.4	1	11.1 (2.9)	4	-17.4
		<i>P. oceanica</i>	-2.8	1	16.9	1	-19.7
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<i>C. taxifolia</i>	-11.5(6.9)	5	0.6 (3.9)	4	-12.1
		<i>P. oceanica</i>	-5.1	1	1	1	-6.1
Mars 1996	O <sub>2</sub>	<i>C. taxifolia</i>	112 (21)	4	135 (26)	4	253
		<i>P. oceanica</i>	165	1	180	1	345
		<i>Phytobenthos</i>	12	1	26	1	37
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<i>C. taxifolia</i>	-7 (1,9)	4	-5,1 (1,9)	4	-2,1
		<i>P. oceanica</i>					
		<i>Phytobenthos</i>	-8,2	1	-5	1	-3,2
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<i>C. taxifolia</i>						
	<i>P. oceanica</i>						
	<i>Phytobenthos</i>	-1,4	1	-1,5	1	0,1	

# ANNEXE 8

Tableau 3 : Biomasses et production primaire carbonée moyenne pour différents groupe de macrophytes.

Espèces	Biomasse gsec m <sup>-2</sup>	Production brute		Auteurs
		mgC h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	mgC h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>	
Microphytobenthos		2515 (-5 m)		Cahoon et Cooke, 1992
		14 (-6 m)		Barranguet et al, 1994
				Cette étude (mars)
<i>Zostera muelleri</i>			0,15*	Clough et Attiwill, 1980
<i>Zostera marina</i>	80	25-52	0,88	Penhale, 1977
	141-400	65 (-3 m)*		Jacobs, 1979
			1,19	Penhale et Thayer, 1980
<i>Posidonia</i>	470±284	90-440 (- 10 m)	0,19-0,94	Bay, 1979
<i>oceanica</i>	1300		3,3-188(-4	Ott,1980
	472	26* (- 10 m)	m)*	Bay, 1984
		11* (- 11 m)		Pergent <i>et al.</i> , 1994
		25-179 (- 5 m)		Lorenti <i>et al.</i> , 1995
	263	65 (- 11 m)	0,72-1,5	cette étude (septembre)
	539	129 (- 6 m)	0,19	cette étude (mars)
			0,24	
<i>Caulerpa taxifolia</i>	94	100 (- 11 m)	1,55	cette étude (septembre)
	277	90 (- 6 m)	0,29	cette étude (mars)
	255	100 (- 6 m)	0,39	cette étude (mars)

\* production nette

## ANNEXE 9

Tableau 4 : Assimilation de l'azote ammoniacal et du phosphore par  
différents herbiers

Herbiers	$\text{mg h}^{-1} \text{m}^{-2}$		$\mu\text{g h}^{-1} \text{gsec}^{-1}$		Auteurs
	N	P	N	P	
<i>Zostera marina</i>		4,33		1,81	McRoy <i>et al.</i> , 1972
<i>Spartina alterniflore</i>	2,2-4,4	0,3-0,7			Wolaver et Zieman, 1984
<i>Posidonia oceanica</i>	0,28	0,19	1,06	0,71	cette étude (sept.)
<i>Caulerpa taxifolia</i>	0,25	0,38	2,62	4,0	cette étude (sept.)
	0,15		0,54		cette étude (mars)

# ANNEXE 10

Prélèvements VITAMAR (mars 96)  
 en relation avec cloche benthique  
*in* Caulerpe, Posidonie, vase, sable

PRELEVEMENTS	DOSAGES			
	P-PO <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>
<b>25.03.96</b> Situation : devant le Beach Hôtel, herbier, caulerpe Description : sable, gravillon, beige clair, débris de racines noirâtres (posidonies ?), mollusques bivalves petits et gros Eau interstitielle Eau sus-jacente	0.85 0.12	1.00 0.93	9.0 5.4	668 28
<b>26.03.96</b> Situation : près des cloches posées dans la zone «Beach», caulerpes Description du sédiment : sable verdâtre et noir, débris de posidonies, débris végétaux morts et enchevêtrés Eau interstitielle	0.85	2.60	13.0	634
<b>28.03.96</b> I - Situation : zone caulerpes, profondeur 5 mètres Description : caulerpes vivantes plus débris de caulerpes, coquilles mollusques bivalves lamellibranches, petit ver marin (holothurie ?) couleur du sédiment beige clair Eau interstitielle Eau sus-jacente	0.85 5.03	1.13 2.80	8.9 1.2	1011 1445
<b>28.03.96</b> II - Zone posidonies, profondeur 5 mètres Description : beige clair, sable coquillier, coquille petit mollusque lamellibranche, plus coquille petit mollusque gastéropode patelle Eau interstitielle	1.21	1.06	8.9	737
<b>28.03.96</b> III - Zone sable, profondeur 5 mètres Description : beige marron, sable coquillier, débris Eau interstitielle Eau sus-jacente	0.75 3.03	2.00 1.33	5.6 2.7	828 2085
<b>28.03.96</b> IV - Zone à caulerpes vivaces sur tombant (zone anoxique) A) Sable, vase noirâtre, surface recouverte par caulerpes vivaces Eau interstitielle Eau sus-jacente B) Sable, vase noirâtre, surface recouverte par caulerpes vivaces Eau interstitielle Eau sus-jacente	4.21 2.39 1.21 1.48	2.33 1.33 1.33 1.66	5.7 2.7 8.7 8.2	1057 737 782 668

## ANNEXE 11



Monaco, le 12 Octobre 1995

### " MISSION ENVIRONNEMENT / IFREMER "

Compte-rendu succinct des opérations .

#### Plongées du jeudi 28 et du vendredi 29 Septembre 1995 :

**Moyens :** navire VITAMAR II . et DP3 du service de la Marine.  
**Plongeur :** Carabinier Christophe LEROUX.

#### **Travaux effectués :**

Sécurité surface et sous l'eau. Participation à la mise en place des cloches benthiques et prélèvements de sédiments.

#### Plongée du lundi 2 Octobre 1995 :

**moyens :** identiques  
**plongeurs :** Carabiniers ESTIENNE Jean-marie. BLANC Michel.

#### **Travaux effectués :**

1) Sécurité surface et sous l'eau pour le Cier BLANC durant les prises de vues autour de "L'EUROPE" par l'équipe vidéo.

2) Mise en place de 3 cloches transparentes et de 3 cloches opaques sur un fond à -12m recouvert de C.TAXIFOLIA dans la réserve du Larvotto/ Est émissaire. Prélèvements et mesures effectués par les scientifiques de la mission. Démontage du site l'après-midi.

Prises de vues photographiques.

**Photos numérotées de 0A à 8A.** NIKON RS, film FUJI 200 ASA, objectif 28mm, flash auto.

#### Plongée du mardi 3 Octobre 1995 :

**Moyens :** identiques  
**Plongeur :** MdL/C ESTIENNE Jean-marie.

#### **Travaux effectués :**

1) Mise en place de 6 cloches benthiques sur un fond de posidonies à -12m devant la jetée Sud Ouest de la réserve du Larvotto.

Sécurité sous l'eau et collaboration technique.

**Photos numérotées 9A, 10A, 18A, 19A.**

2) vérification des nouvelles stations de C.Taxifolia dans la réserve mentionnées par le Professeur MEINESZ dans sa correspondance du 11 Aout 1995:

recrudescence de foyers isolés inexistant l'année dernière . accroissement des périmètres ayant fait l'objet de campagnes cartographiques antérieures.

Prises de vues photographiques des zones A B D concernant les réimplantations de posidonies . Ces secteurs ne présentant aucune trace de Caulerpa à leur création et à leur réaménagement (opérations de déplacement le 24 Avril 1995) sont totalement touchés par des colonies récentes de C.Taxifolia.

**Photos numérotées 11A, 12A, 13A, 14A, 15A, 16A, 17A.**

3) Démontage du site l'après-midi, prises de vues d'une tache verticale de Caulerpa dans l'anse située entre le Sporting d'été et la pointe de la veille.

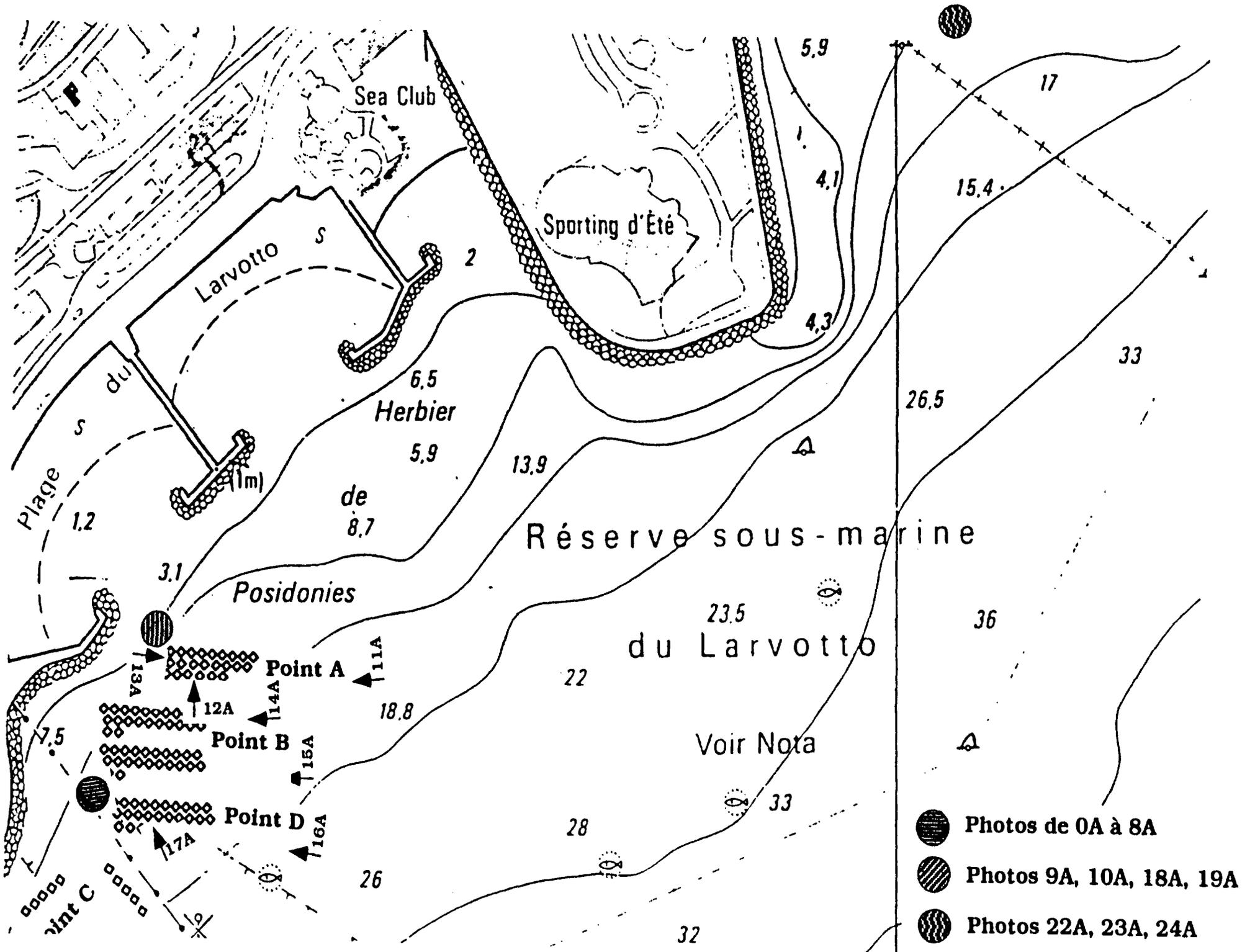
Ce secteur avait également fait l'objet d'un repérage le 17/08/93, aucune trace de Caulerpa n'avait été décelée dans cete zone totalement recouverte par une prairie de saines posidonies.

**Photos numérotées 22A, 23A, 24A.**

**Voir plan ci-joint pour l'emplacement et l'orientation des clichés photographiques.**

En restant à votre disposition pour tout renseignement  
complémentaire, je vous prie d'agréer, Monsieur, l'expression  
de mes sentiments distingués.

 J. Brunet



Réserve sous-marine

du Larvotto

Voir Nota

Sea Club

Sporting d'Été

Larvotto

Herbier

Posidonies

Plage

du

Larvotto

1.2

3.1

Point A

Point B

Point D

Point C

6.5

5.9

de

8.7

13.9

22

23.5

28

26

5.9

4.1

4.3

26.5

15.4

17

33

36

33

32

(1m)

V87

12A

17A

113A

114A

115A

116A

18.8

26

△

△

●

▨

▩

Photos de 0A à 8A

Photos 9A, 10A, 18A, 19A

Photos 22A, 23A, 24A

**FEUILLE de PLONGEE**

DATE :28/09/1995 et 29/09/1995

CHEF de PLONGEE :

LIEU DE PLONGEE : Réserve du Larvotto, Cap-Martin Ouest .

MISSION : Travaux pour le Service de l'Environnement en collaboration avec IFREMER.

NOMS	HEURE IMMERSION	HEURE EMERSION	DUREE	PALIER	PROFONDEUR	APPAREIL
28/09/1995						
LEROUX	10:00	11:30	01:30		12m	Supra
LEROUX	14:45	15:35	00:50		12m	Supra
29/09/1995						
LEROUX	09:45	10:55	01:10		12m	Supra
TOTAL DUREES		03:30				
MOYENNE PROFONDEURS		12m				

**OBSERVATIONS**

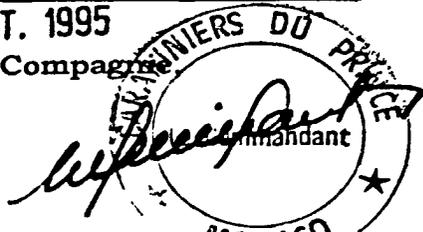
Mission "CALIFE" Service de l'Environnement/IFREMER.  
**Moyens** : navire VITAMAR II, DP3 du Service de la Marine, navire "EUROPE" IFREMER.  
**Scientifiques** : Thomas BELSHER, Joel DIMEET IFREMER BREST, DAGAULT Françoise IFREMER SETE, BATY Valérie cinéaste IFREMER BREST.  
**Travaux effectués** : Mise en place de cloches benthiques destinées a effectuer des mesures au niveau des échanges gazeux (O2) d'une population échantillonnée de "Caulerpa" et de "Posidonies". Consommation de nutriments. Assistance & sécurité en surface.  
 Lieu de travail : réserve du Larvotto côté Ouest .  
 Déjeuner durant les opérations au restaurant "La Galinette" plage du Larvotto pour les participants.

**METEO**

Beau temps . Mer belle, visibilité 15m, température de l'eau en surface : 20,7°.

Le Responsable, **Jean-Marie ESTIENNE**  
 Maitre d'Etat de  
 la Plongée Subaquatique  
 BFES 1 n° 13.RR.375

Vu Le **04 OCT. 1995**  
 Le Commandant de Compagnie



**FEUILLE de PLONGEE**

DATE :02/10/1995 et 03/10/1995

CHEF de PLONGEE : MdL/C ESTIENNE

LIEU DE PLONGEE : Réserve du Larvotto, Cap-Martin Ouest .

MISSION : Travaux pour le Service de l'Environnement en collaboration avec IFREMER.

NOMS	HEURE IMMERSION	HEURE EMERSION	DUREE	PALIER	PROFONDEUR	APPAREIL
02/10/1995						
ESTIENNE	10:30	11:45	01:15		15m	Supra
BLANC	09:30	10:30	01:00		15m	Supra
ESTIENNE	14:30	15:00	00:30		12m	Supra
BLANC	15:00	15:30	00:30		15m	Supra
03/10/1995						
ESTIENNE	09:38	11:40	02:02	3'/3m	15m	Supra
ESTIENNE	14:33	15:10	00:37		15m	Supra
TOTAL DUREES		05:54				
MOYENNE PROFONDEURS		15m				

**OBSERVATIONS**

Mission "CALIFE" Service de l'Environnement/IFREMER.

**Moyens** : navire VITAMAR II, DP3 du Service de la Marine, navire "EUROPE" IFREMER.

**Scientifiques** : Thomas BELSHER, Joel DIMEET IFREMER BREST, DAGAULT Françoise IFREMER SETE, BATY Valérie cinéaste IFREMER BREST.

**Travaux effectués** : Mise en place de cloches benthiques destinées a effectuer des mesures au niveau des échanges gazeux (O2) d'une population échantillonnée de "Caulerpa" et de "Posidonies". Assistance & sécurité.

**Lieu de travail** : réserve du Larvotto côté Ouest .

Prises de vues de la zone de réimplantation de posidonies (24/04/95) qui est presque en totalité affectée par l'extension de prolifération des caulerpes.

Déjeuner durant les opérations au restaurant "La Galinette" plage du Larvotto pour les participants.

Réception à bord de "L'EUROPE" le 03/10 à 18:00. Fin de la mission et exposé du Professeur BELSHER en présence des Responsables du Service de l'Environnement.

**METEO**

Temps nuageux . Mer A.belle, visibilité 10m, température de l'eau en surface : 20,7°.

Le Responsable, Jean-Marie ESTIENNE

*J. Estienne*  
 Monsieur d'Etat de  
 Plongée Subaquatique  
 BEFS 1 n° 13.88.376

Vu Le

Le Commandant de Compagnie

04 OCT 1995

