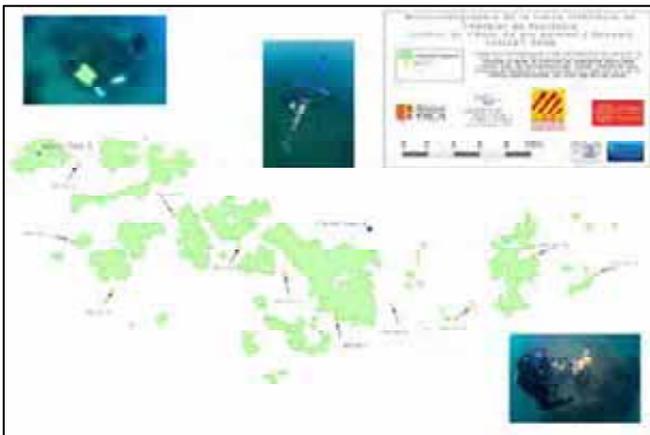


**MICROCARTOGRAPHIE PAR TELEMETRIE ACOUSTIQUE DE 9 HERBIERS DE POSIDONIE POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DES MASSES D'EAU COTIERES MEDITERRANEENNES FRANÇAISES DANS LE CADRE DE LA DCE**





# **MICRO CARTOGRAPHIE PAR TELEMETRIE ACOUSTIQUE DE 9 HERBIERS DE POSIDONIE POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DES MASSES D'EAU COTIERES MEDITERRANEENNES FRANÇAISES DANS LE CADRE DE LA DCE**

## **Maître d'œuvre :**

L'ŒIL D'ANDROMEDE

163, rue Auguste Broussonnet

34 090 Montpellier, France

**Tél. :** 04. 67. 66. 32. 48. **Fax. :** 04. 67. 41. 93. 34.

**E-mail :** [contact@andromede-ocean.com](mailto:contact@andromede-ocean.com)

## **Financement :**

Agence de l'Eau RMC, Région Languedoc-Roussillon, Région Provence Alpes Côte d'Azur

## **Responsable et coordination Andromède :**

DESCAMP Pierre

## **Participants mission terrain :**

BALLESTA Laurent, DESCAMP Pierre, GUILBERT Antonin, HOLON Florian,

## **Traitement des données et rédaction :**

DESCAMP Pierre, HOLON Florian.

## **SIG :**

GUILLOT Marie, HOLON Florian

## **Crédit photographique :**

BALLESTA Laurent, HOLON Florian.

## **[Ce document doit être cité sous la forme suivante :](#)**

DESCAMP Pierre, HOLON Florian, BALLESTA Laurent, 2009 : Microcartographie par télémétrie acoustique de 9 herbiers de posidonie pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières méditerranéennes françaises dans le cadre de la DCE. Contrat L'Œil Andromède/Agence de l'Eau, CRLR, CRPACA. Andromède publ., Montpellier, Fr. : 1-59pp. + annexes.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement l'Agence de l'Eau, la Région Provence-Alpes-Côte-D'azur, la Région Languedoc-Roussillon pour leur contribution au financement de ce projet.

Les personnes suivantes ont apporté une aide précieuse et ont permis le bon déroulement des opérations :

Merci à Pierre BOISSERY, Agence de l'Eau RMC, notre premier interlocuteur lors du montage du projet.

Merci à Valérie RAIMONDINO, Conseil Régional PACA et Murielle RIBOT, Conseil Régional LR, d'avoir présenté et défendu notre dossier auprès de leurs présidents respectifs Michel VAUZELLE et Georges FRECHE.

Merci aux gestionnaires des aires marines protégées qui nous ont accueillis (JP. NICOL, Parc National de Port Cros ; Frédéric BACHET, Parc marin de la côte bleue ; Marie-Laure LICARI, Réserve Naturelle Marine de Cerbère Banyuls ; Renaud DUPUY DE LA GRANDRIVE, ADENA/Réserve Naturelle du Bagnas).

Merci aux agents de ces organismes (Boris Daniel, Eric CHARBONNEL du PMCB, Jean-Louis BINCHE, Frédéric CADENE et Jean-François LAFFON de la RNM Cerbère-Banyuls, Mathieu FOULQUIE et Sylvain BLOUET de l'ADENA) qui nous ont accompagné, conseillé pour le choix des sites et aidé sur le terrain.

Merci à Stéphane SARTORETTO, IFREMER, de s'être rendu disponible pour participer à une opération de micro-cartographie par télémétrie.

# SOMMAIRE

<b>I. INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
I.1. Définition et localisation du projet .....	1
I.2. Intégration du projet dans la démarche DCE .....	4
I.3. La posidonie, indicateur de la qualité des eaux côtières .....	6
I.4. Méthode existante de balisage des limites des herbiers de posidonies .....	8
I.4.1. <i>Balisage type RSP</i> .....	8
I.4.2. <i>Limites des suivis par balisage type RSP</i> .....	10
I.4.3. <i>Utilisation de la télémétrie acoustique comme méthodologie alternative pour le suivi des limites d'herbier</i> .....	11
<b>II. MATERIELS ET METHODES</b> .....	<b>12</b>
II.1. Organisation des missions de terrain .....	12
II.2. Matériels .....	13
II.2.1. <i>Plongée sous marine</i> .....	13
II.2.2. <i>Télémétrie acoustique</i> .....	15
II.2.3. <i>Repérage des microcartographies</i> .....	17
II.3. Méthodes .....	18
II.3.1. <i>Balisage par télémétrie acoustique</i> .....	18
II.3.2. <i>Balisage de la limite inférieure</i> .....	19
II.3.3. <i>Précision du système (données constructeur)</i> .....	20
II.3.4. <i>Mode moyenne intelligente utilisée pour les microcartographies</i> .....	20
II.3.5. <i>Contraintes de mise en œuvre</i> .....	21
II.3.6. <i>Exploitation des données</i> .....	23
II.3.7. <i>Intégration des suivis dans un SIG</i> .....	24
II.3.8. <i>Caractérisation des herbiers au niveau des microcartographies</i> .....	25
<b>III. RESULTATS</b> .....	<b>29</b>
III.1.1. <i>Herbier de l'anse du Pin Parasol</i> .....	29
III.1.2. <i>Herbier du Cap d'Agde</i> .....	31
III.1.3. <i>Herbier de Palavas-les-flots</i> .....	33
III.1.4. <i>Herbier du Parc Marin de la Côte bleue</i> .....	35
III.1.5. <i>Herbier de Marseille</i> .....	37
III.1.6. <i>Herbier de la Ciotat</i> .....	39
III.1.7. <i>Herbier de Bagaud (Port Cros)</i> .....	41
III.1.8. <i>Herbier de l'Esterel</i> .....	43
III.1.9. <i>Herbier de Golfe Juan</i> .....	45
<b>IV. DISCUSSION</b> .....	<b>47</b>
IV.1. Précision de la méthode .....	47
IV.1.1. <i>Precision in situ hors mode moyenne intelligente</i> .....	47
IV.1.2. <i>Precision in situ avec mode moyenne intelligente</i> .....	48
IV.1.3. <i>Interprétation des contours d'herbier</i> .....	48
IV.1.4. <i>Comparaison de 2 balisages d'un même site réalisés sur un intervalle de temps réduit</i> .....	49
IV.2. Adaptabilité de la télémétrie aux différents types de limites .....	52
IV.2.1. <i>Limites franches</i> .....	53
IV.2.2. <i>Limites clairsemées</i> .....	54
IV.3. Pérennité des balisages .....	55
IV.4. Temps nécessaire pour la mise en œuvre d'un balisage par télémétrie acoustique .....	56
<b>V. CONCLUSION</b> .....	<b>57</b>
<b>VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>60</b>
<b>VII. ANNEXES</b> .....	<b>64</b>
VII.1. Mesures complémentaires relevées sur les sites .....	64
VII.2. Informations techniques concernant l'aquamètre D100 .....	67

## I . I N T R O D U C T I O N

---

### I . 1 . D E F I N I T I O N E T L O C A L I S A T I O N D U P R O J E T

---

La mise en œuvre de la DCE sur les eaux côtières méditerranéennes implique le suivi des herbiers de posidonies dont le rôle de bioindicateur de la qualité des eaux a fait l'objet de nombreuses publications (Pergent *et al.*, 1995).

Parmi les outils de surveillance de l'herbier disponibles, les balisages en limites inférieures et supérieures ont été largement utilisés, particulièrement en région PACA, pour suivre les phénomènes de progression/régression (Charbonnel *et al.*, 2000). La méthodologie utilisée pour ces balisages est relativement ancienne (Harmelin 1976 & 1977, Meinez 1977) et peut se heurter à des obstacles liés (i) à la stabilité des balises sur le fond (arts traînants, fort hydrodynamisme), (ii) à la structure de l'herbier (absence de réelle limite inférieure) ou (iii) à son évolution (balises éloignées de l'herbier en cas de régression ou progression). D'autre part l'interprétation des balisages peut s'avérer problématique du fait du faible nombre de points de référence obtenus. Il est ainsi fréquent que l'herbier progresse au niveau de certaines balises et régresse au niveau d'autres (Boudouresque *et al.* 2006), ce qui a amené Pergent (Pergent *et al.* 2008) à compléter les balisages par des microcartographies.

Le présent document présente les résultats d'un test à grande échelle d'une nouvelle méthode de suivi des limites d'herbiers, **la télémétrie acoustique**.

Basée sur un principe d'interférométrie acoustique 3D (Medard J., 2003) la télémétrie acoustique permet le positionnement centimétrique d'objets situés à plusieurs dizaines de mètres d'une antenne immergée. Non basée sur l'utilisation de balises fixes, elle s'affranchi donc des difficultés précédemment identifiées.

Sur 9 limites inférieures d'herbier réparties dans les différentes masses d'eau de référence de la DCE, la télémétrie acoustique a été utilisée pour réaliser des microcartographies (échelle proche du 1/50<sup>ème</sup>).

La diversité des sites a permis de tester cette méthode sur des types de limites variés, d'en mesurer la précision, et d'évaluer son coût.



Cette campagne test a abouti à la réalisation de 9 microcartographies de portions de limites inférieures d'herbiers particulièrement sensibles aux perturbations des masses d'eaux côtières réparties entre Banyuls et Antibes. Ces cartographies seront répliquables dans le futur et pourront donc constituer un état de référence.

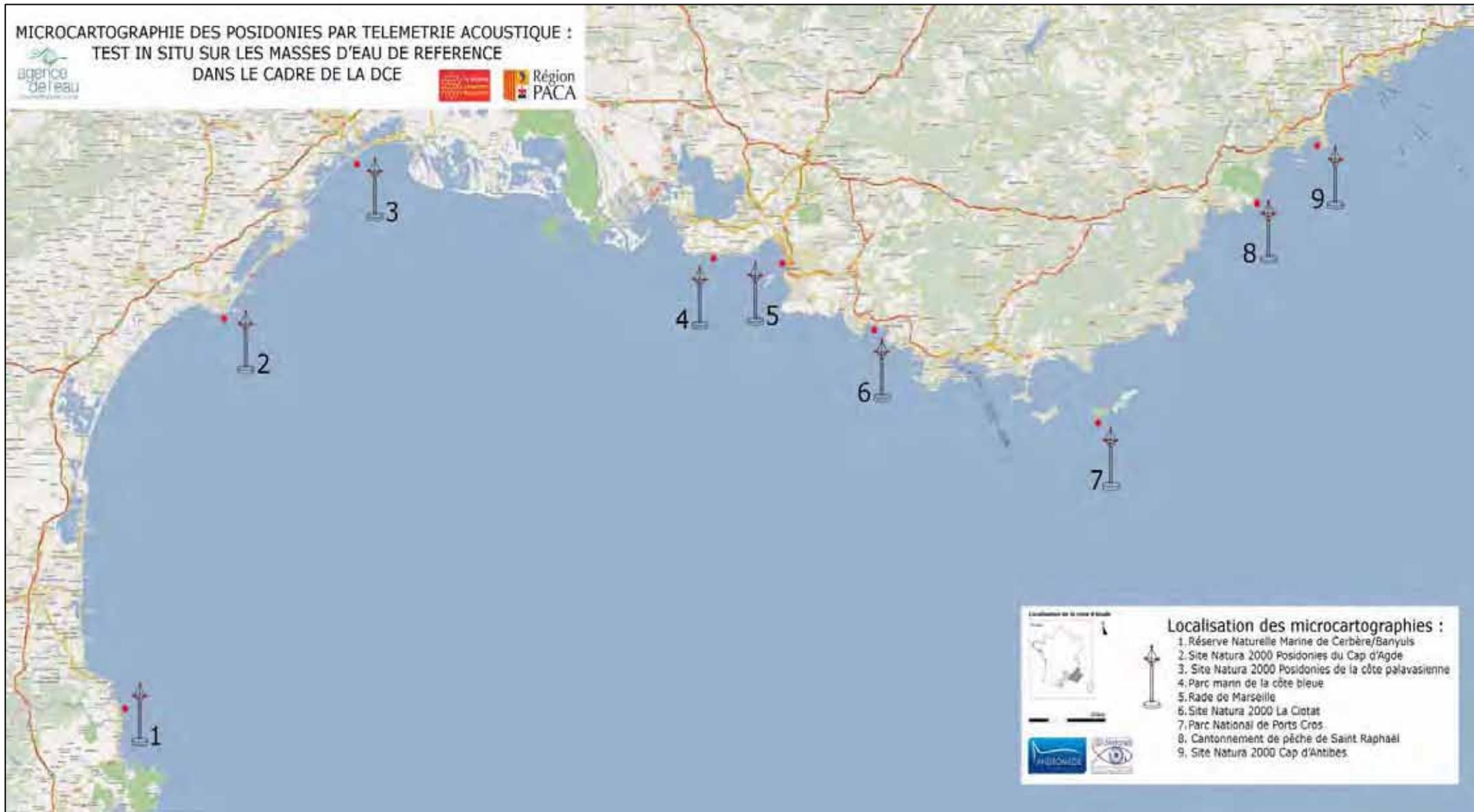
**Figure 1 : balisage acoustique**

9 herbiers de posidonie ont été sélectionnés en concertation avec l'Agence de l'Eau sur le littoral méditerranéen Français :

N°	SITE	Localisation
1	Réserve Naturelle Marine de Cerbère/Banyuls	42°27'45"N 03°09'43"E
2	Site Natura 2000 « Posidonies du Cap d'Agde »	43°16'22"N 03°28'04"E
3	Site Natura 2000 « Posidonies de la côte palavasienne »	43°32.11"N 04°01.48"E
4	Parc Marin de la Côte Bleue	43°19'11"N 05°09'37"E
5	Rade de Marseille	43°18'43"N 05°21'17"E
6	Site Natura 2000 La Ciotat	43°10'254"N 05°39'470"E
7	Parc National de Ports Cros	43°00'496"N 06°21'426"E
8	Site Natura 2000 Massif de l'Estérel	43°26'53.6"N 06°55'42.4"E
9	Site Natura 2000 Cap d'Antibes	43°32'44.7"N 07°06'21.8"E

La localisation précise des points a été faite en concertation avec les gestionnaires locaux selon leur disponibilité.

MICRO CARTOGRAPHIE DES POSIDONIES PAR TELEMETRIE ACOUSTIQUE :  
TEST IN SITU SUR LES MASSES D'EAU DE REFERENCE  
DANS LE CADRE DE LA DCE



Localisation des microcartographies :

- 1. Réserve Naturelle Marine de Cerbère/Banyuls
- 2. Site Natura 2000 Posidonies du Cap d'Agde
- 3. Site Natura 2000 Posidonies de la côte palavasioise
- 4. Parc marin de la côte bleue
- 5. Rade de Marseille
- 6. Site Natura 2000 La Ciotat
- 7. Parc National de Ports Cros
- 8. Cantonnement de pêche de Saint Raphaël
- 9. Site Natura 2000 Cap d'Antibes



## I . 2 . I N T E G R A T I O N D U P R O J E T D A N S L A D E M A R C H E D C E

La Directive Cadre Eau (DCE) du 23 octobre 2000 a été adoptée par le Conseil Européen, par le Parlement Européen et a été transcrite en droit français par la loi du Avril 2004. Elle définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen. Elle fixe des objectifs ambitieux pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles (eaux douces, eaux côtières et eaux souterraines). Elle demande que tous les milieux aquatiques soient dans un bon état écologique d'ici 2015 sauf si des raisons d'ordre technique ou économique justifient que cet objectif ne soit pas atteint.



La DCE conforte les actions menées jusqu'ici grâce au SDAGE : gestion par bassin versant, gestion équilibrée de la gestion en eau et participation des acteurs. Néanmoins elle va plus loin en introduisant 3 innovations majeures :

- la fixation d'objectifs environnementaux (bon état écologique des masses d'eau) ;
- la prise en compte des conséquences environnementales des activités socio-économiques ;
- la participation de tout public.

Pour les eaux superficielles, le « bon état écologique » est défini par :

- un bon état chimique de l'eau, ce dernier étant apprécié au regard des normes d'usage ;
- un bon ou très bon état écologique apprécié selon un panel d'indicateurs biologiques.

Différents indicateurs biologiques ont ainsi été définis pour mesurer l'état écologique des masses d'eaux côtières :

- le phytoplancton ;
- les macroalgues ;
- l'herbier de Posidonies ;
- le benthos de substrat meuble ou rocheux.

Concernant l'herbier de Posidonies, l'indice global reflétant l'état de santé générale de cette phanérogame prend en compte :

- la densité des faisceaux ;
- la couverture épiphytique ;
- la biométrie et la structure de la matre ;
- la profondeur et la dynamique de la limite inférieure ;

C'est sur le suivi de ce dernier paramètre que le présent projet apporte une contribution, afin de rendre compte au mieux la dynamique des herbiers en augmentant considérablement le nombre de points de référence (12 balises pour les balisages classiques, De 300 à 900 points pour la télémétrie).



**Figure 2 : la transition entre herbier de posidonie et détritique côtier peut être une limite franche mais constitue plus fréquemment un écotone dont les limites sont d'appréciation délicate.**

### I.3. LA POSIDONIE, INDICATEUR DE LA QUALITE DES EAUX COTIERES

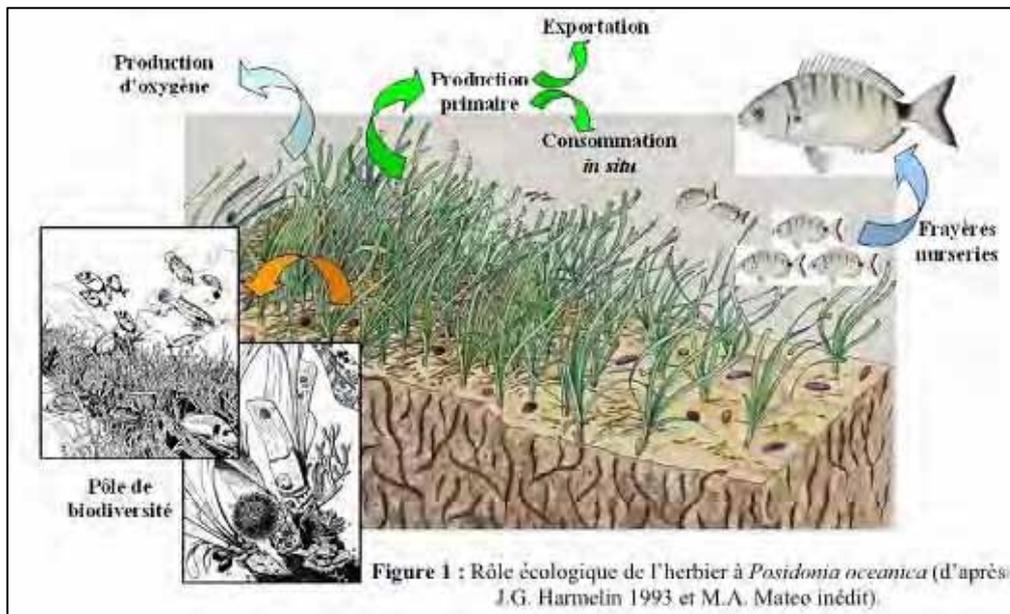
*Posidonia oceanica* est une magnoliophyte marine endémique de la Méditerranée (Den Hartog, 1970). Elle colonise les fonds de l'étage infralittoral entre 0 et 30-40 mètres de profondeur et constitue de vastes prairies sous-marines (Molinier et Picard, 1952 ; Pérès et Picard, 1964 ; Meinesz et Laurent, 1978 ; Giraud, 1980).



**Figure 3 : la posidonie, un producteur primaire majeur**

La croissance des rhizomes peut être horizontale ou verticale, ce qui permet à la plante de lutter contre l'enfouissement (Boudouresque et Judy De Grissac, 1983) mais reste néanmoins très lente ; en moyenne de 3 à 6cm/an pour les rhizomes plagiotropes et environ 1 mètre par siècle verticalement pour la matte (Molinier et Picard, 1952) qui peut atteindre localement 8 mètres d'épaisseur (Molinier et Picard, 1952).

Les écailles et les rhizomes sont peu putrescibles compte tenu de leur richesse en acide phénolique et peuvent persister plusieurs millénaires (plus de 4600 ans, in Boudouresque *et al.*, 1980). Ils contribuent ainsi à former la matte qui est constituée de lacs de racines et de rhizomes, morts ou vivants et de sédiments d'origines autochtones ou allochtones qui colmatent les interstices (Blanc, 1958).



**Figure 4 : rôle écologique de l'herbier (d'après J.G. Harmelin 1993 et M.A. Mateo).**

Les herbiers à *Posidonia oceanica* occupent une surface restreinte (1 et 2 % des fonds de la Méditerranée soit 3.5 à 3.7 millions d'hectares (Rico-Raimondino, 1995 ; Pasqualini, 1997) mais constituent la biocénose la plus complexe de Méditerranée (Molinier et Picard, 1952 ; Pérès et Picard, 1964 ; Boudouresque et Meinesz, 1982) et sont à la base de la richesse de ses eaux littorales (Molinier et Picard, 1952 ; Cinelli *et al.*, 1974 ; Boudouresque et Meinesz, 1982). Leur rôle écologique est majeur : production primaire benthique, production d'oxygène (Drew et Jupp, 1976 ; Caye, 1980 ; Bedhomme *et al.*, 1983 ; Libes *et al.*, 1983 ; Bay, 1978 ; Giorgi et Thelin, 1983), transparence des eaux par le piégeage des particules en suspension (Blanc et Jeudy De Grissac, 1984), base de nombreuses chaînes alimentaires (Vélimirov, 1984 ; Zupi et Frési, 1984 ; Khoury, 1987), lieu de frayère, nurserie, abris vis-à-vis des prédateurs ou habitat permanent pour des milliers d'espèces animales et végétales (Kirushi et Pérès, 1973 ; Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Bell et Harmelin-Vivien, 1983 ; Chraïbi, 1987 ; Boudouresque *et al.*, 1994).

La matte héberge une faune particulièrement riche et variée (Harmelin, 1964 ; Wilsie, 1987).

Par son action au niveau des équilibres littoraux la matte souterraine stabilise les fonds meubles en agissant comme un piège à sédiments (Molinier et Picard, 1952), atténuant ainsi l'effet érosif des courants et des vagues sur les littoraux sableux (Blanc et Jeudy De Grissac, 1984 ; Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985 ; Gambi *et al.*, 1989).



Figure 5 : juvénile d'*Aplysia punctata* sur *P. oceanica*

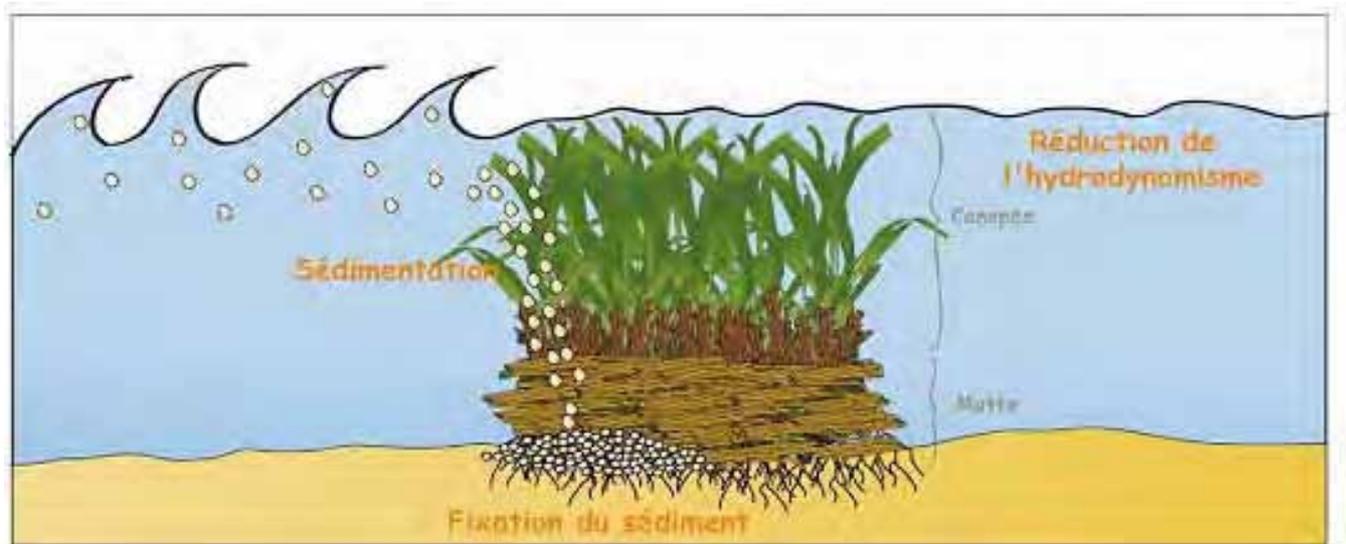


Figure 6 : piégeage du sédiment et réduction de l'hydrodynamisme dans un herbier (Pergent *et al.* 2008)

## I.4. METHODE EXISTANTE DE BALISAGE DES LIMITES DES HERBIERS DE POSIDONIES

Puissants intégrateurs de la qualité globale des eaux littorales (Pergent *et al.*, 1995), les herbiers de posidonie ont été désignés comme habitat prioritaire au titre de la directive européenne Habitats (92/43/CEE du 21 mai 1992). A ce titre, ils font l'objet d'un suivi particulier sur le pourtour méditerranéen, basé sur l'utilisation d'un large panel de paramètres descripteurs (cartographie, recouvrement, densité, biométrie, etc.) (Pergent *et al.* 2006. Charbonnel *et al.* 2000).

Parmi ces descripteurs, la position de la limite inférieure de l'herbier est particulièrement importante car elle enregistre toute altération de la qualité des eaux (augmentation de la turbidité, pollution) sous la forme d'un recul de cette limite (Pergent *et al.*, 1995). Le protocole d'étude qui permet le suivi de ce paramètre est basé habituellement sur la pose de balises permanentes (Meinez, 1977 ; Charbonnel *et al.*, 2000), dont l'efficacité et la durabilité est liée à la bonne tenue des balises sur le fond et la stabilité de l'herbier.

### I.4.1. BALISAGE TYPE RSP

La méthode par balises RSP, appelée ainsi puisque utilisée dans le cadre du Réseau de Suivi Posidonie en PACA, initialement mise au point par Meinez (1977), consiste à disposer des balises de géomètres en limite des peuplements dont on veut suivre l'évolution. Une balise est constituée d'un corps-mort en béton spécial résiné de haute résistance, d'un poids de 2.15 kg et de 11 cm de côté pour 12 cm de hauteur, troué en son centre pour le passage d'une amarre métallique de 35 ou 60 cm de longueur, protégée par une galvanisation à chaud, en qualité marine. L'amarre est munie d'un système de verrouillage par 3 tiges d'acier qui, en s'enfonçant dans le sol, plus ou moins perpendiculairement à l'amarre, assure un ancrage définitif dans le substrat.

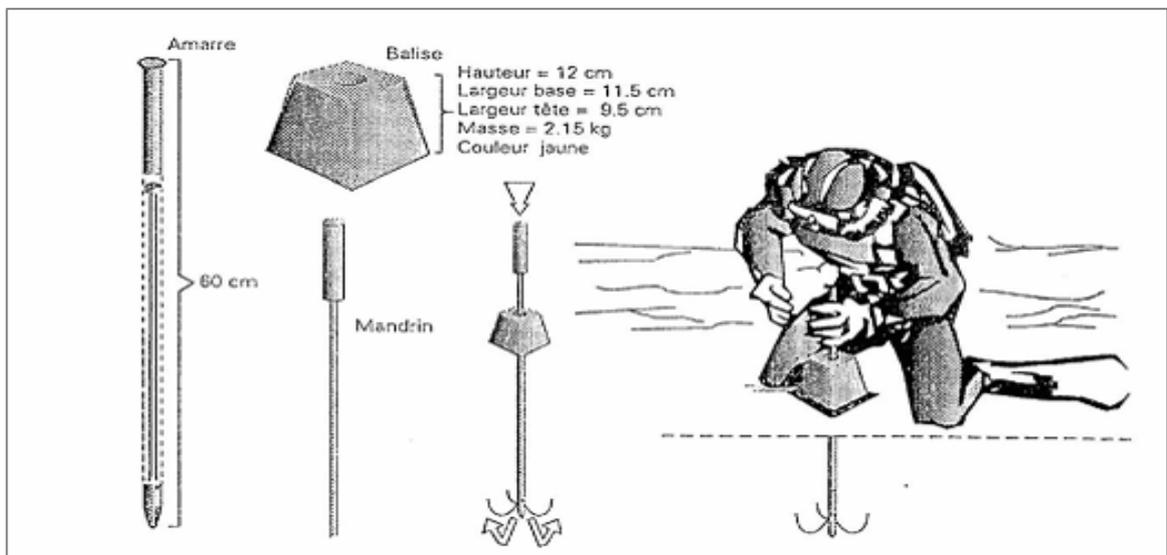


Figure 7 : caractéristiques des bornes de géomètres utilisées en limite supérieure (Faynot)

Ces caractéristiques peuvent cependant varier selon le type de limites et de secteurs étudiés. Ainsi dans le cadre du Réseau de Surveillance des Herbiers de Posidonie en PACA, il a été utilisé pour un balisage en limite inférieure des balises en béton à prise marine, spécialement manufacturées et de forme tronconique dont le diamètre moyen est de 40 cm pour une hauteur de 20 cm. Le volume de ces balises est de 24 litres, pour un poids d'environ 20 kg . Des balises de 80 kg ont également été utilisées par le RSP pour les sites de Toulon-Cap Sicié et Giens, secteurs soumis à une pression de chalutage important. Ces balises, plus lourdes (20 et 80 kg), sont percées par trois trous, permettant un ancrage permanent sur le fond par trois tiges métalliques, d'une longueur de 1 m. 11 à 12 balises sont disposées tous les cinq mètres, le long de la limite inférieure de l'herbier.

Les balises sont placées au contact des derniers rhizomes de Posidonies et matérialisent la limite d'herbier. Une fois positionnée sur le fond, chaque balise est numérotée par une plaquette en PVC gravée. Cette numérotation permet une identification rapide en plongée, et en cas d'un déplacement accidentel, de replacer la balise à son emplacement initial. Un flotteur relié à un bout est également fixé au centre de la balise, ce qui facilitera son repérage sur le fond par des plongeurs lors des suivis ultérieurs.

Des « piquets-photos » (repère constitué par une tige métallique en limite inférieure) sont positionnés à 1.5 m, en aval de chaque balise. Ces repères permanents servent à positionner l'appareil photo, afin que l'angle de prise de vue des photographies de l'herbier situé de part et d'autre de chaque balise soit identique pour chaque suivi. Ceci afin de garantir la reproductibilité des conditions de prises de vues et de permettre la comparaison des photographies d'un suivi à l'autre.

La profondeur de la limite de l'herbier est mesurée le long du balisage pour chaque balise, à l'aide d'un profondimètre électronique (le modèle utilisé reste le même au cours des suivis dont la précision a été évaluée à  $\pm 10$  cm). La mesure s'effectue au pied de chaque balise, elle est répétée systématiquement au cours des suivis successifs, afin de mettre en évidence d'éventuels mouvements sédimentaires, constatés par les changements de valeurs de profondeurs.

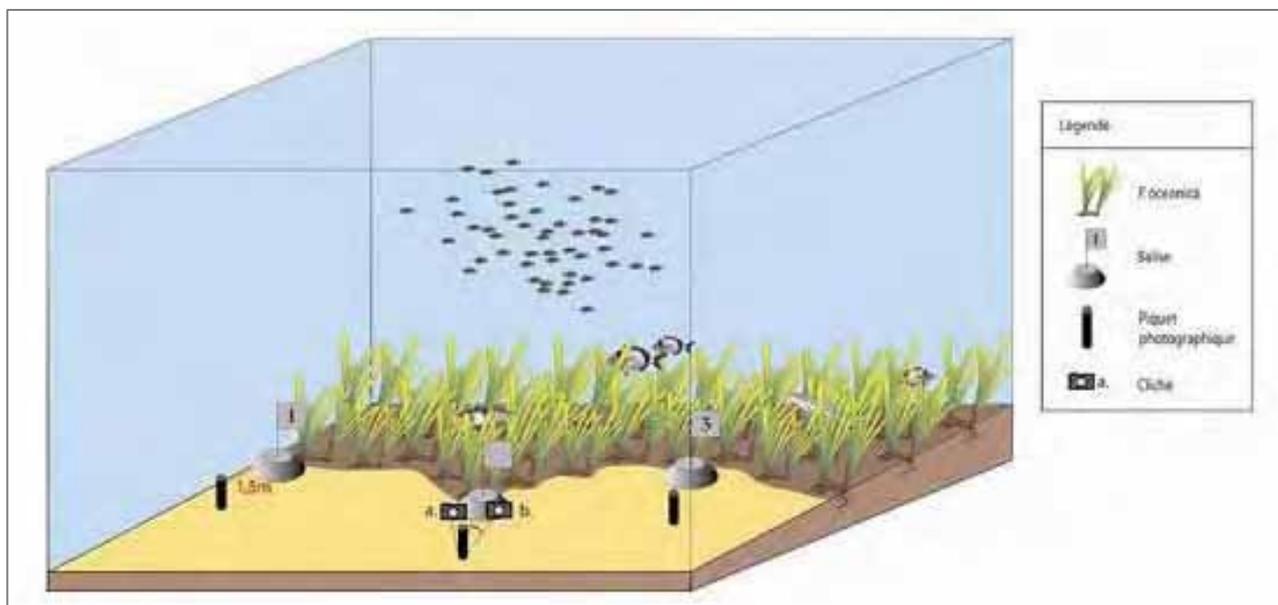


Figure 8 : réalisation de prises de vues horizontales à partir de piquets photo

#### 1.4.2. LIMITES DES SUIVIS PAR BALISAGE TYPE RSP

Le suivi des limites inférieures d'herbier par balisage RSP présente des limites inhérentes à la méthode elle-même :

- La phase de mise en place du balisage est lourde, nécessite des temps de plongée importants avec manipulation d'objets pesants ; ceci se répercute sur le coût des suivis.
- Les balisages sont limités aux zones où l'épaisseur de sédiment ou de matre morte permet le bon ancrage des tiges d'amarrage. Ceci exclu les herbiers sur éboulis ou sur roche.
- Les balises sont sensibles au chalutage, au Gangui et au mouillage, toutes activités qui peuvent le détruire ;
- Le balisage est sensible aux mouvements sédimentaires, les balises pouvant être enfouies ou déchaussées. La mesure de la variation de la profondeur de la limite inférieure est alors délicate, les appareils de mesures type profondimètre électronique manquant de précision.
- Le nombre de points de référence est faible. Les mesures de progression se font sur une dizaine de rhizomes plagiotropes ce qui peut poser un problème de représentativité d'autant que la balise elle-même peut influencer sur la croissance du rhizome (obstacle physique, ombre, etc.).
- Le balisage est fixe. En cas de régression ou de progression, les balises ne sont plus en contact avec la limite de l'herbier (cas très fréquent) et la précision de mesure diminue. Dans certains cas, le balisage doit être refait.
- En Languedoc-Roussillon les herbiers se présentent sous forme de massifs sans réelle limite inférieure rendant le balisage délicat.

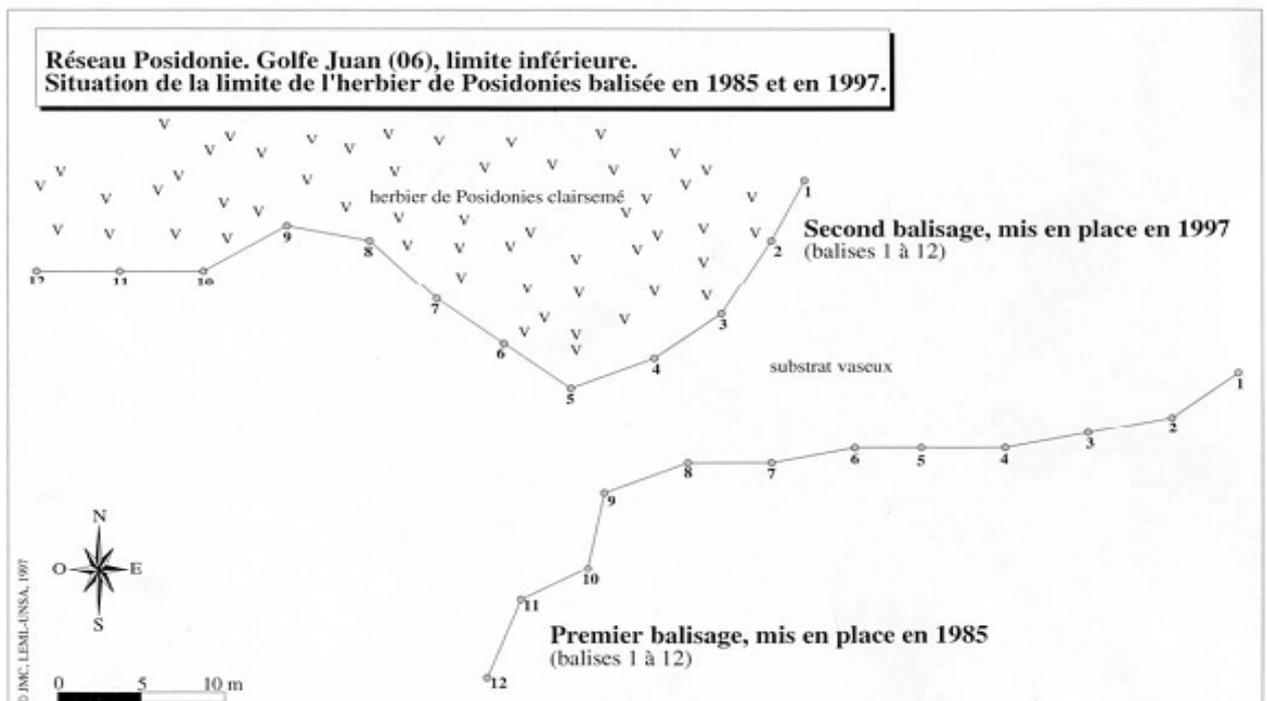


Figure 9 : lorsque l'herbier régresse, les balises doivent être déplacées (Charbonnel *et al.* 2001).

### I.4.3. UTILISATION DE LA TELEMETRIE ACOUSTIQUE COMME METHODOLOGIE ALTERNATIVE POUR LE SUIVI DES LIMITES D'HERBIER

Le positionnement acoustique est une méthode alternative au balisage classique qui permet de multiplier facilement le nombre de points cartographiés, tout en évitant la pose de nombreuses balises.

L'appareil utilisé pour ce type de mesure est l'Aquamètre D100 (société PLSM©) qui a initialement été développé pour l'archéologie sous-marine (relevés d'objets ou de charpente) et le génie civil (Leino, 2002 ; Palma, 2004).

Cette technologie a ensuite été testée pour des applications de cartographie de végétation marine en 2002 (Jaubert *et al.*, 2003, Vaugelas et Trastour, 2003), puis en 2003 en PACA (Vaugelas et Javel, 2005) et à Cerbère-Banyuls (Descamp *et al.*, 2003). Les résultats de cette dernière étude ont fait l'objet d'une publication scientifique (Descamp *et al.* 2005).

C'est cependant principalement depuis 2006 que la télémétrie a connu un rapide développement grâce au développement d'un nouveau type de pointeur qui a permis une précision accrue des relevés (Descamp *et al.* 2007) et la production de cartes à très petite échelle proche du 1/50<sup>ème</sup>.

Durant la seule année 2007, 12 balisages ont ainsi été mis en place par des gestionnaires divers sur les côtes françaises hors tout programme de planification sur l'ensemble de la façade.

C'est la raison pour laquelle il est apparu opportun de réaliser une étude test à plus grande échelle, afin de confronter cette nouvelle méthodologie à la diversité des types de limites herbiers présentes sur nos côtes.



2003 : circuit ouvert et pointeur simple



2006 : scaphandre recycleur électronique et pointeur graphique

Figure 10 : Evolution du matériel entre 2003 2006

## II. MATERIELS ET METHODES

### II.1. ORGANISATION DES MISSIONS DE TERRAIN

La mission de terrain s'est déroulée en itinérance sur 14 jours, pour les sites de Marseille à Antibes, à bord d'un voilier Sun Odyssey 37.

L'équipement est stocké à bord et l'équipe de 4 personnes y vit en autonomie. Les temps de logistiques sont ainsi réduits.

Les déplacements se font à la voile chaque fois que possible afin de contribuer au respect de l'environnement.



En ce qui concerne le site de Banyuls (1), le bateau de la Réserve Naturelle Marine a été utilisé.



Pour les sites d'Agde et de Palavas, les interventions ont été réalisées à partir d'un semi-rigide de 6m Bombard explorer.

17 jours de mer ont été consacrés aux interventions en mer dans le cadre de l'étude.



---

## II.2. MATERIELS

---

### II.2.1. PLONGEE SOUS MARINE

Les interventions en plongée ont été réalisées en scaphandre recycleur à gestion électronique Inspiration Vision **CE**.



#### Présentation du matériel

La spécificité de ce scaphandre est de fonctionner en circuit fermé. A l'expiration, l'air ne s'échappe plus du détendeur mais est débarrassé du CO<sub>2</sub> et peut ensuite être réutilisé par le plongeur.

Le principe est simple : une cartouche de chaux sodée (en gris sur l'image de gauche) piège le CO<sub>2</sub> au fur et à mesure que le plongeur le produit. Une bouteille d'oxygène enrichi le mélange respiratoire dont la composition est en permanence contrôlée électroniquement. Une réserve de diluant (air comprimé ou nitrox) permet d'avoir une composition et un volume stable de mélange respiratoire quelle que soit la profondeur.

L'utilisation de cet équipement très technique nécessite une formation spécifique.



#### **DES OBSERVATIONS D'UNE DUREE INEGALABLE**

Grâce au circuit fermé du Buddy Inspiration, seul l'oxygène consommé par l'organisme est dépensé. L'autonomie atteint donc 7 heures quelle que soit la profondeur.

Pour ces durées d'immersion, le facteur limitant devient le froid (seulement l'hiver ou l'été en dessous du thermocline), résolu cependant par l'utilisation de combinaisons étanches. Le confort du plongeur vis-à-vis du froid est d'ailleurs d'emblée amélioré car le circuit fermé, à la différence des scaphandres classiques, fournit un mélange respiratoire chaud et humide.

 **LA SECURITE DU PLONGEUR SOUS TRIPLE SURVEILLANCE**

Par sécurité, les analyseurs d'oxygène sont triplés et les ordinateurs de gestion du mélange sont doublés. La gestion électronique du mélange respiré permet automatiquement d'obtenir le mélange le moins pénalisant en terme de saturation augmentant ainsi la sécurité du plongeur.

Sa très grande autonomie alliée à une saturation du plongeur très réduite permet des temps de travail immergé longs. Cela constitue le premier intérêt de l'utilisation de ce type de matériel.

Exemple :

- Jusqu'à 15 mètres de profondeur, la plongée avec un tel circuit fermé maintient le plongeur dans un état de saturation proche de celui de la surface : le temps de plongée est donc illimité.
- à -20m avec une PpO<sub>2</sub>=1,4 si l'on suit les tables MN90, en théorie le temps de plongée sans paliers obligatoires est de 5h30 contre seulement 40min en plongée à l'air !
- Plans de plongée comparés dans la zone des 20 mètres de profondeur :

heure	recycleur		circuit ouvert à l'air
	paramètres	Paliers de sécu.	Paliers <u>obligatoires</u>
09h	-20 mètres ; 60min	-4m ; 3min	-3m ; 13min
10h	Repos surface		
11h	-20 mètres ; 60min	-4m ; 3min	-6m et -3m ; <b>73min</b>
12h	Repos surface		
13h	Repos surface		
14h	-20 mètres ; 60min	-4m ; 3min	<b>Hors sécurité</b>
15h	Repos surface		
16h	-20 mètres ; 60min	-4m ; 3min	<b>Hors sécurité</b>

En terme de saturation, plonger à -20m en recycleur électronique revient à plonger à -10m en circuit ouvert à l'air. Globalement, cela veut dire aussi que pour des profondeurs et des temps de plongée équivalents, la sécurité est considérablement améliorée du fait d'une saturation moindre par rapport à un circuit ouvert classique.

## 1.1.2.2. TELEMETRIE ACOUSTIQUE

Les microcartographies ont été réalisées avec un AQUA-METRE D100 (PLSM). C'est un système de positionnement local subaquatique basé sur un principe d'interférométrie acoustique 3D (USBL).

Il est particulièrement adapté aux métrologies précises avec une portée de 150 mètres de rayon. C'est un système simple de mise en œuvre, complètement autonome (sans câble entre le fond et la surface), pouvant être opéré par un seul plongeur.



Figure 11 : pointage du contour d'un massif de posidonie

La préparation de la plongée ainsi que la récupération des mesures se font par l'intermédiaire d'un PC et d'une liaison infrarouge, les mesures pouvant être transférées au format .dxf (compatible avec de nombreux logiciels de CAO).

Le système est auto-calibrant et ne nécessite pas de sonde de célérité (mesure de la célérité acoustique lors de l'initialisation).

Le positionneur acoustique est composé des éléments suivants :

Une base de mesure (constituant l'origine du repère cartésien de mesure  $\{0,0,0\}$ ), montée à l'extrémité d'un mât d'environ 2 m de haut qui pourra rester en place pendant toute la campagne de mesures. La base doit être installée avec un devers n'excédant pas  $10^\circ$ . De plus, le mât doit assurer une relative stabilité de la base (mouvement oscillatoire d'amplitude inférieure à 5 cm en tête de mât et de fréquence inférieure ou égale à 1 hertz).

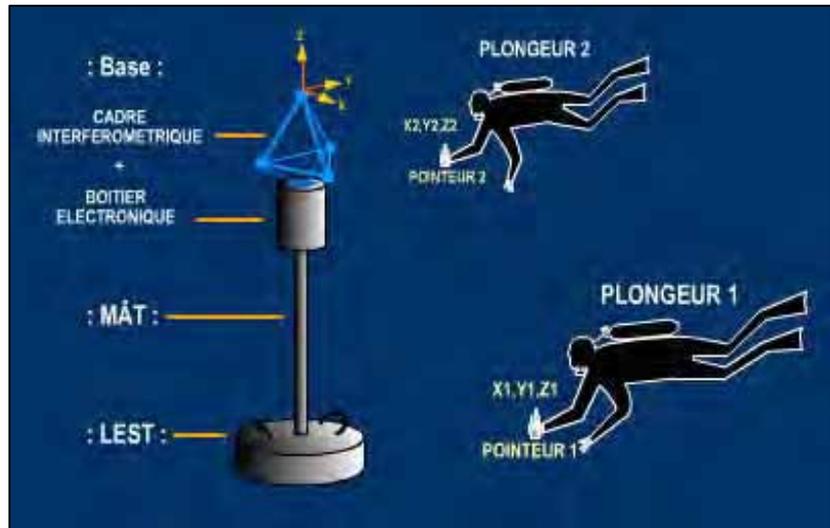
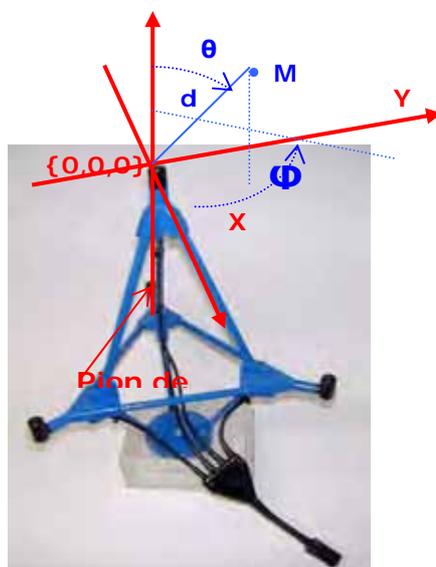


Figure 12 : matériel mis en oeuvre

Le repère cartésien de mesure est associé au cadre interférométrique. Lorsque celui-ci n'est pas à la verticale (dévers maximum de +/-10°), un inclinomètre bi-axial interne à la base permet de corriger la non verticalité et les coordonnées calculées sont toujours données par rapport à un repère cartésien dont le plan X,O,Y est confondu avec le plan local horizontal (horizontalité définie par rapport à la gravité terrestre), et l'origine confondue avec l'hydrophone du haut (Fig 13).



**Figure 13 : Repère cartésien (orthonormé direct) et coordonnées associés au cadre interférométrique lorsque ce dernier est parfaitement vertical. Un point M est repéré par, la distance d à l'origine du repère, l'angle d'azimut, dans le plan horizontal et par l'angle d'élévation, dans le plan vertical (angles en coordonnées sphériques).**

Un pointeur mobile et sa canne standard confère à l'ensemble une longueur d'un mètre permettant un dégagement par rapport au fond, afin d'éviter les problèmes de réflexions et/ou masquages des ondes acoustiques. Léger et portable, le pointeur est muni d'un mini clavier et d'un écran à cristaux liquide, permettant au plongeur de pointer les limites de l'herbier à positionner et de les stocker en mémoire (la capacité mémoire du pointeur est supérieure à 1500 points). Le pointeur a la capacité d'effectuer 10 relevés par point pour en faire une moyenne afin d'en augmenter la précision. La base accepte jusqu'à huit pointeurs (soit huit plongeurs) simultanément, permettant ainsi d'augmenter la rapidité des relevés de la limite inférieure de l'herbier.



La portée maximale entre le pointeur et la base se situe dans un rayon de 130 m (100 m nominal), donc permet théoriquement de baliser un herbier sur une longueur de 260m. L'autonomie de la base et du pointeur est de 8 heures en mode actif et la rétention des points stockés est supérieure à 10 ans (mémoire FLASH).

Les cartes des herbiers ont été obtenues à partir du logiciel de préparation et exploitation des mesures Aqualog de PLSM puis avec Arcgis 9.1.



### I I . 2 . 3 . R E P E R A G E D E S M I C R O C A R T O G R A P H I E S

La mise en place de points fixes permet de positionner chaque lever dans le même repère x,y,z.

Deux points fixes sont positionnés dans un rayon de 100m de la balise.

Ils sont constitués de pitons en inox plantés dans la roche affleurante et renforcés par du ciment chimique.

Remarque : On peut aussi pour marquer les points de référence, utiliser les balises RSP ou des points naturels remarquables. Dans certains cas (tâches bien identifiables), les points fixes ne sont pas indispensables.



Figure 14 : Mise en place des points fixes

---

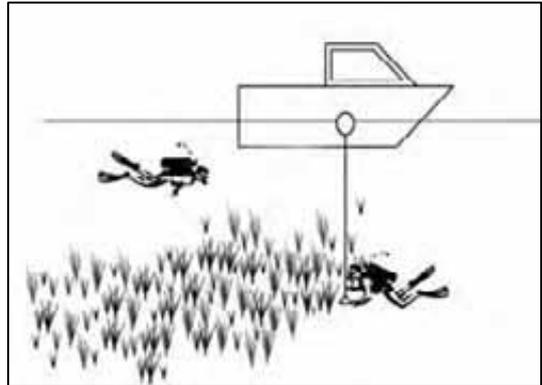
## II.3. METHODES

---

### II.3.1. BALISAGE PAR TELEMETRIE ACOUSTIQUE

#### II.3.1.1. REPERAGE GENERAL DE L'HERBIER

L'étape consiste à évaluer la longueur de la limite inférieure de l'herbier et à localiser le site le plus propice à la mise en place des sites de suivi. Cette étape aide au positionnement de la base et des points remarquables qui seront utilisés pour le positionnement du repère orthonormé local.



#### II.3.1.2. MISE EN PLACE DE LA BASE

La base est posée dans ou à proximité de l'herbier, en prenant soin d'éviter les masquages éventuels avec le relief sous-marin conduisant à une absence de dialogue entre le pointeur et la base. La verticalité du mat doit être contrôlée et ne pas excéder 5° par rapport à la verticale ce qui dépasserait la capacité de correction de l'inclinomètre. De même, le mat doit être suffisamment rigide pour limiter d'éventuelles oscillations dues aux courants.

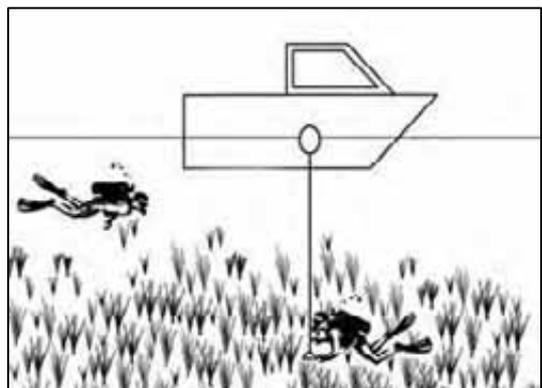


#### II.3.1.3. MISE EN PLACE ET REPERAGE DES POINTS FIXES

La mise en place de points fixes permet de positionner chaque lever dans le même repère x,y,z.

Leur position GPS est relevée approximativement en surface à l'aide d'un parachute de plongée, ou par un couple GPS surface / système de positionnement USBL.

Le positionnement GPS ne sert qu'à faciliter le retour sur site au fil des suivis.



### 11.3.2. BALISAGE DE LA LIMITE INFÉRIEURE

Le plongeur est équipé du pointeur et se déplace le long de la limite de l'herbier. Il enregistre sa position manuellement en fonction de la précision souhaitée. En ce qui concerne l'herbier de l'anse du Pin parasol, plus de 900 points ont été enregistrés, avec un intervalle d'environ 40cm.

Les données recueillies sont ensuite récupérées sur ordinateur, via une interface infra-rouge, et traitées par le logiciel de préparation et d'exploitation des mesures.

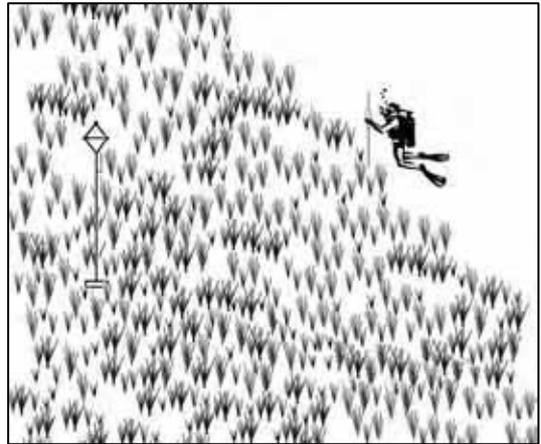
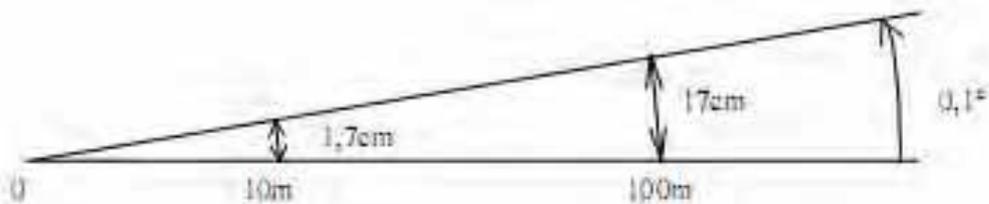


Figure 15 : le pointeur avec écran LCD

### II.3.3. PRECISION DU SYSTEME (DONNEES CONSTRUCTEUR)

Portée : au delà de 100m (200m sous certaines conditions)

Précision : la meilleure précision est obtenue dans la zone proche de la base (2 à 20 mètres de la base) car la précision angulaire de 0,1° conduit à une erreur absolue proportionnelle à la distance comme l'illustre la figure suivante:



**Précision absolue fonction de la distance**

A dix mètres de la base, la précision de +/- 0,1° conduit à une erreur de +/- 1,7 cm.

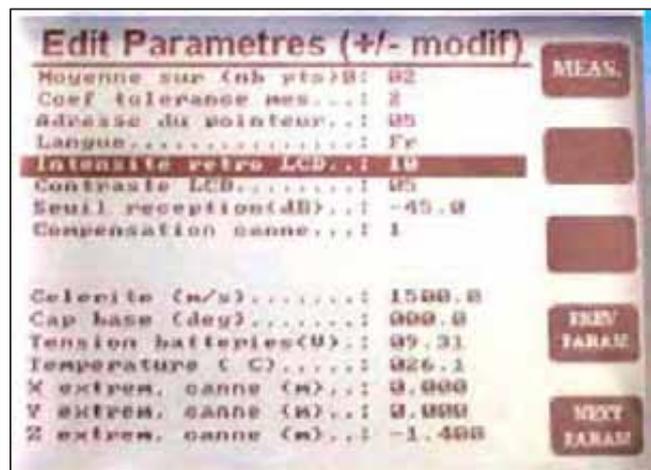
A 100 mètres, l'erreur devient +/- 17 cm.

Dans le cadre de cette étude, une distance maximale de 50 m entre la base et les points a été respectée.

### II.3.4. MODE MOYENNE INTELLIGENTE UTILISEE POUR LES MICRO CARTOGRAPHIES

Afin d'améliorer la précision des données, chaque point enregistré est le résultat d'une moyenne « intelligente » calculée sur 3 mesures par le D100. Le pointeur a donc reçu 3 points, dont la dispersion était cohérente avec la précision du système (fonction de la distance à la base), avant de calculer les coordonnées du point résultant.

Rq : Si la stabilité du pointeur n'est pas assurée (en cas de fort courant ou ressac par exemple), il se peut que le système n'arrive pas à converger en mode « moyenne intelligente », dans ce cas, il réinitialise la moyenne après réception de 2xn points.



### 11.3.5. CONTRAINTES DE MISE EN ŒUVRE

#### ■ PROFONDEUR MINIMUM/MAXIMUM

Le système doit être mis en œuvre dans au minimum 5 mètres de profondeur, la Base sera alors placée à une hauteur de 2,5 mètres au dessus du fond.

Dans 5 mètres d'eau, la précision peut être dégradée au-delà de 20 à 30 mètres de distance entre le pointeur et la Base. Pour obtenir la précision nominale à 100 mètres (portée nominale du système), il faut opérer dans au moins 20 à 25 mètres de profondeur. Le pointeur devra toujours être utilisé avec une canne permettant un dégagement d'au moins 1,5 mètre (canne standard) par rapport au sol, afin d'éviter les problèmes de réflexions et/ou masquages des ondes acoustiques. La profondeur maximum opérationnelle du système en version boîtiers plastiques est de 80 mètres.

#### ■ DEGAGEMENT ACOUSTIQUE

C'est une partie délicate de la mise en œuvre du système. La position de la base doit être choisie au mieux afin d'éviter les masquages éventuels avec le relief sous-marin. Le système nécessite un trajet acoustique direct entre la base et le/les pointeurs. Un masquage partiel ou complet conduit à des erreurs de mesure importantes ou bien même, dans le pire des cas, à un blocage complet des ondes acoustiques conduisant à une absence de dialogue entre la base et le pointeur masqué.

La règle suivante devra être suivie: garantir une hauteur d'au moins 1,5 mètre entre le relief sous-marin et la ligne imaginaire reliant la base à l'hydrophone du pointeur, tel que représenté.

Le D100 ne permet pas la prise de mesure directement au pied de la base ni à moins de 50 cm du centre du cadre qui constituent une zone aveugle comme indiquée sur la figure.

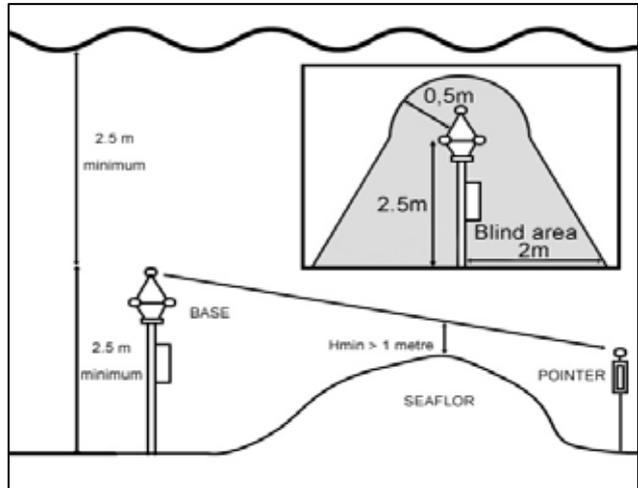


Figure 16 : contraintes de positionnement de la base

#### ■ DEVERS ET STABILITE DE LA BASE

La base doit être installée avec un dévers n'excédant pas 5°, si celui-ci est supérieur, un message « Devers Base » sera alors transmis au pointeur(s) pour signaler l'anomalie. De plus, le mât doit assurer une relative stabilité de la base. Les petites oscillations lentes sont alors compensées par l'inclinomètre deux axes interne à la Base.

### **BRUIT AMBIANT**

L'AQUA-METRE D100 utilise les ondes acoustiques hautes fréquences (65 à 75 kHz) pour effectuer ses mesures de distances et angles. Tout système émettant des ondes acoustiques dans la même bande de fréquences doit être éloigné de l'AQUA-METRE lors de l'utilisation, et notamment :

- les échos-sondeurs, surtout si le bateau est situé au dessus de la zone de travail,
- les systèmes de communication acoustique pour plongeurs (certains sont toutefois compatibles avec l'utilisation de l'AQUA-METRE),
- les SONAR s'ils travaillent dans la même bande de fréquence (les SONAR travaillant à 200kHz ne perturbent pas l'AQUA-METRE,
- certains détendeurs (principalement à l'inspiration) perturbent le Pointeur, ce dernier peut alors perdre des messages, le fonctionnement est ralenti mais le système reste opérationnel.

Il est possible de régler le seuil de réception acoustique du Pointeur afin de le désensibiliser vis à vis des bruits spécifiques rencontrés (suceuses de sédiments, motopompes,...).

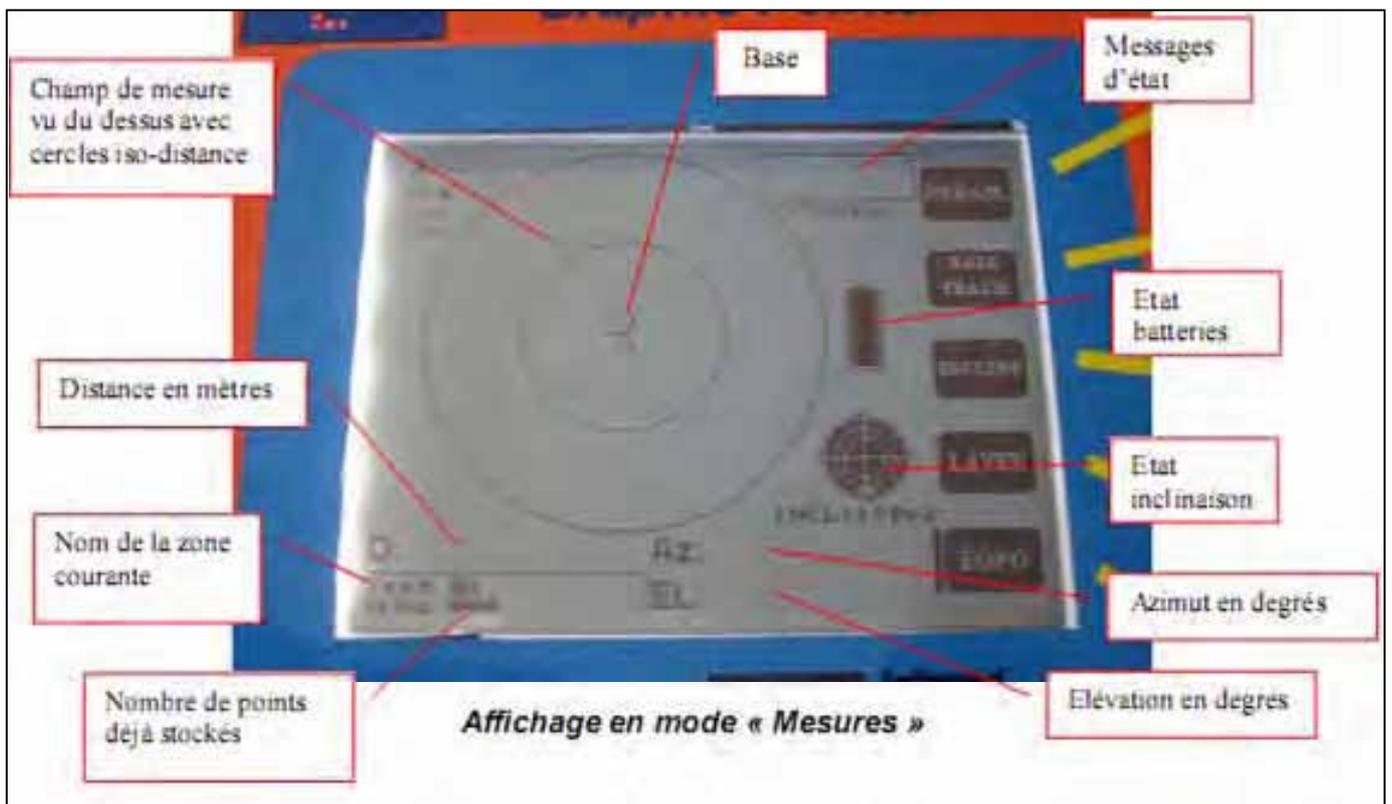


Figure 17 : écran du pointeur en mode mesures

### 11.3.6. EXPLOITATION DES DONNEES

Les données recueillies sont ensuite récupérées du pointeur sur ordinateur, via une interface infra-rouge, et traitées par le logiciel de préparation et exploitation des mesures.

Le diagramme (Fig. 21) présente les phases typiques de mise en œuvre du positionneur acoustique sous-marin, en vert celles nécessitant l'utilisation du logiciel de préparation et récupération des mesures:



Figure 18 : fenêtre principale du logiciel de traitement des données du D100

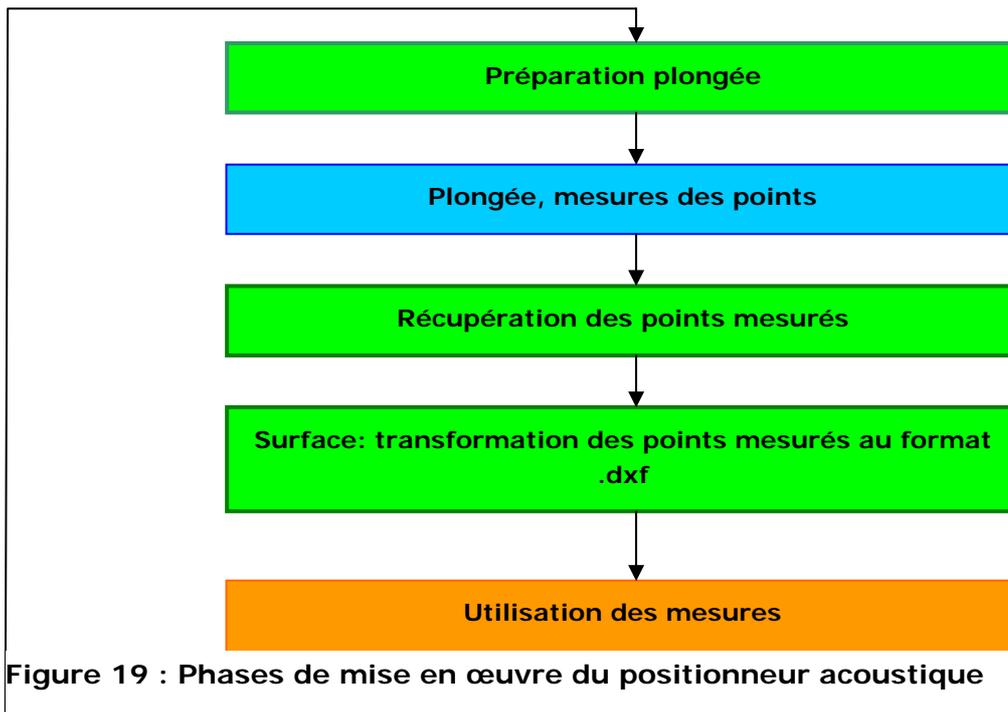


Figure 19 : Phases de mise en œuvre du positionneur acoustique

### 1.3.7. INTEGRATION DES SUIVIS DANS UN SIG

Les points relevés sur le terrain sont importés sous SIG au format .dxf. Chaque type de point relevé (herbier en tâche, faisceau isolé, piquet repère, balise existante) fait l'objet d'une couche spécifique. Le contour des herbiers en tâche ou des limites d'herbiers est réalisé en joignant les points de proche en proche. Le logiciel de SIG permet ensuite de calculer des surfaces et donc de suivre l'évolution de l'herbier en position et en surface.

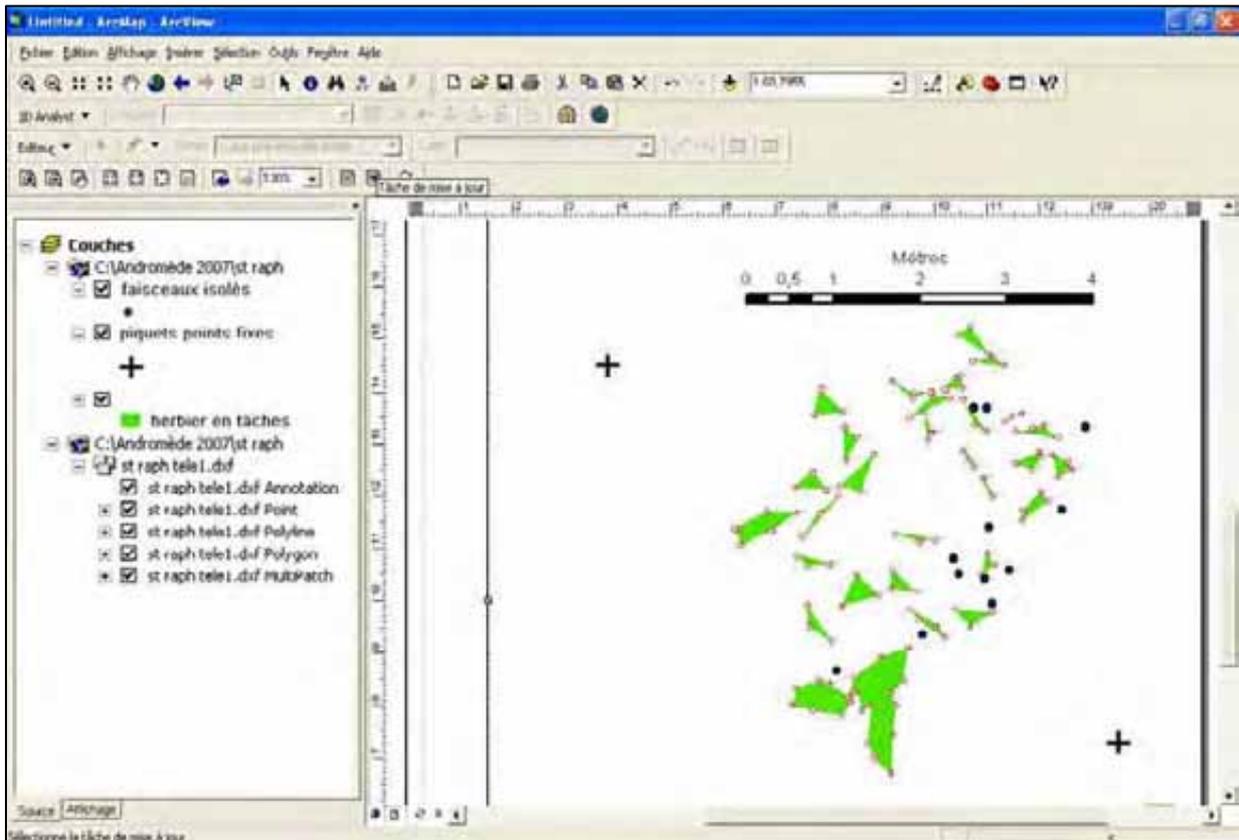


Figure 20 : Exploitation des données sous SIG

Le balisage est repéré dans un repère local mais peut être projeté dans un repère absolu en relevant la position GPS des points fixes à l'aide d'un système de positionnement sous-marin type USBL connecté à un GPS différentiel ou rtk. Dans ce cas cependant, la précision est moindre que dans le repère local défini par les points fixes.

Figure 21 : système de positionnement sous-marin USBL relié au GPS de surface.



### I I . 3 . 8 . C A R A C T E R I S A T I O N   D E S   H E R B I E R S   A U N I V E A U   D E S   M I C R O C A R T O G R A P H I E S

Lors des plongées d'observation, une description générale de l'herbier, de la nature des fonds et des espèces remarquables est réalisée. Divers paramètres sont relevés tels que la densité des faisceaux et leur déchaussement.

#### **Description générale de l'herbier**

(i) Type et état de la limite de l'herbier : progressive, franche, érosive, régressive. (ii) Morphologie générale de l'herbier. Différentes structures d'herbier peuvent être rencontrées, selon les caractéristiques du milieu, notamment de l'hydrodynamisme : herbier continu, herbier discontinu en mosaïque (alternance d'herbier et de matte morte, dans ce cas, la proportion de matte morte est estimée), herbier de plaine (herbier sub-horizontal, sans relief particulier), herbier de colline, herbier ondoyant, etc.

(iii) Structures érosives : en cas de présence de structures érosives (tombants de matte, intermattes de sable ou de matte, chenaux, marmites, etc.), celles-ci sont décrites et leurs orientation et dimension sont notées.

#### **Nature du fond**

La nature du fond en aval du balisage est également décrite : matte morte, présence de ripplemarks (indication de l'hydrodynamisme), sable coquillier, sable grossier, sable fin, sable vaseux.

#### **Faune et flore associées**

Une attention particulière est portée aux principales espèces accompagnatrices de l'herbier où pouvant être rencontrées au voisinage des sites étudiés : espèces protégées en France (ex. la grande nacre *Pinna nobilis*), menacées, d'intérêt patrimonial ; aux espèces de poissons et d'échinodermes présentant un intérêt commercial pour la pêche ; aux espèces bio-indicatrices (ex. organismes filtreurs et suspensivores, dont l'abondance peut traduire la richesse en MES du milieu).

### 11.3.8.1. MESURE DE LA DENSITE DE L'HERBIER

Elle correspond au nombre de faisceaux de Posidonies présents par unité de surface, généralement le mètre carré. La densité varie en fonction de la profondeur et des conditions du milieu (lumière, type de substrat où l'herbier est implanté). Du fait de l'intensité lumineuse élevée près de la surface, un herbier présente des valeurs de densité très élevées dans des secteurs superficiels, alors qu'elles sont beaucoup plus faibles en profondeur (limite inférieure) ou dans des zones présentant une turbidité élevée (Pergent *et al.*, 1995).



**Figure 22 : comptage de densité foliaire**

La densité est mesurée au hasard dans l'herbier, au moyen d'un quadrat de 20 cm de côté (surface minimale garantissant la représentativité de la mesure in Panayotidis *et al.*, 1981), avec 3 répliques pour chaque balise.

Une classification intégrant la profondeur, a été proposée par Pergent-Martini (1994) et Pergent *et al.* (1995). En effet, la variabilité du facteur densité est expliquée à 54% par la profondeur<sup>1</sup> (qui intègre également la pénétration de la lumière).

Une grille de lecture simplifiée a été proposée et classe l'herbier en quatre catégories, selon les valeurs de densité mesurées en fonction de la profondeur : densité anormale, sub-normale inférieure, normale, et sub-normale supérieure (Tableau suivant).

---

<sup>1</sup> Les 46% de variabilité restant sont liés à d'autres paramètres comme la turbidité moyenne, la pollution, l'hydrodynamisme ou la nature du substrat (Pergent-Martini, 1994).

Prof	DA	DSI	DN	DSS	Prof	DA	DSI	DN	DSS
1	← 822	↔	934 ↔ 1158	→	21	← 48	↔	160 ↔ 384	→
2	← 646	↔	758 ↔ 982	→	22	← 37	↔	149 ↔ 373	→
3	← 543	↔	655 ↔ 879	→	23	← 25	↔	137 ↔ 361	→
4	← 470	↔	582 ↔ 806	→	24	← 14	↔	126 ↔ 350	→
5	← 413	↔	525 ↔ 749	→	25	← 4	↔	116 ↔ 340	→
6	← 367	↔	479 ↔ 703	→	26		↔	106 ↔ 330	→
7	← 327	↔	439 ↔ 663	→	27		↔	96 ↔ 320	→
8	← 294	↔	406 ↔ 630	→	28		↔	87 ↔ 311	→
9	← 264	↔	376 ↔ 600	→	29		↔	78 ↔ 302	→
10	← 237	↔	349 ↔ 573	→	30		↔	70 ↔ 294	→
11	← 213	↔	325 ↔ 549	→	31		↔	61 ↔ 285	→
12	← 191	↔	303 ↔ 527	→	32		↔	53 ↔ 277	→
13	← 170	↔	282 ↔ 506	→	33		↔	46 ↔ 270	→
14	← 151	↔	263 ↔ 487	→	34		↔	38 ↔ 262	→
15	← 134	↔	246 ↔ 470	→	35		↔	31 ↔ 255	→
16	← 117	↔	229 ↔ 453	→	36		↔	23 ↔ 247	→
17	← 102	↔	214 ↔ 438	→	37		↔	16 ↔ 240	→
18	← 88	↔	200 ↔ 424	→	38		↔	10 ↔ 234	→
19	← 74	↔	186 ↔ 410	→	39		↔	3 ↔ 227	→
20	← 61	↔	173 ↔ 397	→	40		↔	↔ 221	→

Figure 23 : Classification de l'herbier en fonction de la profondeur (Prof., en mètres). DA = densité anormale, DSI = densité sub-normale inférieure, DN = densité normale, DSS = densité sub-normale supérieure (d'après Pergent-Martini, 1994 et Pergent *et al.*, 1995).

### 11.3.8.2. MESURE DU DÉCHAUSSEMENT DES RHIZOMES

Les rhizomes de Posidonie sont caractérisés par une croissance horizontale (rhizomes plagiotropes) et/ou verticale (rhizomes orthotropes). La croissance verticale est à l'origine de l'édification des mattes et permet à la plante de lutter contre l'enfouissement, lié à la sédimentation.

Le déchaussement des rhizomes traduit généralement l'existence d'un déficit sédimentaire de l'herbier. L'observation de ce paramètre permet donc d'apprécier rapidement et assez précisément l'hydrodynamisme d'une zone et les déplacements sédimentaires qui y ont lieu. En outre, un déchaussement important entraîne une fragilisation de l'herbier, ce qui accroît sa vulnérabilité vis à vis des actions de mouillage et de chalutage. La mesure du déchaussement des rhizomes est réalisée selon les conventions définies par Boudouresque *et al.* (1980) :

- Pour les rhizomes plagiotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la partie inférieure des rhizomes ;
- Pour les rhizomes orthotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la base des feuilles, distance à laquelle on soustrait 2 cm.

Une échelle d'évaluation du déchaussement (faible, moyen, important) est proposée, en fonction des valeurs moyennes mesurées le long des balisages.

Déchaussement (valeurs seuils)	Interprétation
Inférieur à 5 cm	Déchaussement faible
5 – 15 cm	Déchaussement moyen
Supérieur à 15 cm	Déchaussement important

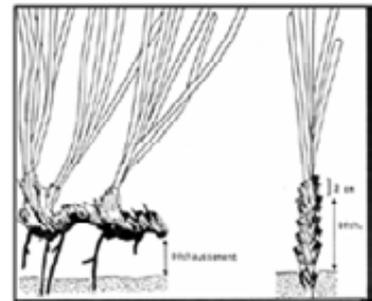


Figure 24 : Echelle d'évaluation du déchaussement en fonction des valeurs moyennes mesurées le long du balisage (d'après le RSP Charbonnel *et al.*, 2000)

### III. RESULTATS

#### III.1.1. HERBIER DE L'ANSE DU PIN PARASOL

Sur la côte des Albères s'étendent, jusqu'à 1.5 milles nautiques vers le large ( $\approx 2.8$  km), les 650 hectares de mer et six kilomètres de rivage de la réserve Naturelle Marine de Cerbère / Banyuls.

Située entre l'Île Grosse et le Cap Peyrefite, la réserve présente une côte rocheuse à peine interrompue par quelques criques sableuses qui correspondent aux débouchés de torrents littoraux. Globalement, l'aspect sous-marin de la réserve présente une forte zone d'éboulis et de roche massive, plus importante au devant des caps et se poursuivant par d'importants plateaux de coralligène.

Située dans la réserve intégrale, l'herbier de l'anse du Pin Parasol s'étend de manière discontinue jusqu'à environ 19 m. Un suivi en limite inférieure par balises type RSP y est réalisé depuis 1989. Le balisage a failli être perdu en 1997 où il a été reconstitué à partir de 2 balises, les autres ayant disparues.

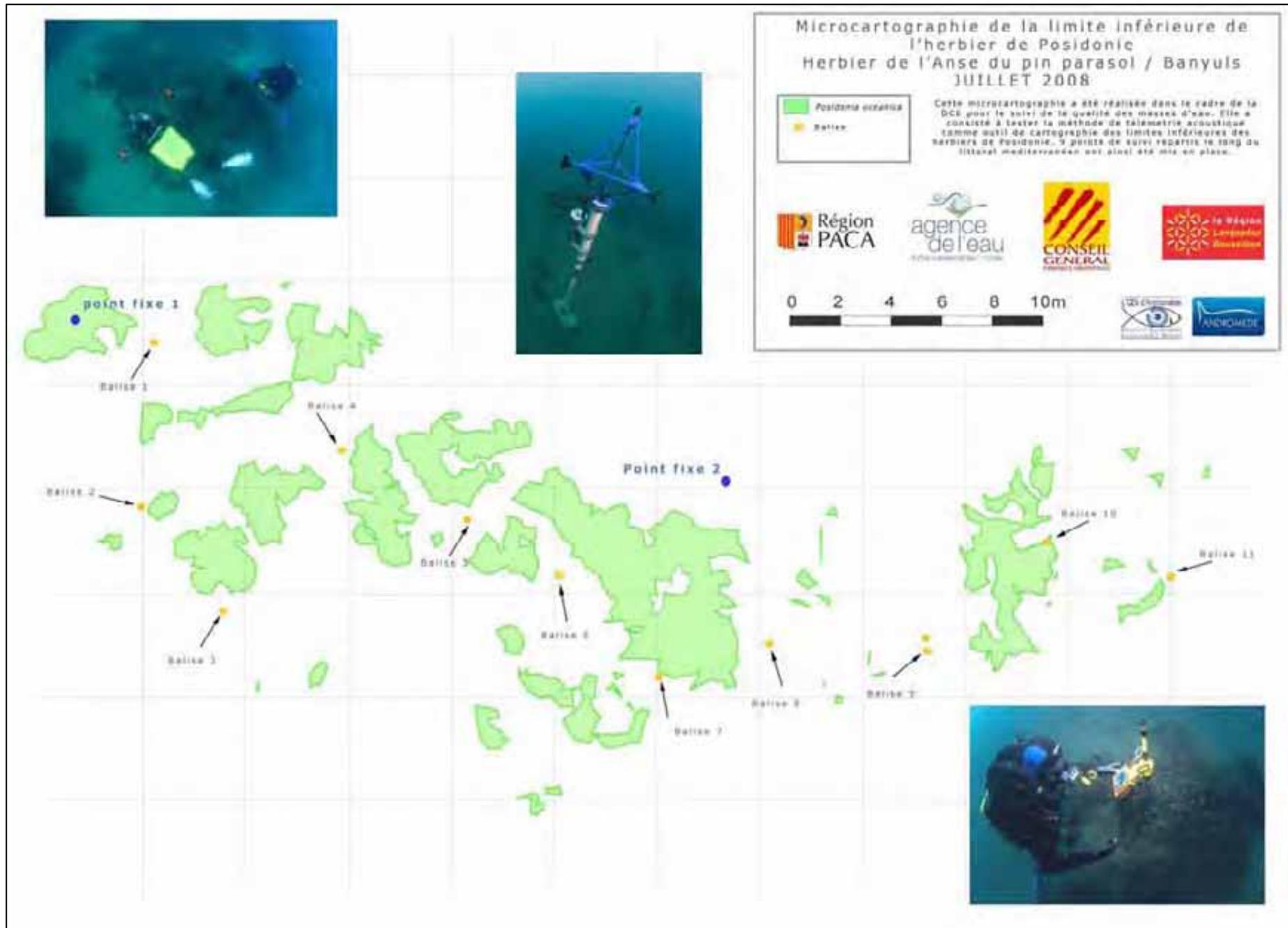
En 2006 l'ensemble des balises avaient été remis en état, pourtant lors de notre passage en 2008 elles étaient dégradées, témoignant du fort hydrodynamisme présent dans cette anse. Ces exemples montrent bien les limites du balisage type RSP dans le cas d'un fort hydrodynamisme ne permettant pas le maintien des balises dans le temps.



La densité de l'herbier en limite inférieure est normale sauf pour la station E où la densité est sub-normale supérieure (données 2006).

Station	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Date (2006)	09/08	09/08	09/08	09/08	09/08	09/08	09/08	09/08	09/08	09/08
Profondeur	17.2	17	18	18	18.5	18.7	18.6	18.7	19.3	19.4
Nbre réplicats	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Densité moy	325	250	350	350	425	375	200	200	225	275
interprétation	DN	DN	DN	DN	DSS	DN	DN	DN	DN	DN
<b>DSS : densité sub-normale sup. / DSI : densité sub-normale inf. / DN : densité normale</b>										

Microcartographie par télémétrie acoustique de 9 herbiers de posidonie pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières méditerranéennes françaises dans le cadre de la DCE



### III.1.2. HERBIER DU CAP D'AGDE

Le Cap d'Agde, particulier pour ses fonds rocheux d'origine volcanique (basaltes et tufs), abrite plusieurs sites où l'herbier de posidonies se développe.

D'Est en Ouest, ils se distribuent depuis la coulée basaltique du vieux Cap (secteur du Môle) au large de la Roche-Notre-Dame, en passant par la Grande Conque, les tufs de la Lauze, la sortie du port du Cap, la zone des Mattes et le secteur des Battuts.



Que l'herbier soit édifié sur roche ou sur du sable, en îlots épars ras ou en taches larges et vigoureuses, l'impression générale reste quand même la très nette dominance, dans tous les secteurs, de la matte morte.

L'herbier faisant l'objet du balisage, se développe à quelques dizaines de mètres de la plage, dans à peine 5 mètres d'eau.

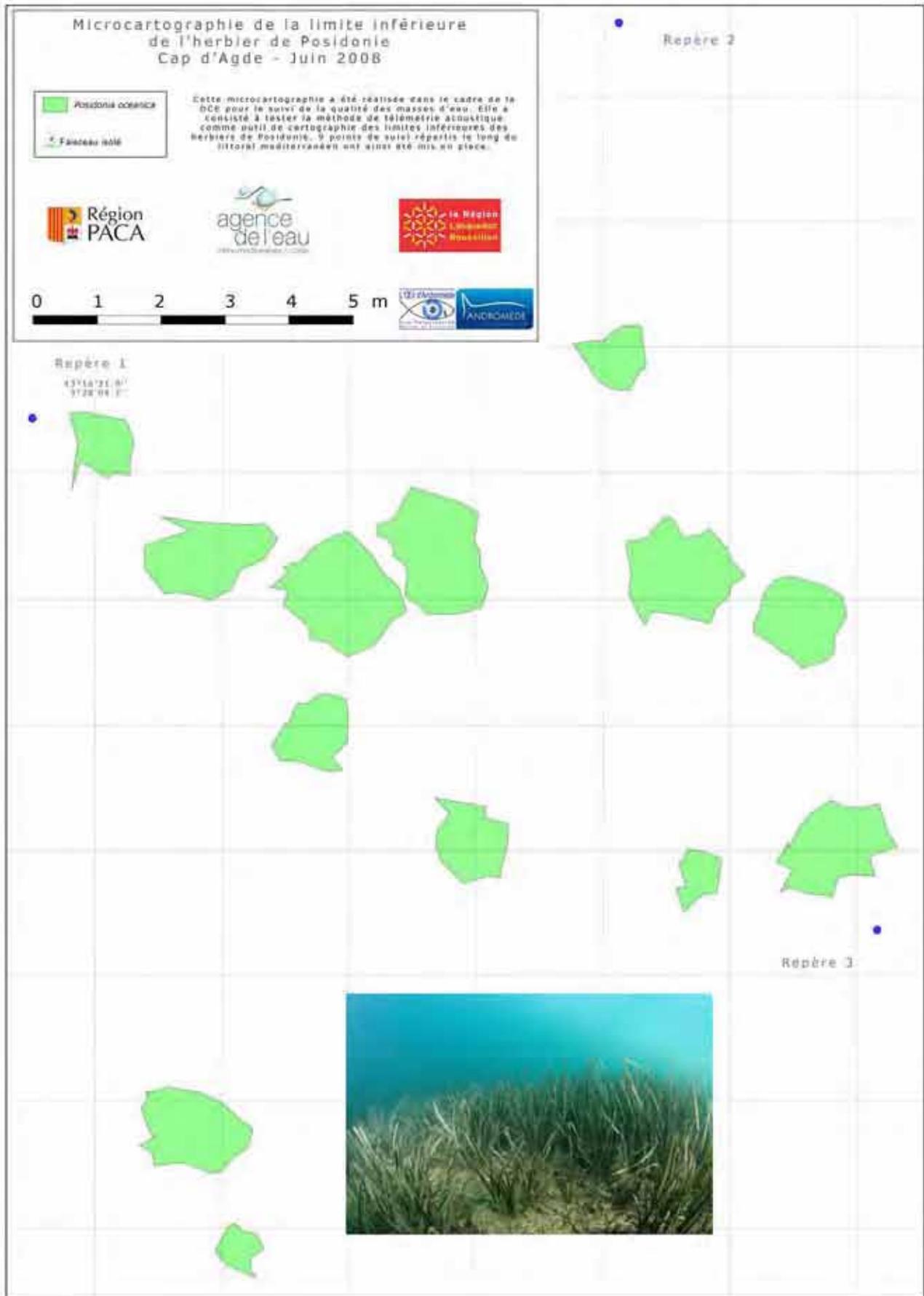
Il est constitué de taches bien délimitées, qui se développent sur une mosaïque de sable et de matte morte.

Le recouvrement atteint 20 à 30 % sur une surface de 200m<sup>2</sup>.

Les densités mesurées sont normales voire supérieures à la normale

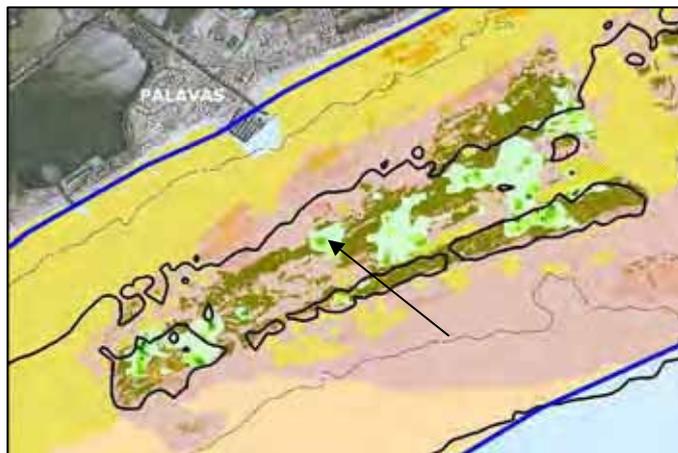
Station	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Date (2008)	28/07	28/07	28/07	28/07	28/07	28/07	28/07	28/07	28/07	28/07
Profondeur	5m									
Nbre répliqués	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Densité moy	<b>660</b>	<b>655</b>	<b>640</b>	<b>595</b>	<b>660</b>	<b>710</b>	<b>680</b>	<b>670</b>	<b>570</b>	<b>780</b>
interprétation	DN	DN	DN	DSI	DN	DN	DN	DN	DN	DSS

**DSS : densité sub-normale sup. / DSI : densité sub-normale inf. / DN : densité normale**



### III.1.3. HERBIER DE PALAVAS-LES-FLOTS

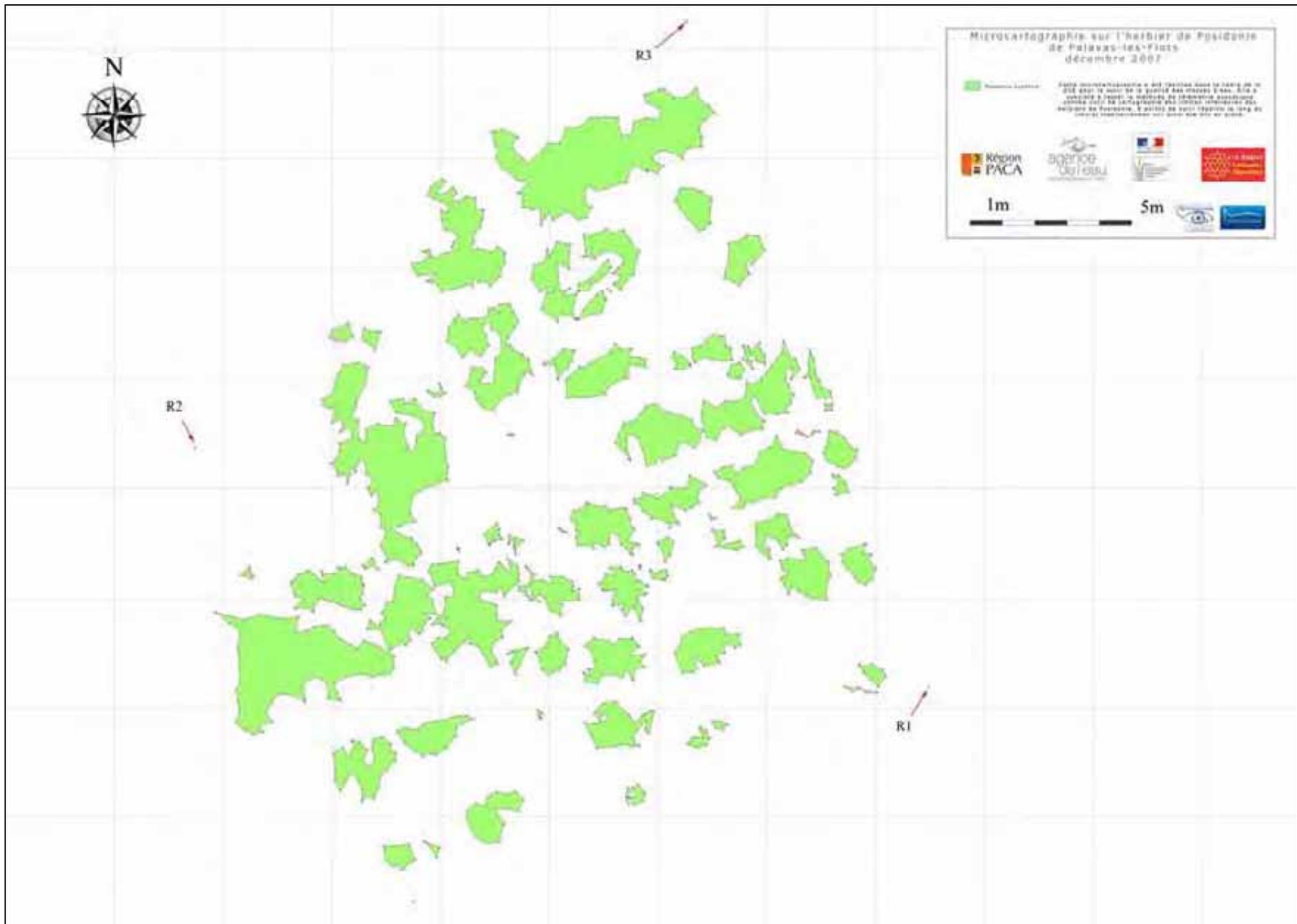
L'herbier de Palavas se développe à environ - 10m de profondeur. C'est un herbier discontinu qui se développe sur un banc rocheux et qui présente de vastes étendues de mattes mortes avec sable grossier dans les intermattes ; il est morcelé en petites tâches le plus souvent inférieures au m<sup>2</sup>. Divers facteurs d'origine naturelle (forts courants de houle, mouvements sédimentaires, prédation par les oursins) et anthropique (apports de produits toxiques ou nuisibles, arrachages de fragments de rhizomes par les ancrages et les engins de pêche) semblent s'associer pour diminuer la vitalité des herbiers et leur résistance aux agressions physiques.



Il en résulte finalement une augmentation du morcellement de l'herbier et une réduction progressive des surfaces colonisées.

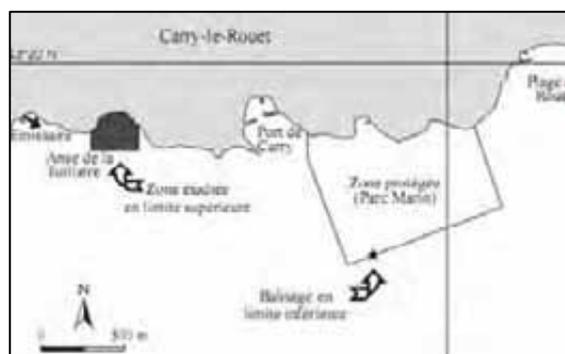


Station	A	B	C	D	E	F
Date (2006)	03/08	03/08	03/08	03/08	03/08	03/08
Profondeur	8,3	8,2	8	8,4	8,2	8,2
Nbre répliqués	3	3	3	3	3	3
<b>Densité moy</b>	535	425	410	330	440	305
interprétation	DN	DN	DN	DSI	DN	DSI
<b>DSS : densité sub-normale sup. / DSI : densité sub-normale inf. / DN : densité normale</b>						



### III.1.4. HERBIER DU PARC MARIN DE LA CÔTE BLEUE

La microcartographie a été mise en place sur le lieu du balisage RSP, à 850 m de la côte (secteur "Le Moulin"), au large du port de Carry-le-Rouet (Fig. 7). L'herbier est situé dans une "zone de référence", exempte de tout impact anthropique majeur, à l'intérieur de la Zone Marine Protégée, en limite d'une bouée intermédiaire délimitant le Parc.



Station	A	B	C	E	F	G	H	I	J
Date (2008)	30/05	30/05	30/05	30/05	30/05	30/05	30/05	30/05	30/05
Profondeur	29	29.5	29.8	30	30.2	29.7	29.3	29.2	30
Nbre répliqués	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Moy/m <sup>2</sup>	150	166	150	150	83	141	166	50	141
Classification	DN	DSI	DN						

**DSS : densité sub-normale sup. / DSI : densité sub-normale inf. / DN : densité normale**

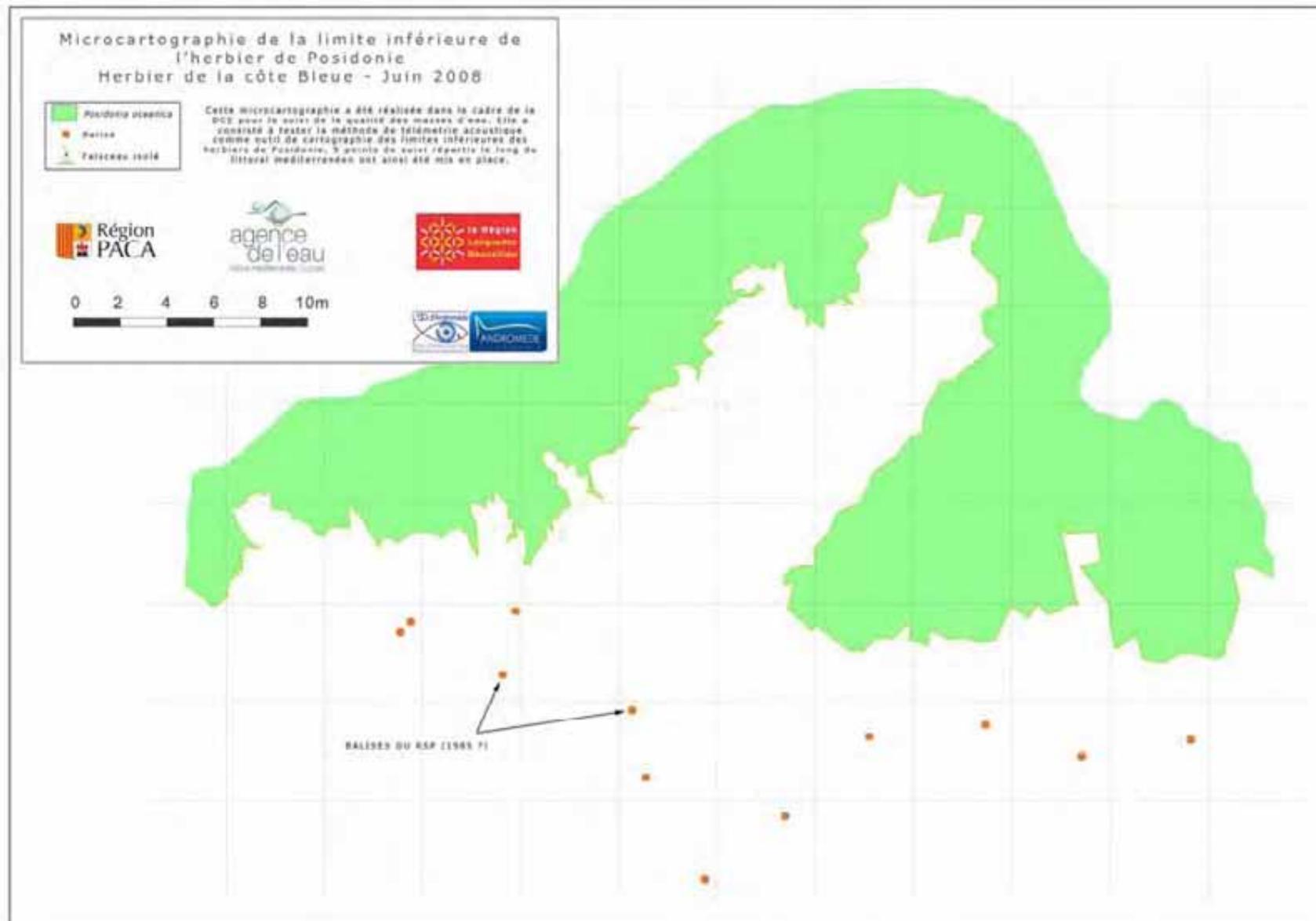
Compte tenu de la profondeur élevée, l'herbier montre un degré de morcellement important et la limite est très irrégulière, avec de nombreuses circonvolutions dans ses contours. La limite est de type régressive, avec une étendue de matte morte au-delà de la limite actuelle de l'herbier, sur laquelle s'est développée récemment l'algue invasive *Caulerpa racemosa*.

Les rhizomes sont en majorité plagiotropes (=traçants) et sont peu ou pas déchaussés (2 cm maximum). Les feuilles de Posidonies sont assez courtes et présentent une longueur d'environ 30 cm. L'herbier montre un aspect assez envasé et une vitalité moyenne, avec une tendance à la régression.

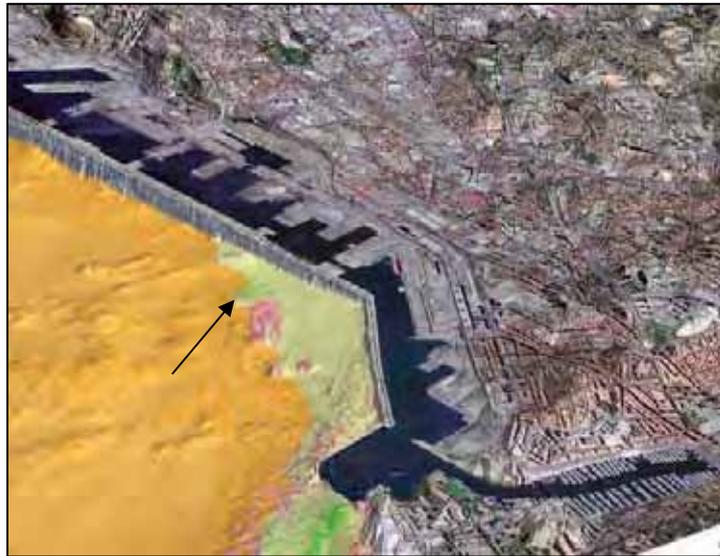
L'herbier de ce site en régression chronique depuis la mise en place du balisage il y a 23 ans, en 1985. Les causes de cette régression restent difficiles à établir, en l'absence de tout impact anthropique majeur. Les seules sources de perturbation lointaines sont le port de Carry et le rejet de la station d'épuration de Carry-Sausset.

A noter que l'herbier de ce site est le plus profond connu sur la Côte Bleue, et donc le plus sensible. De ce fait, toute modification, même infime de la turbidité se traduira par une remontée des limites et de la profondeur de compensation.

Microcartographie par télémétrie acoustique de 9 herbiers de posidonie pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières méditerranéennes françaises dans le cadre de la DCE



### III.1.5. HERBIER DE MARSEILLE



Le point de télémétrie a été placé sur un herbier en tache (1), situé le long de la grande digue du port autonome.

Cet herbier est original en cela qu'il constitue le reliquat de l'herbier beaucoup plus vaste qui bordait le littoral de Marseille au 19<sup>ème</sup> siècle.

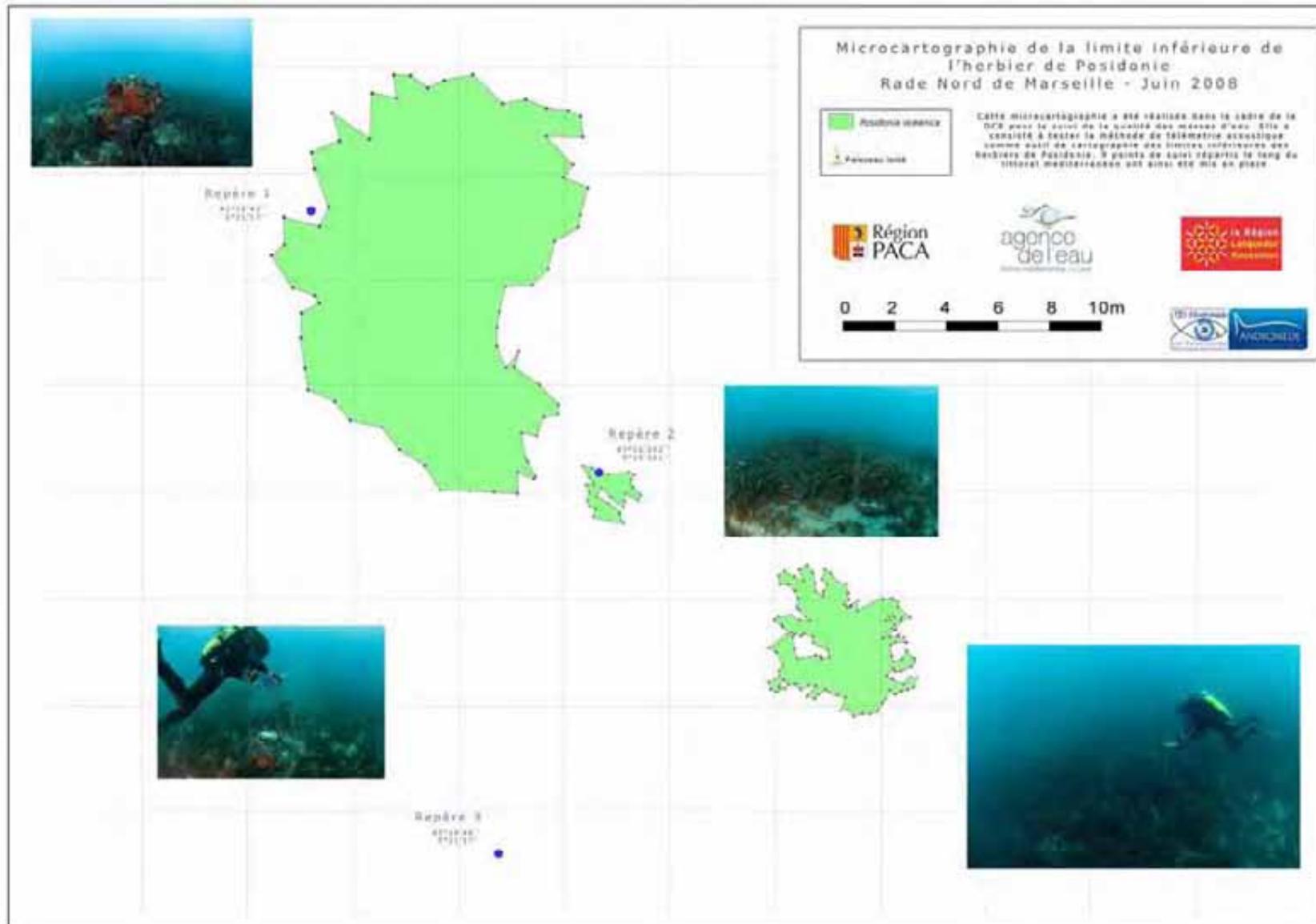
Il a donc subi de nombreux impacts et semble même se situer dans une zone ancienne de clapage car le substrat y est constitué de graviers noirs (2) que l'on ne retrouve nulle part ailleurs dans la rade.

Les densités foliaires mesurées sont normales pour 23 répliquats sur 35. 8 répliquats donnent des valeurs subnormales inférieures. Des affleurements rocheux ont permis de positionner sans difficulté les 2 points fixes (3).

Station	A	B	C	E	F	G	H	I
Date (2008)	15/04	15/04	15/04	15/04	15/04	15/04	15/04	15/04
Profondeur	20.1	19.5	20.6	20.5	21	20.5	20.4	20.5
déchaussement	5	10	10	10	10	10	5	5
Nbre répliquats	3	3	3	3	3	3	3	3
Moy/m <sup>2</sup>	325	225	300	300	125	225	275	175
Classification	DN	DN	DN	DN	DSI	DN	DN	DN



Microcartographie par télémétrie acoustique de 9 herbiers de posidonie pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières méditerranéennes françaises dans le cadre de la DCE



### III.1.6. HERBIER DE LA CIOTAT

Le balisage de la limite inférieure est situé dans la baie de La Ciotat, dans une zone "de référence" exempte de tout impact anthropique majeur. L'herbier de la Baie de La Ciotat est le plus profond du département des Bouches-du-Rhône, sa limite inférieure étant située à -33 m de profondeur.

Sur le site caractérisé par la présence proche d'une bronde rocheuse, une ancienne balise du RSP a été trouvée, isolée, proche de la limite inférieure de l'herbier sans que son origine n'est pu être déterminée.



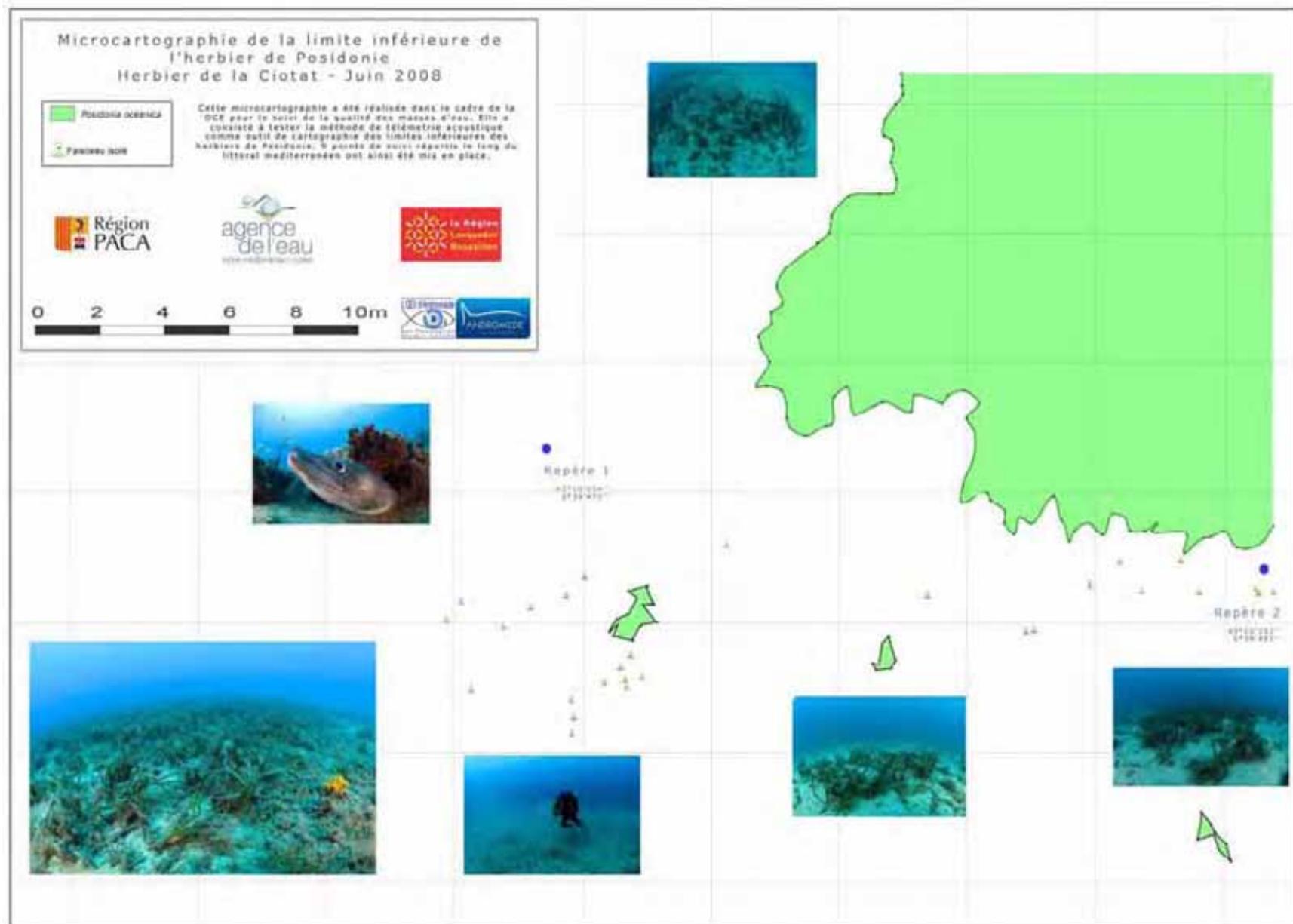
La limite inférieure de l'herbier est de type régressive avec présence de matte morte, recouverte par une pellicule de sédiment fin. L'herbier est clairsemé, avec présence de petites touffes et îlots de Posidonies. Toutefois, à quelques mètres en amont du balisage réalisé par télémétrie, l'herbier redevient quasiment continu et n'est plus morcelé en petites touffes. D'une manière générale, les rhizomes sont en majorité (60 à 70%) à croissance horizontale (plagiotropes). Le déchaussement est homogène (5cm) et la densité foliaire normale à sub-normale inférieure.

Station	A	B	C	E	F	G	H	I	J
Profondeur	32,1	32,1	32,3	31,9	32	32	31,6	31,7	31,7
Nb de Faisc/ 0,04m <sup>2</sup>	3	3	3	6	3	4	5	7	5
Nb de Faisc/ m <sup>2</sup>	75	75	75	150	75	100	125	175	125
Déchaussement	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>Moy/m<sup>2</sup></b>	150	166	150	150	83	141	166	50	141
<b>Classification</b>	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DSI	DN

**DSS : densité sub-normale sup. / DSI : densité sub-normale inf. / DN : densité normale**



Microcartographie par télémétrie acoustique de 9 herbiers de posidonie pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières méditerranéennes françaises dans le cadre de la DCE



### III.1.7. HERBIER DE BAGAUD (PORT CROS)

L'herbier de Posidonie se développe de manière quasiment continue autour du Parc national de Port-Cros et ceinture l'île, depuis la surface jusqu'à 30 à 37 m de profondeur pour une superficie de 1280 ha.

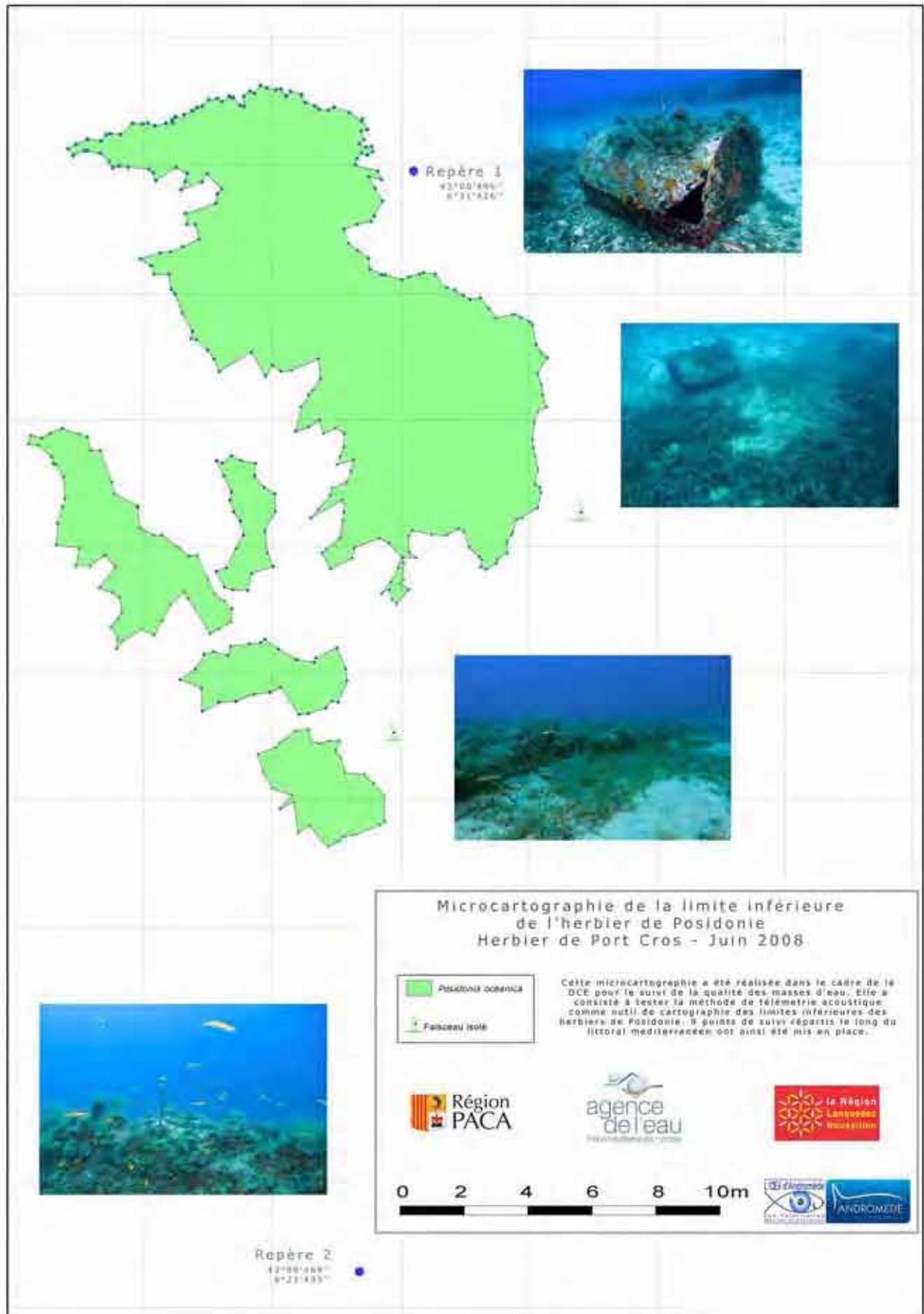
L'herbier est bien développé dans le secteur, depuis la côte jusqu'à sa limite inférieure, mais compte tenu de la pente forte des fonds, occupe une faible largeur. Il se présente en "herbier de plaine", et son aspect est « ondoyant » jusqu'à - 25 m. La limite inférieure est de type régressive, comme la majorité des limites inférieures de la région. Toutefois la limite est assez profonde et traduit la faible turbidité de la colonne d'eau.

La microcartographie a été réalisée au sud-ouest de Bagaud, dans une zone éloignée de toute source de perturbation, sur environ 32 mètres de profondeur. Au delà de l'herbier, très épiphyté, *Caulerpa racemosa* colonisait le détritique côtier.



Station	A	B	C	E	F	G	H	I	J	G	H	I	J
Profondeur	31	31,1	31	30.3	30	31	31	30.9	31.4	31.7	32	32.4	32
Nb de Faisc/ 0,04m <sup>2</sup>	4	8	6	6	6	5	6	7	4	4	6	4	5
Nb de Faisc/ m <sup>2</sup>	100	200	150	150	150	125	150	175	100	100	150	100	125
Déchaussement	5	5	5	9	5	5	5	10	10	10	10	20	10
Classification	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN





### III.1.8. HERBIER DE L'ESTEREL

La microcartographie a été mise en place à l'Est du massif de l'Esterel. L'herbier y est situé dans une "zone de référence", exempte de tout impact anthropique majeur, dans la zone du cantonnement du pêche.

Compte tenu de la profondeur élevée (28m), l'herbier montre un degré de morcellement important. La limite inférieure est constituée de petits îlots de Posidonies et de groupes de faisceaux isolés, répartis de manière éparse sur la matre morte. L'herbier présente donc un aspect très morcelé.

La limite est de type régressive, avec une étendue de matre morte au-delà de la limite actuelle de l'herbier, sur laquelle s'est développée l'algue invasive *Caulerpa racemosa*.



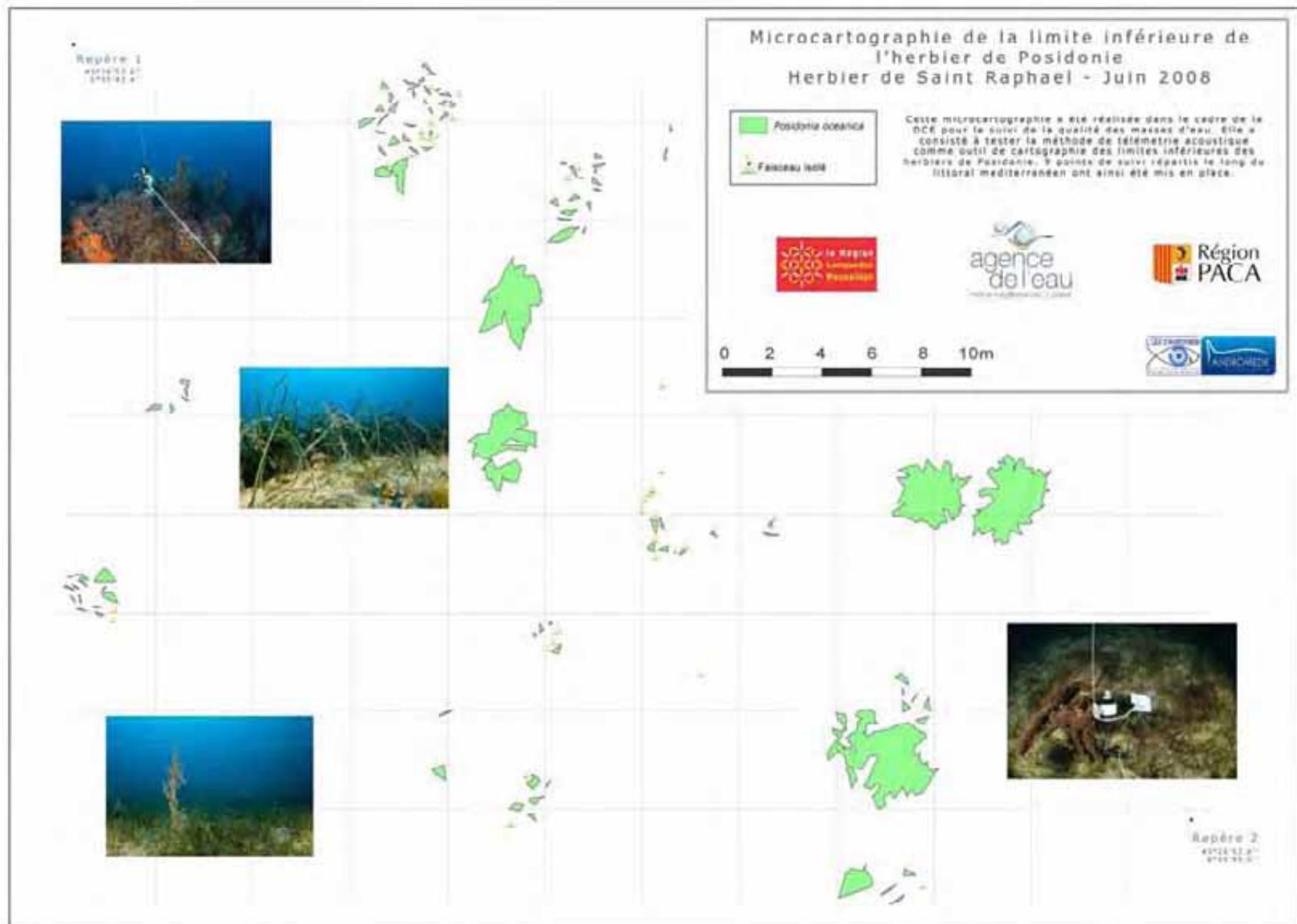
Les rhizomes sont en majorités plagiotropes (=traçants) et sont déchaussés (20 cm maximum). Les feuilles de Posidonies sont assez courtes et présentent une longueur d'environ 30 cm. Les densités foliaires sont élevées, de densité normale supérieure pour 6 réplcats sur 21.

A noter la présence en nombre important de cystoseires profondes.

Station	A	B	C	E	F	G	H	I	J	G	H	I
Profondeur	28	28	28	28	28	28	28	28	27	27	27	27
Nb de Faisc/ 0,04m <sup>2</sup>	8	6	5	17	17	12	7	12	16	10	12	8
Nb de Faisc/ m <sup>2</sup>	200	150	125	425	425	300	175	300	400	250	300	200
Déchaussement	15	15	15	20	10	15	25	5	15	15	15	15
Classification	DN	DN	DN	DSS	DSS	DN	DN	DN	DSS	DN	DN	DN



Microcartographie par télémétrie acoustique de 9 herbiers de posidonie pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières méditerranéennes françaises dans le cadre de la DCE



### III.1.9. HERBIER DE GOLFE JUAN

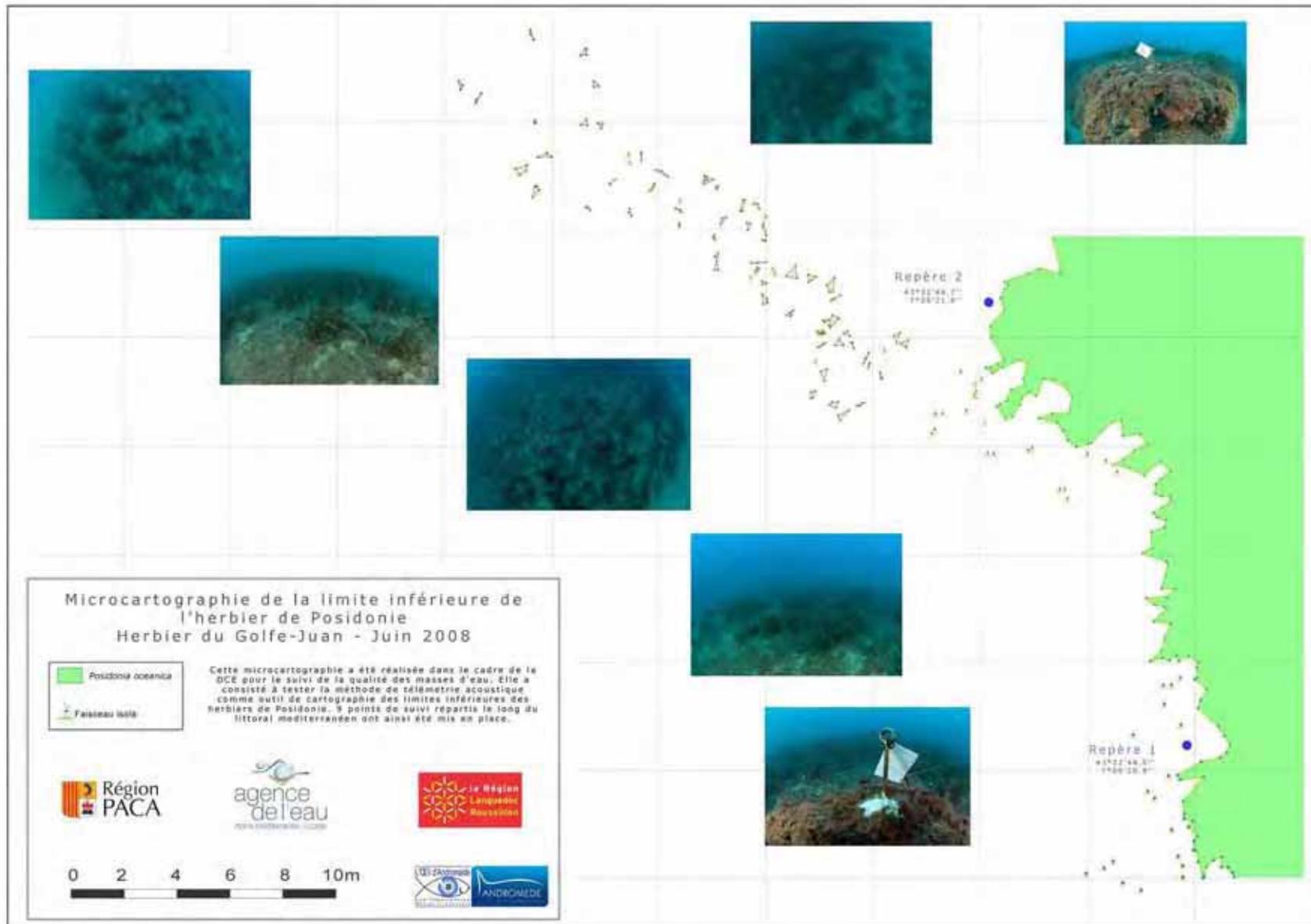
Le site est situé à l'Est du Golfe Juan. A 300m du site, des zones de dégradation très importantes ont été relevées dans l'herbier, particulièrement dans les zones de mouillage forain utilisées par les navires de grande plaisance.

La limite inférieure de l'herbier présente une dynamique régressive prolongée d'une étendue de matre morte ensablée et des posidonies éparses. Au niveau de la limite actuelle, l'herbier n'est pas continu, mais morcelé en une succession de touffes et d'îlots de Posidonies avec affleurements de coralligène. L'herbier est très épars, avec de nombreux faisceaux isolés, répartis en mosaïque sur la matre morte envasée de densité subnormale à normale. L'herbier est donc assez dégradé sur ce site et présente une faible vitalité d'ensemble. Les rhizomes sont majoritairement orthotropes et sont très déchaussés (10 à 15 cm), ce qui confère à l'herbier une plus grande fragilité.



Station	A	B	C	E	F	G	H	I	J	G	H	I
Profondeur	29.6	29.6	29.7	29.9	29.9	29.9	29.9	26.6	27	26.6	27.3	28.9
Nb de Faisc/ 0,04m <sup>2</sup>	8	8	6	8	7	6	5	8	5	4	1	4
Nb de Faisc/ m <sup>2</sup>	200	200	150	200	175	150	125	200	125	100	25	100
Déchaussement	10	8	10	10	15	15	10	10	15	10	10	20
Classification	DN	DN	DN	DN	DSS	DN	DN	DN	DN	DSI	DSI	DN





## IV. DISCUSSION

### IV.1. PRÉCISION DE LA MÉTHODE

#### IV.1.1. PRÉCISION *IN SITU* HORS MODE MOYENNE INTELLIGENTE

Sur le terrain, tous les points des microcartographies ont été relevés avec activation du mode moyenne intelligente sur 3 points (c'est à dire que le pointeur interroge la base 3 fois et calcule sa position à partir de 3 données cohérentes consécutives reçues. En cas de point incohérent il réinterroge la base 3 fois).

Cependant, afin d'évaluer la précision du système, un test a été réalisé sans activation du mode moyenne intelligente.

Le test a été effectué sur 4 points opposés par rapport à la base, distants de 37 mètres environ de la base. Cette distance est rarement dépassée dans le cadre d'une microcartographie d'herbier. Chaque point a été relevé 2 fois. Les résultats, illustrés ci-dessous, donnent une erreur mesurée variant de 3 à 8cm (en cohérence avec la précision absolue du système à 37m soit +/- 6,3cm).

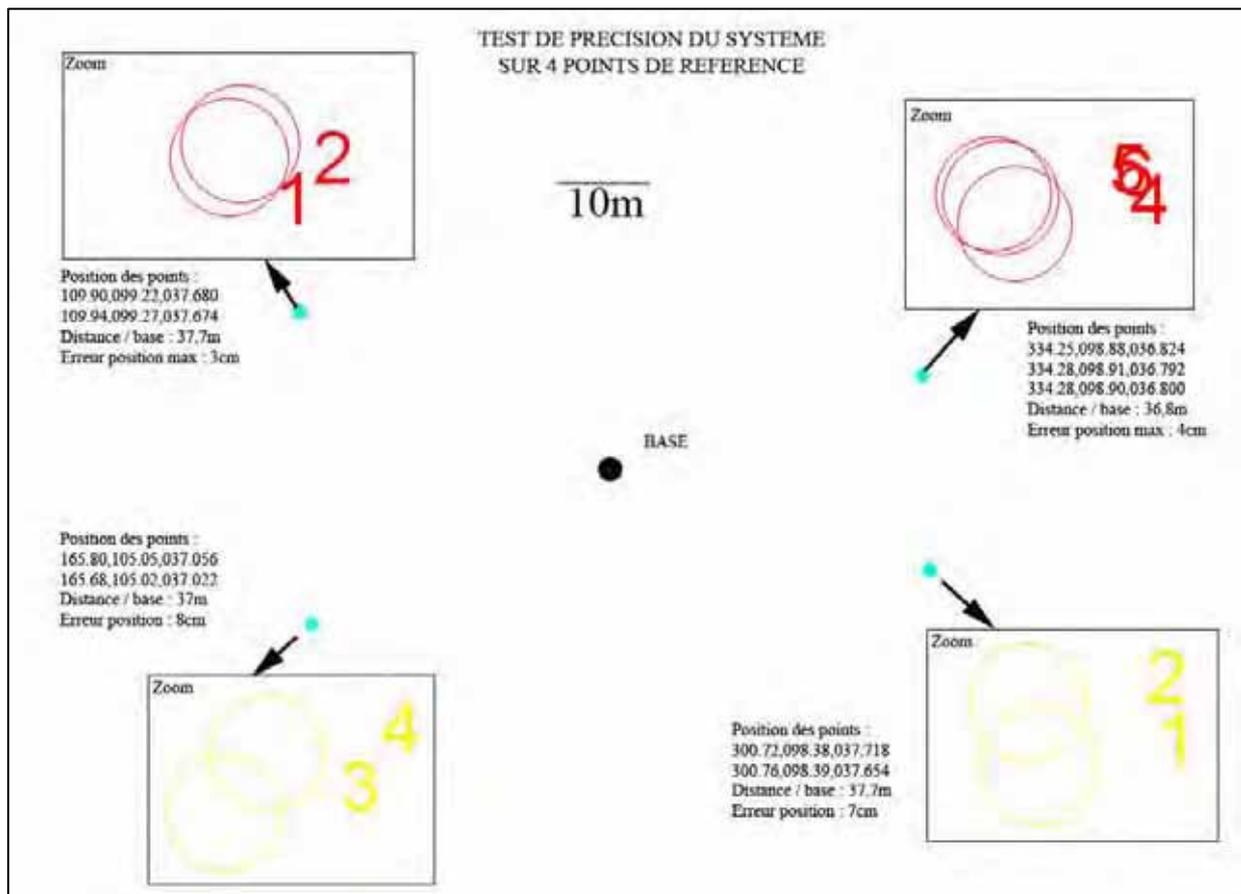


Figure 25 : test de précision du système en conditions réelles

#### IV.1.2. PRECISION IN SITU AVEC MODE MOYENNE INTELLIGENTE

Un test de précision équivalent avec activation du mode moyenne intelligente a été réalisé sur le site de Banyuls en comparant le positionnement de points remarquables. La répétition des mesures sur des points fixes, donne un résultat supérieur aux données de précision du constructeur (+/- 3 cm à 30m de la balise). Ce résultat est lié au moyennage des points.

A noter que cette précision des points, inhérente à la distance de la balise, est indiquée sur le résultat cartographique par des points en limite plus ou moins fins.

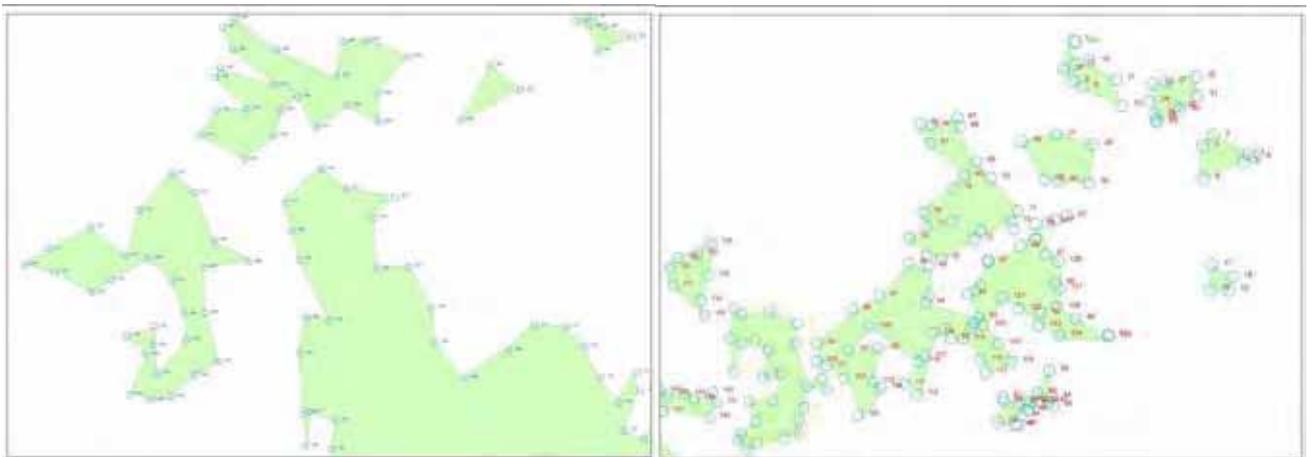


Figure 26 : Zoom au 1/10<sup>ème</sup> d'une même microcartographie. On remarque que les points proches de la balise (à gauche) sont plus fins, ceux plus éloignés (à droite) ont une représentation cartographique plus grossière.

#### IV.1.3. INTERPRÉTATION DES CONTOURS D'HERBIER

Si le pointage d'une extrémité d'un rhizome isolé est facile et non sujet à interprétation, suivre le contour d'une tâche d'herbier entre ces points remarquables peut entraîner des positionnements différents du fait d'un effet opérateur. De plus, la création de polygones joignant les points relevés par télémétrie n'est qu'une représentation de la réalité. On revient à la problématique de toute carte qui n'est qu'une représentation de la réalité « la carte n'est pas le territoire ».

Notre expérience sur l'herbier du Pin Parasol, montre **une précision 20cm sur l'ensemble des contours d'herbiers hors points remarquables**. Cette précision est liée à la manipulation du pointeur par l'opérateur qui peut interpréter différemment la forme de la limite de l'herbier et à la création des polygones. Cependant même si leur précision est moindre, la multiplication de ces points est une source précieuse d'information quand à la dynamique de l'herbier.

#### IV.1.4. COMPARAISON DE 2 BALISAGES D'UN MEME SITE REALISES SUR UN INTERVALLE DE TEMPS REDUIT

L'herbier de l'anse du Pin Parasol a fait l'objet de 2 balisages réalisés dans un intervalle de temps relativement réduit (Août 2006 et Juillet 2008). Cette répétition permet la comparaison et l'évaluation de la précision des 2 levés.

La création de polygones joignant les points relevés par télémétrie permet de calculer la surface d'herbier sur la zone de balisage. En 2006, pour une zone cartographiée de 1000 m<sup>2</sup>, le recouvrement de l'herbier estimé représentait 107m<sup>2</sup>. En 2008, le recouvrement estimé de l'herbier est de 109m<sup>2</sup>. **Soit une différence de 2% en terme de surface.** Les deux levés ayant été réalisés sur une période relativement courte et durant laquelle il n'a pas été relevé d'événements majeurs ayant pu influencer de manière significative sur la croissance ou la dégradation de l'herbier, **cette donnée donne une valeur globale de l'erreur inhérente à la méthode de microcartographie par télémétrie acoustique<sup>2</sup>.**

**Cette précision du levé, particulièrement élevée, s'explique par le nombre très important de points relevés (environ 900 sur le site de Banyuls).**

On remarque en comparant les deux microcartographies que certaines très petites taches d'herbier présentes en 2006 sur la partie Est de l'herbier (la plus profonde) entre les balises 8 et 9 ne sont pas relevées en 2008. Ceci pourrait être le signe d'une régression en limite inférieure. Ce type d'observation n'est possible qu'en comparant les microcartographies. L'observation des balises ne renseigne pas sur ces petites taches éloignées des balises.



Figure 27 : Il est possible de renseigner plusieurs couches afin d'identifier séparément les points délimitant l'herbier, mais également les faisceaux isolés, les piquets pour le suivi, des espèces remarquables comme par exemple la grande Nacre (*Pinna nobilis*).

<sup>2</sup> En 2 ans certains rhizomes ont pu localement être détruits, ou croître faiblement. La mesure de précision donnée sur l'ensemble de l'herbier intègre ces micro-variations.

Microcartographie par télémétrie acoustique de 9 herbiers de posidonie pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières méditerranéennes françaises dans le cadre de la DCE

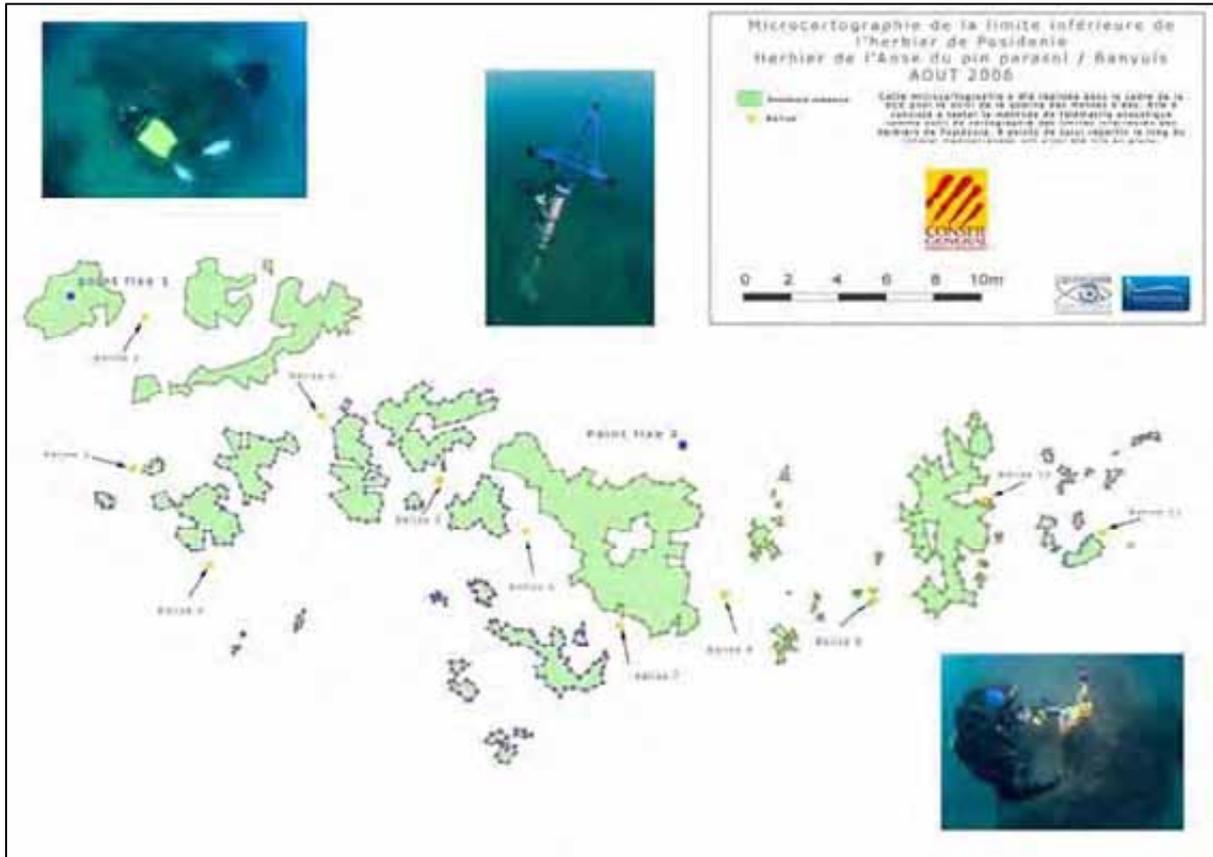
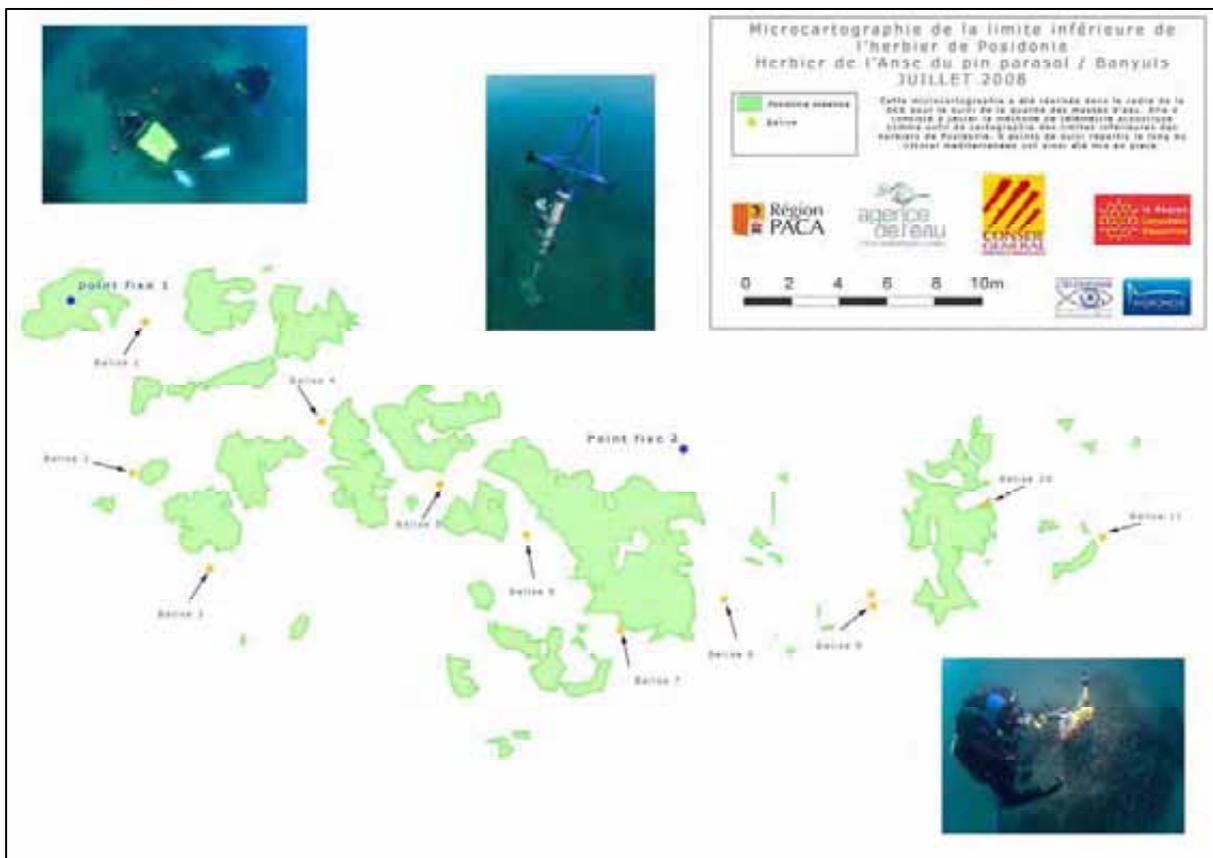


Figure 28 : deux levés d'un même site réalisés à deux ans d'intervalle

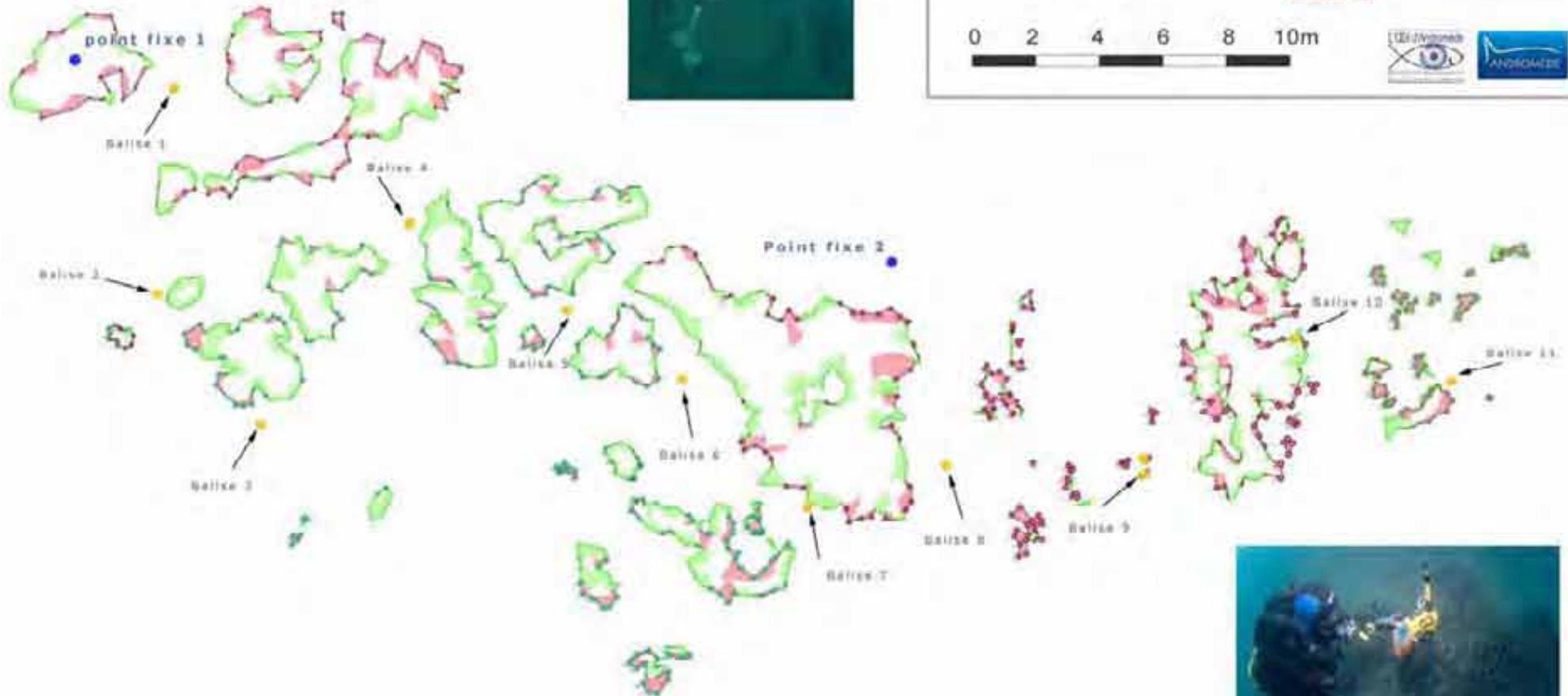




## Evolution de l'herbier de l'Anse du pin parasol / Banyuls entre Aout 2006 et juillet 2008



Cette microcartographie a été réalisée dans le cadre de la DCE pour le suivi de la qualité des masses d'eau. Elle a consisté à tester la méthode de télémétrie acoustique comme outil de cartographie des limites inférieures des herbiers de Posidonia. 9 points de suivi répartis le long du littoral méditerranéen ont ainsi été mis en place.



Les zones en vert indiquent la progression, en rouge la régression de l'herbier

## IV.2. ADAPTABILITE DE LA TELEMETRIE AUX DIFFERENTS TYPES DE LIMITES

Un des objectifs de la présente étude était de tester la méthode sur une grande diversité de limites inférieures afin d'en tester l'adaptabilité. Les caractéristiques des 9 herbiers sont données ci-dessous :

Site	Prof. limite inférieure	Type d'herbier et de limite
Banyuls sur mer	19,6m	Herbier en taches, limite régressive
Agde	7m	Herbier en taches, limite franche à fort recouvrement
Palavas-les-flots	10m	Herbier en taches, limite régressive
Côte bleue	30,2m	Herbier continu, limite clairsemée
Marseille	20,3m	Herbier en taches, limite franche à fort recouvrement
La Ciotat	32,1	Herbier continu, limite clairsemée
Port Cros	31,2	Herbier continu, limite franche à faible recouvrement
Saint Raphaël	27,5	Herbier continu, limite régressive
Golfe Juan	28,7	Herbier continu, limite régressive

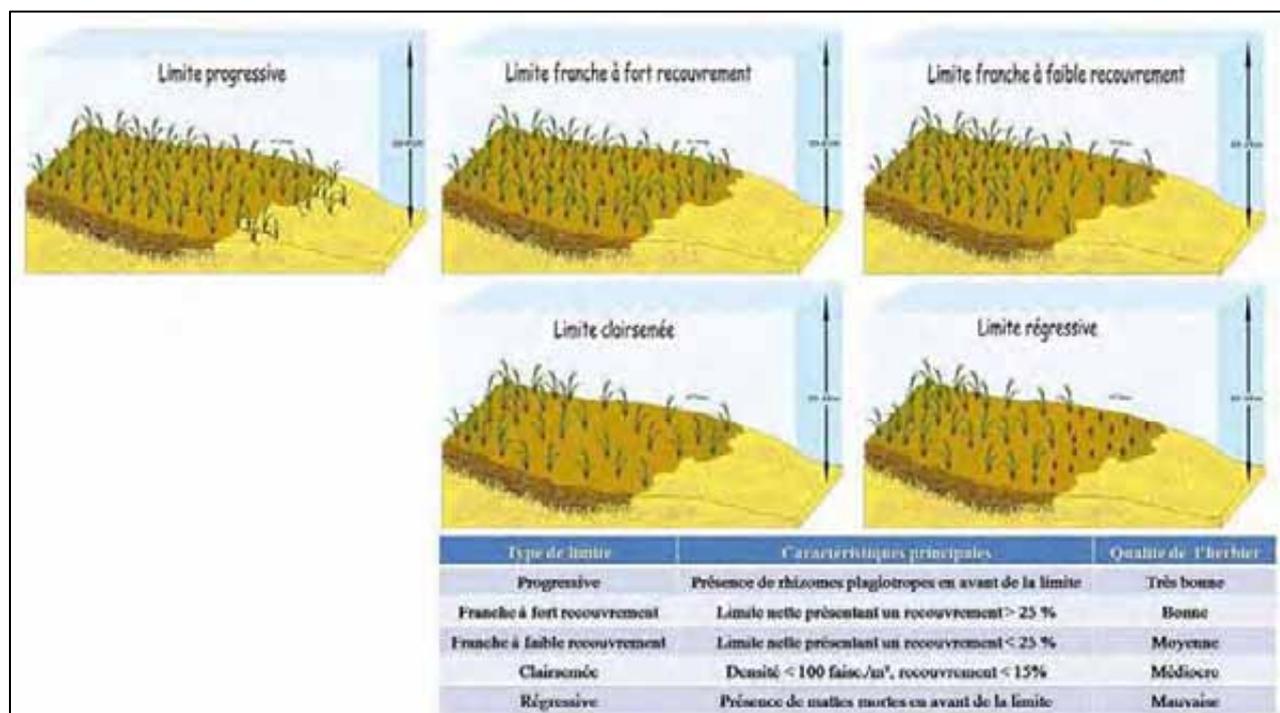


Figure 29 : les différents types de limites d'herbier de posidonie (Pergent *et al.* 2008)

#### IV.2.1. LIMITES FRANCHES

La stratégie de pointage doit être adaptée à la configuration de l'herbier et de sa limite. En cas de limite franche, il est aisé de suivre la base des rhizomes sur un linéaire (herbier continu) ou en balisant toutes les taches d'herbier présentes sur une surface (herbier en tache). Dans le cadre de cette étude, cette stratégie a été adoptée pour les herbiers de Marseille, Port Cros, et Golfe Juan (partie Est).

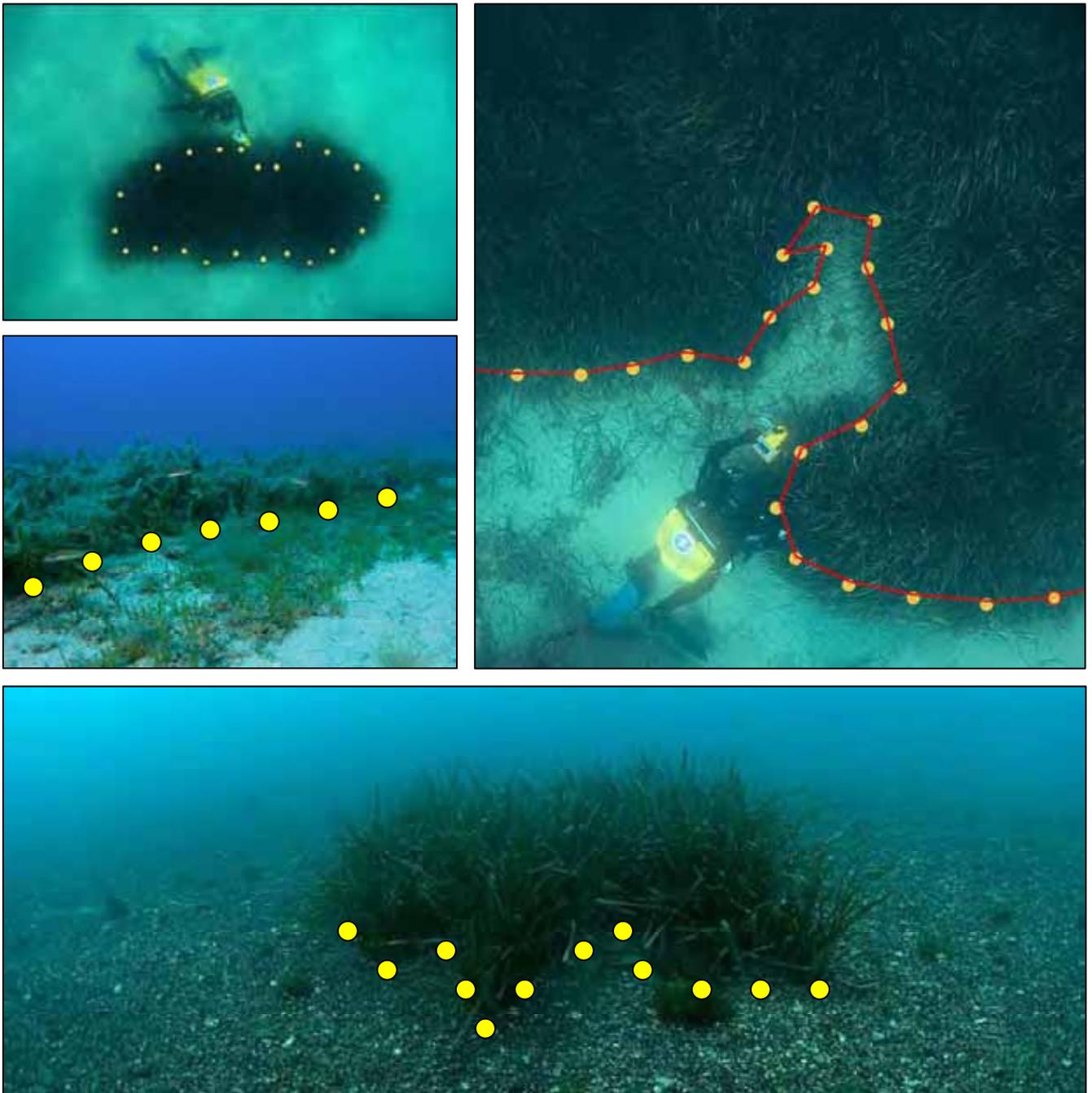


Figure 30 : positionnement des points en limite d'herbiers

#### IV.2.2. LIMITES CLAIRSEMÉES

Souvent la limite inférieure des herbiers est diffuse et clairsemée. Des faisceaux isolés ou en petites tâches se développent sur des surfaces pouvant être considérables. Dans ce cas, il peut être nécessaire de se limiter à une surface donnée. Le cas s'est posé de façon particulièrement prégnante pour l'herbier de Golfe Juan qui présentait une multitude de groupes de faisceaux séparés par de la matte morte. Dans ce cas, le choix a été fait de baliser tous les groupes de faisceaux sur une bande de 5m en limite inférieure.

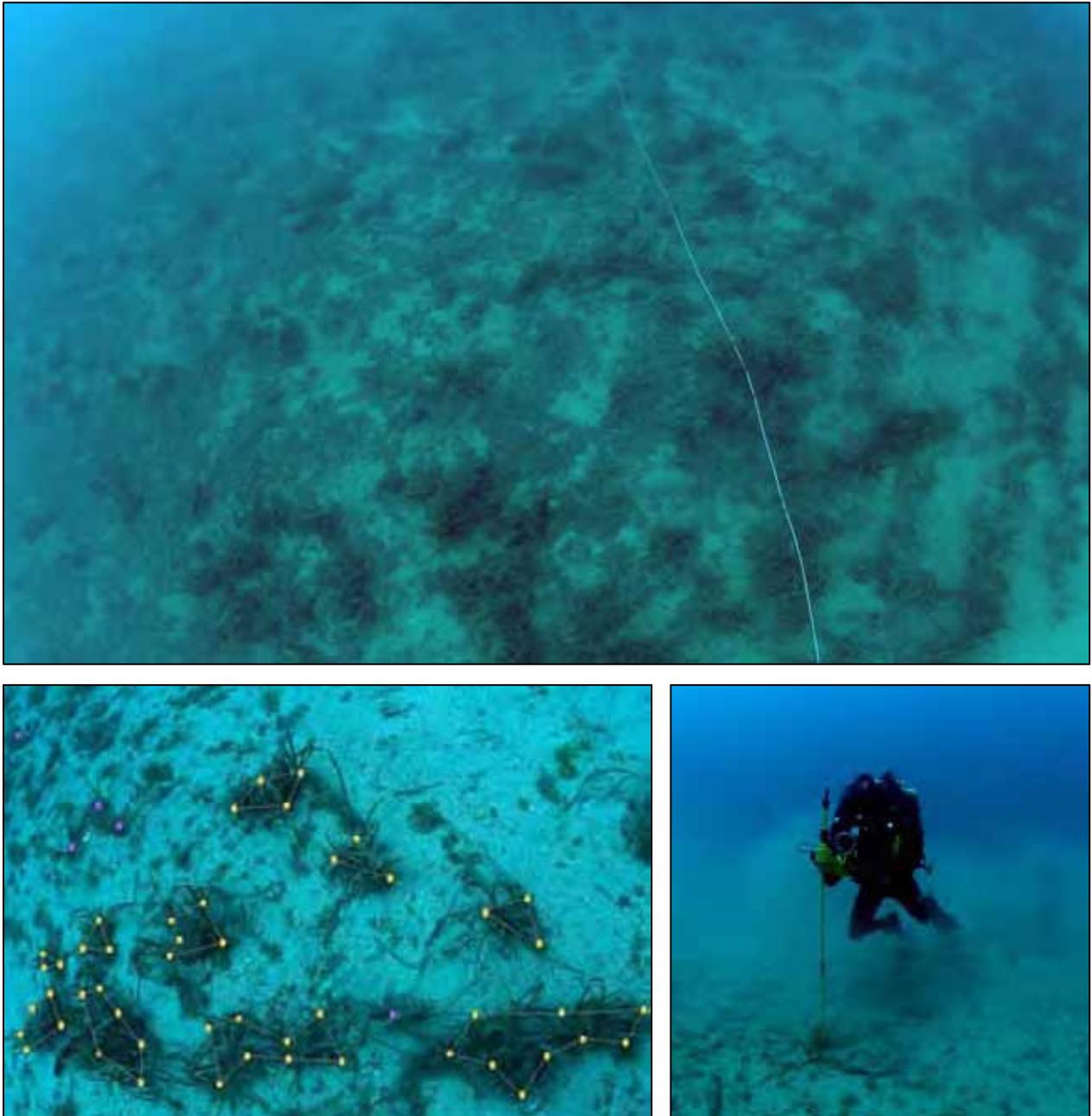


Figure 31 : balisage sur limite diffuse

### IV.3. PERENNITE DES BALISAGES

Les points permanents sont constitués de pitons d'escalade en inox, fixés dans la roche à l'aide d'un ciment chimique bi-composants. D'une manière générale, Les points fixes doivent être situés sur des formations caractéristiques afin d'être facilement repérables. 2 points fixes suffisent au suivi mais on peut multiplier ces points pour sécuriser le suivi.

La mise en place des points fixes est une phase cruciale du balisage et leur facilité de mise en place (présence de formation rocheuse remarquable) doit influencer sur la localisation des balisages.



Figure 32 : point fixe utilisé pour les microcartographies

Il est à remarquer cependant que dans certains cas d'herbiers en taches (herbier de l'anse du pin parasol), ou situés sur des sites facilement reconnaissables (Golfe Juan, La Ciotat), on pourrait éventuellement se passer de points fixes, l'herbier étant alors repéré par la forme de ses différentes tâches.



Figure 33 : utilisation d'un point remarquable à Port Cros

#### IV.4. TEMPS NECESSAIRE POUR LA MISE EN ŒUVRE D'UN BALISAGE PAR TELEMETRIE ACOUSTIQUE

La mise en place d'un balisage par télémétrie acoustique nécessite la mobilisation de :

- Une équipe de 3 ou 4 personnes (2 plongeurs, 1 pilote, 1 plongeur de sécurité, pouvant être réduite dans certains cas à 3 personnes si lien physique du plongeur avec la surface ou équipe de travailleurs indépendants) ;
  - Un navire support plongée type semi-rigide
  - Le système de positionnement (pointeur, base, mat et assise)
  - Le nécessaire de mise en place des points fixes (pitons, ciment chimique, maillet, burin).
  - Le matériel de plongée
  - Le matériel de prise de vue sous-marin
  - Un logiciel de SIG ou de CAO.
- Un système GPS sous-marin est utile pour le repérage des points fixes. A défaut on peut utiliser des bouées surface.

La mise en place d'un balisage par télémétrie acoustique, comme la réalisation d'un point de suivi peut être réalisée en une journée. Un balisage nécessite un temps de travail sous-marin, d'environ 5h.

L'organisation d'une mission embarquée telle que celle qui a été organisée pour cette étude, permet de limiter les temps de logistiques et de réaliser un nombre important de balisages en un temps réduit.

La facilité et la rapidité de mise en œuvre de balisages et les premiers résultats produits ont suscité l'intérêt des gestionnaires. Cet intérêt se traduit par l'existence hors programme coordonné type RSP de 22 points de suivis sur les côtes méditerranéennes françaises.



Figure 34 : 22 balisages sont actuellement en place sur le littoral français méditerranéen

## V. CONCLUSION



Le présent projet apporte une contribution concernant l'utilisation des herbiers de posidonie comme bio-indicateurs de la qualité des masses d'eau côtières. La télémétrie acoustique est en effet un nouvel outil de suivi des limites d'herbier, précis et affranchi des difficultés liées à la présence de balises immergées permanentes.

9 microcartographies fines de portions de limites inférieures d'herbiers particulièrement sensibles aux perturbations des masses d'eaux côtières ont été réalisées et balisées de manière à être reproductibles. Ces cartographies seront répliquables dans le futur et constituent d'ores et déjà un état de référence.

Une valeur globale de l'erreur inhérente à la méthode de microcartographie par télémétrie acoustique lors d'un premier suivi sur Banyuls a montré une différence de seulement 2% en terme de surface pour une zone cartographiée de 1000 m<sup>2</sup> et un recouvrement d'herbier d'environ 100m<sup>2</sup>. Ce taux très faible a été permis grâce aux nombreux points relevés (environ 900 avec un pas d'échantillonnage compris entre 20 et 50cm, précision unitaire inférieure à 20cm). A noter la précision des points remarquables qui donne un résultat supérieur aux données de précision du constructeur (+/- 3 cm à 30m de la balise au lieu de +/- 5cm pour les données constructeur avec mode moyenne intelligente sur 3 points).

La variété des herbiers microcartographiés (en tâche, à limite franche ou éparses, etc.) a permis de tester et de valider l'adaptabilité de la microcartographie par télémétrie acoustique aux différents types de limites.

Suite à cette expérience, il paraît utile de synthétiser les avantages et les inconvénients présentés par la télémétrie acoustique par rapport à la technique classique par balises :

Avantages :

- La précision des microcartographies par télémétrie acoustique est estimée à +/- 3cm par point remarquable à 30m de la balise et 20cm pour les contours sur l'ensemble de l'herbier. La précision des points est indiquée sur la cartographie par la finesse des points.
- Le nombre de points relevés est considérable (entre 300 et 700 généralement, jusqu'à plus de 900 sur certains sites du Languedoc-Roussillon) à comparer aux 12 balises utilisées habituellement.
- Elle ne nécessite pas une connaissance préalable de l'herbier à suivre. En effet, l'étude a montré qu'elle est applicable quel que soit le terrain et n'est donc pas tributaire de l'épaisseur de la matrice, de la nature du sol, des conditions hydro-climatiques et du passage des arts traînants ni de la nature de la limite inférieure.
- Le protocole de mise en place présente une certaine rapidité et ne nécessite pas la manipulation d'objets pesants.
- Le balisage ne perd pas en précision si l'herbier régresse ou progresse.
- La mise en évidence d'éventuels mouvements sédimentaires, lors du balisage standard, se fait traditionnellement à l'aide d'un profondimètre. Ce dernier s'avère inutile dans la télémétrie acoustique puisque l'appareil tient compte de l'altitude du point. La mesure gagne en précision passant de  $\pm 10$  cm, par l'utilisation d'un profondimètre, à  $\pm 2$  cm. La précision de ces mesures est importante quand on sait que ces mouvements sédimentaires sont de l'ordre du cm.
- Le positionneur acoustique bénéficie d'une option lui permettant d'utiliser jusqu'à 8 pointeurs en même temps, la vitesse des relevés est alors multipliée d'autant.
- La télémétrie ne rencontre pas les problèmes encourus par la pose d'un balisage permanent à savoir le déplacement voire l'arrachage des balises au cours des suivis successifs et laisse de surcroît, le milieu pratiquement intact (seuls deux points fixes type piton inox sont fixés sur le site du balisage). Peu de risque de perte du balisage, celui-ci étant sauvegardé sur plusieurs disques durs.

Inconvénients :

- Coût élevé pour l'acquisition ou la location du matériel. Ceci doit être modéré par le fait que ce coût ne constitue qu'une faible partie prix d'une opération de balisage (l'essentiel des frais étant représenté par la mobilisation de l'équipe de plongeurs).
- Le principe acoustique mis en œuvre peut être affecté par des conditions particulières de propagation rares : fort gradient local de température (thermocline très prononcée), variation locale de salinité et de température (estuaire, résurgence d'eau douce...).
- Le télémètre fonctionne beaucoup plus lentement dans un environnement bruyant (bruit de respiration lié au détendeur, bruit de moteur...)
- Impossibilité d'utilisation dans les très petits fonds (< à -2m).

Evolutions possibles :

- Développer l'utilisation de la 3D. Chaque point étant repéré en xyz, on pourrait envisager de réaliser un quadrillage de la topographie du fond sur l'ensemble de la zone cartographiée. On aurait alors à la fois une indication de l'évolution de l'herbier dans le temps (différents suivis) mais également dans l'espace et ainsi apporter des informations supplémentaires sur les causes éventuelles de sa régression.

Le suivi des herbiers de posidonie par télémétrie acoustique produit des microcartographies précises, répliquables et aisées d'interprétation. Ceci explique sans doute que les gestionnaires en fassent une utilisation de plus en plus répandue, même en l'absence de réseau établi, puisque des balisages sont d'ores et déjà en place à Monaco, Port Cros, Saint-Raphaël, Littoral des maures (6), Rade de Toulon (3) La Ciotat, Antibes, Marseille, Golfe d'Aigues-Mortes (4), Agde, Banyuls (2) soit au total 22 sites répartis sur le littoral français.

## VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AUGIER H., NIERI M., GILLI A., MARTINET P., STEPHAN G., 1984. Balisages et cartographie de l'herbier à posidonies au droit des plages artificielles de la baie de la ciutat (Bouches-du-Rhône, France). International Workshop on Posidonia oceanica beds, BOUDOURESQUE C. F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 79-85.
2. BALLESTA L., 1997 Contribution à la caractérisation des biocénose benthiques de la côte des Albères. Mémoire DESS., Univ. Corse : 39 p
3. BALLESTA L., PERGENT G., PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., 2000. Distribution and dynamics of Posidonia oceanica beds along the Albères coastline. C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie / Life Sciences 323 : 407-414.
4. BAY D., 1978. Etude in situ de la production primaire d'un herbier de posidonie, Posidonia oceanica (L.) Delile, dans la baie de Calvi, Corse. Thèse Fac. Sci., univ. Liège : 1-251.
5. BEDHOMME, A.L., THELIN, I. BOUDOURESQUE, C.F., 1983. Mesure de la production primaire des feuilles de Posidonia oceanica : modification de la méthode de ZIEMAN. Bot. mar., Dtsch, 26 : 35-43.
6. BELL J., HARMELIN-VIVIEN M.L., 1982. Fish fauna of french mediterranean Posidonia oceanica seagrass meadows. 1. Community structure. Tethys, 10(4) : 337-347.
7. BLANC J.J., 1958. Recherches de sédimentologie littorale et sous-marine en Provence occidentale. Thèse Fac. Sci. Univ. Paris, Masson Edit., Fr. : 1-140.
8. BLANC J.J., JEUDY DE GRISSAC A., 1984. Erosions sous-marines des herbiers à Posidonia oceanica (Méditerranée). International Workshop on Posidonia oceanica beds, BOUDOURESQUE C. F., JEUDY DE GRISSAC A. & OLIVIER J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 23-28.
9. BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G, BONHOMME P., CHARBONNEL E., GIOVANNI D., MEINEZ A. (5), PERGENT G. (6), PERGENT-MARTINI C., RUITTON S. & TUNZSI L., 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE pub. : 1-202. N° ISBN 2-905540-30-3.
10. BOUDOURESQUE C.F., GRAVEZ V., MEINESZ A., MOLENAAR H., PERGENT G., VITIELLO P., 1994. – L'herbier à Posidonia oceanica en Méditerranée : protection légale et gestion. Pour qui la Méditerranée au 21<sup>e</sup> siècle? Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée, Montpellier, Fr. : 209-220.
11. BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., 1983. L'herbier à Posidonia oceanica en Méditerranée : Les interactions entre la plante et le sédiment. J. Rech. Océanogr., 8 (2-3) : 99-122.
12. BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., MEINESZ A., 1984. Relations entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de Posidonia oceanica dans la baie d'Elbu (Corse). International Workshop on Posidonia oceanica beds, BOUDOURESQUE C. F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 185-191.
13. BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1982. Découverte de l'herbier de posidonies. Cahier Parc Nat. Port-Cros, Fr., 4 : 1-79.
14. BOUDOURESQUE C.F., THOMMERET J., THOMMERET Y., 1980. Sur la découverte d'un bioconcrétionnement fossile intercalé dans l'herbier à Posidonia oceanica dans la baie de Calvi (Corse). Journées Etude. Systèm. Biogéogr. médit., Cagliari, CIESM.: 139-142.
15. CAYE G. 1980.- Sur la morphogenèse et le cycle végétatif de Posidonia oceanica (L. Delile). Thèse doctorat 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Aix-Marseille II, Fr. : 1-121.
16. CENTENE L., 1992. Cartographie des herbiers à Posidonia oceanica en baie de Peyrefite - Proposition de gestion des mouillages. DESS, Université de Corte, Fr. : 1-84.

17. CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., BONHOMME P., BERNARD G., PATRONE J., KRUCZEK R., COTTALORDA J.M., BERTRANDY M.C., FORET P., BRICOUT P., RAGAZZI M., MARRO C., SERRE C., LE DIREAC'H L., 2001. - Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur : résultats du suivi 2001. Région PACA/Agence de l'Eau RMC/GIS Posidonie/COEL 13/COEL 83/Conseil Général 06. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-119.
18. CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., BERNARD G., BONHOMME P., PATRONE J., KRUCZEK R., COTTALORDA J.M., BERTRANDY M.C., FORET P., RAGAZZI M., LE DIREAC'H L., 2000. - Le Réseau de Surveillance Posidonie de la Région Provence-Alpes-Côtes d'Azur. Première partie : Présentation et guide Méthodologique. Année 2000. Région PACA/ Agence de l'eau RMC/GIS Posidonie/COEL 13/COEL 83/Conseil Général 06. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-76.
19. CHRAIBI F., 1987. Dynamique des populations des principaux crustacés de l'herbier de phanérogames marine *Posidonia oceanica* (L) Delile au Parc national de Port-Cross (Méditerranée, France). Thèse Doc. 3e Cycle Ecol. Mar., Fac. Sci. Univ. Aix-Marseille III : 1-126 + 42 Tabl. + 76 Fig. h.t.
20. CINELLI F., COLANTONI P., FRESI E., SOLAINI P., 1974. La prateria sommersa. Subacqueo. 1 (9) : 19-21.
21. DESCAMP P., BALLESTA L. HOLON F., 2007. Suivi de deux herbiers de posidonie dans la Réserve de Cerbère-Banyuls : *Baie de Tancade et Anse du Pin parasol*. Contrat Conseil Général des Pyrénées Orientales. L'Œil d'Andromède publ.
22. DESCAMP P., PERGENT G., BALLESTA L., FOULQUIE M., 2005. Underwater acoustic positioning systems as tool for *Posidonia oceanica* beds survey. Compte Rendus Biologies de l'Académie des Sciences. C.R. Biologies 328 (2005) 75-80.
23. DESCAMP P., BALLESTA L. FOULQUIE M. BOUILLAC G. 2003. Etude et balisage de l'herbier de Posidonie de Tancade (RNM Cerbère-Banyuls) par télémétrie acoustique. L'œil d'Andromède publ.
24. DREW E.A., JUPP B.P., 1976. Some aspects of the growth of *Posidonia oceanica* in Malta. Underwater Research, Academic Press, London, p. 357-367.
25. GAMBÌ M.C., BUIA M.C., CASOLA E., SCARDI M., 1989. Estimates of water movement in *Posidonia oceanica* beds : a first approach. International Workshop on *Posidonia* Beds, BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., FRESI E., GRAVEZ V. edit., GIS Posidonie publ., 2 : 101-112.
26. GIORGI J., THELIN I., 1983. - Phénologie, biomasse et production primaire de *Posidonia oceanica* (feuilles et épiphytes) dans la baie de Port-Cros. Lab. Ecol. Benthos, Fac. Sci. Luminy, Univ. Aix-Marseille II et Parc nation. Port-Cros, France, 126 p.
27. GIRAUD G., 1980. synthèse cartographique des herbiers de Posidonies (*Posidonia oceanica*) entre Fos-sur-Mer et la rade d'Hyères. Rapp. Contrat DCAN Toulon/Université Aix-Marseille II, N° C 79 48 869 512 : 43 p.
28. HARMELIN-VIVIEN M.L., 1983. Etude comparative de l'ichtyofaune des herbiers de phanérogames marines en milieu tropical et tempéré. Rev. Ecol. (Terre Vie), 38 : 179-210.
29. HARTOG C. Den, 1970. The seagrass of the world. North Holland publ., Co, Amsterdam, Pays-Bas : 1-275 + 31 pl. h.t.
30. HOLON F., DESCAMP P., 2008. Surveillance de l'herbier de Posidonie par télémétrie acoustique - Année 2008. Observatoire Marin - Sivom du Littoral des Maures.
31. JEUDY DE GRISSAC A., BOUDOURESQUE C.F., 1985. Rôle des herbiers de phanérogames marines dans les mouvements des sédiments côtiers : les herbiers à *Posidonia oceanica*. Colloq. Fr-jap. Oceanogr., Marseille 16-21 Sept., 1 : 143-151.
32. JOUVENEL J.Y., 1997. Ichtyofaune de la côte rocheuse des Albères (Méditerranée N.O., France). Thèse doct. Ecole pratique des hautes études - Lab. Ichtyoécologie Tropicale et Méditerranéenne. 293 p.

33. KHOURI C., 1987. – Ichthyofaune des herbiers de posidonies dans le parc national de Port-Cros : Composition, éthologie alimentaire et rôle dans le réseau trophique. Thèse doctorat 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Aix-Marseille II, France, 230 p.
34. KIKUCHI T., PERES J.M., 1973. – Animal communities in the seagrass bed : a review. In : International Seagrass Workshop, Leiden, Netherlands, 27 p.
35. LAUBIER L., 1966. Le coralligène des Albères – Monographie biocénotique. Thèse Doct. Univ. Paris VI : 316 p. + 2 cartes.
36. LIBES M., BOUDOURESQUE C.F., PLANTE-CUNY M.R., 1983. – Preliminary data on the production of *Posidonia oceanica* and of its epiphytes in the bay of Port-Cros (Var, France). Rapports et procès-verbaux des réunions. Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer méditerranée, Monaco, 28 (2) : 133-134.
37. MEDARD J. 2003. AQUA-METRE D100, portable underwater metrology system for dive » RSPSoc symposium, Portsmouth April 9, 2003.
38. MEINESZ A., 1977, Balisage de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* en rade de Villefranche-sur-mer (Alpes-Maritimes, France). Rapp. P. V. Réunions Commiss. internation. Explor. Sci. Mer médit., 24 (6) : 143-144.
39. MEINESZ A., ASTIER J.M., LEFEVRE J.R., 1981. Impact de l'aménagement du domaine maritime sur l'étage infralittoral du Var (France, Méditerranée occidentale). Ann. Inst. Océanogr. Paris, Fr., 57 (2) : 65-77.
40. MEINESZ A., LAURENT R., 1978, Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes (France) - Campagne Poseïdon 1976. Botanica Marina, Vol. XXI, pp. 513-526.
41. MOLENAAR H., 1992.- Etude de la transplantation de boutures de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, phanérogame marine. Modélisation de l'architecture et du mode de croissance. Thèse Doctorat, Univ. Nice-Sophia-Antipolis, Fr. : 1-221.
42. MOLINIER R., PICARD J., 1952. Recherches sur les herbiers de phanérogames marines sur le littoral méditerranéen français. Ann. Inst. Océanogr., Paris, 27 (3) : 157-234.
43. NOZAIS C., 1995. Impact des processus biologiques et des paramètres physiques sur la présence planctonique des larves d'invertébrés benthiques et sur le recrutement en baie de Banyuls. Thèse Doct. Univ. Paris VI : 224 p.
44. PANAYOTIDIS P., BOUDOURESQUE C.F., MARCOT-COQUEUGNIOT J., 1981. Microstructure de l'herbier de *Posidonia oceanica*. Botanica marina, Allemagne, 24 (3) : 115-124.
45. PASQUALINI V., 1997. Caractérisation des peuplements et types de fonds le long du littoral Corse (Méditerranée, France). Thèse Doctorat, Univ. Corse : 1-190.
46. PERES J.M., PICARD J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. Rec. Trav. Stat. mar. Endoume, Fr., 31 (47): 5-137.
47. PERGENT G., LEONARDINI R., LOPEZ Y., ROYO C., MIMAUULT B., PERGENT-MARTINI C., 2008. Mise en œuvre d'un réseau de surveillance posidonies le long du littoral de la Corse – Rapport de synthèse. Contrat Office de l'Environnement de la Corse et GIS Posidonie Publ. Corse : 1 – 273 & CD Rom.
48. PERGENT G., 1991. Les indicateurs écologiques du milieu marin en Méditerranée. Oceanis, 17 (4) : 341-350.
49. PERGENT G., BOUDOURESQUE C.F., THELIN I., MARCHADOUR M., PERGENT-MARTINI C., 1991. Map of benthic vegetation and sea-bottom types in the harbour at Banyuls-sur-Mer (P.O., France). Vie Milieu, 41 (2/3) : 165–168.
50. PERGENT G., BOUDOURESQUE C.F., VADIER B., 1985. Etude préliminaire des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la côte des Albères (Pyrénées-Orientales, France). Ann. Inst. Océanogr., Fr., N.S., 61 (2) : 97-114.

51. PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1995. Indicateurs biologiques : Posidonies. Etat des connaissances opérationnelles sur la contamination et les indicateurs de pollution chimique toxique du milieu marin. Résumé des contributions. IARE publ., Fr. : 123-135.
52. PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme Indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : Etat des connaissances. *Mésogée*, 54 : 3-27.
53. PERGENT-MARTINI C., 1994. Impact d'un rejet d'eaux usées urbaines sur l'herbier à *Posidonia oceanica*, avant et après la mise en service d'une station d'épuration. Thèse Doctorat univ. Corte, Corse : 1-191.
54. PERGENT-MARTINI C., RICO-RAIMONDINO V., PERGENT G., BOUDOURESQUE C.F., BOUQUEGNEAU J.M., ARNOUX A., 1993. Mémorisation des métaux-traces par *Posidonia oceanica*. Qualité du milieu marin – Indicateurs biologiques et physico-chimiques. BOUDOURESQUE C.F., AVON M., PERGENT-MARTINI C. edit., GIS Posidonie publ., Fr. : 105-120.
55. RICO-RAIMONDINO V., 1995. – Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica*. Thèse Doctorat d'Ecologie, Univ. Aix-Marseille II, Fr. : 1-248.
56. ROUAULT C., 1971.- Etude dynamique des eaux du plateau continental dans la région de Banyuls-sur-Mer. Thèse doct., Univ. Paris VI : 220 p.
57. VELIMOROV B., 1984. – Grazing of *Sarpa salpa* L. on *Posidonia oceanica* and utilization of soluble compounds. 1: 381-387. In: International Workshop on *Posidonia oceanica* Beds, BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J., (éds.), GIS Posidonie publ., Fr.
58. WEINBERG S., 1978. Mediterranean Octocorallian communities and the abiotic environment. *Mar. Biol.*, 49 : 41-57.
59. WEINBERG S., 1979. Autoecology of shallow-water octocorallia from Mediterranean rocky substrata. I. The Banyuls area. *Bijdr. Dierk.*, 49 (1) : 1-15.
60. WILLSIE A., 1987. – Structure et fonctionnement de la macrofaune associée à la matre morte et d'herbier vivant de *Posidonia oceanica* (L.) Delile : influence des facteurs abiotiques et biotiques. Thèse Doctorat océanographie, Univ. Aix-Marseille II, Fr., 647 p.

## VII. ANNEXES

### VII.1. MESURES COMPLEMENTAIRES RELEVÉES SUR LES SITES

Mesures complémentaires relevées sur le site de Marseille

Nb de Faisc/ 0,04m <sup>2</sup>	Nb de Faisc/ m <sup>2</sup>	Prof en m	Dehaus. en cm
13	325	20,1	5
9	225	19,5	10
12	300	20,6	10
12	300	20,5	10
9	225	20,5	5
12	300	20,4	5
8	200	20,5	10
5	125	21	10
5	125	20,3	12
10	250	20,4	5
10	250	20,3	10
5	125	20	5
7	175	19,9	9
8	200	20	10
6	150	20,1	10
9	225	20,3	5
9	225	20,5	5
8	200	20,4	7
9	225	20,6	8
10	250	20,8	6
8	200	20,9	9
7	175	20,6	15
9	225	20,5	10
9	225	20,5	10
11	275	20,5	5
11	275	20,4	5
7	175	20,5	5

Mesures complémentaires relevées sur le site de La Ciotat

Nb de Faisc/ 0,04m <sup>2</sup>	Nb de Faisc/ m <sup>2</sup>	Prof en m	Dehaus. en cm
3	75	32,1	5
3	75	32,1	5
3	75	32,3	5
6	150	31,9	5
3	75	32	5
4	100	32	5
5	125	31,6	5
7	175	31,7	5
5	125	31,7	5
5	125	31,7	5
8	200	31,8	5
10	250	31,8	5
4	100	31,9	5
7	175	31,9	5
5	125	32	5
5	125	32	5
10	250	32,1	5
7	175	32,1	5
8	200	32,2	5
7	175	32,3	5
5	125	32,3	5
6	150	32,3	5
6	150	32,3	5
7	175	32,4	5
5	125	32,4	5
5	125	32,5	5
5	125	32,5	5

Mesures complémentaires relevées sur le site de la Bagaud

Nb de Faisc/ 0,04m <sup>2</sup>	Nb de Faisc/ m <sup>2</sup>	Prof en m	Dehaus. en cm
4	100	31	5
8	200	31,1	5
6	150	31	5
6	150	30,3	9
6	150	30	5
5	125	31	5
6	150	31	5
7	175	30,9	10
5	125	30,9	10
7	175	30,9	20
7	175	31,2	15
3	75	31,2	20
7	175	31,1	15
7	175	31,1	15
5	125	31,1	15
4	100	31,5	5
4	100	31,5	5
3	75	31,4	5
7	175	31,9	10
5	125	31,8	15
4	100	31,8	10
3	75	31,4	10
4	100	31,4	10
4	100	31,7	10
6	150	32	10
4	100	32,4	20
5	125	32	10

Mesures complémentaires relevées sur le site de Saint Raphaël

Nb de Faisc/ 0,04m <sup>2</sup>	Nb de Faisc/ m <sup>2</sup>	Prof en m	Dehaus. en cm
8	200	28	15
6	150	28	15
5	125	28	15
17	425	28	20
17	425	28	10
12	300	28	15
7	175	28	25
15	375	28	20
12	300	28	10
5	125	28	25
12	300	28	5
16	400	27	15
10	250	27	15
12	300	27	15
8	200	27	15
16	400	27	10
10	250	27	5
6	150	27	10
15	375	27	10
9	225	27	25
7	175	27	20
12	300	27	10

Mesures complémentaires relevées sur le site de Golfe Juan

Nb de Faisc/ 0,04m <sup>2</sup>	Nb de Faisc/ m <sup>2</sup>	Prof en m	dehaussement en cm
8	200	29,6	10
8	200	29,6	8
6	150	29,7	10
8	200	29,9	10
7	175	29,9	15
6	150	29,9	15
5	125	29,9	10
7	175	29,9	15
7	175	28,6	15
5	125	28,9	15
4	100	29,8	20
8	200	28,5	10
4	100	29	20
2	50	29,9	20
5	125	28,5	10
3	75	29	15
4	100	29,6	10
7	175	28	15
7	175	28,5	15
9	225	29,4	15
8	200	26,3	15
5	125	28,5	10
3	75	28,7	10
9	225	28,7	10
8	200	27,1	10
3	75	28,1	15
8	200	28,9	15
8	200	26,6	10
5	125	27	15
4	100	26,6	10
1	25	27,3	10
4	100	28,9	20

---

## VII.2. INFORMATIONS TECHNIQUES CONCERNANT L'AQUAMETRE D100

---

### Spécifications

Masse: base: < 2,5 kg

pointeur: < 1,8 kg

### Dimensions:

base: boîtier électronique : 20x11 cm (hauteur x diamètre)

cadre interférométrique: 20x30 cm (hauteur x diamètre max)

pointeur: 20x10 cm (hauteur x diamètre)

Portée max: rayon de 100 m (jusqu'à 200 m si bonnes conditions de propagation)

Profondeur max: 100 m (80 m recommandé en plongée à l'air comprimé)

Résolution: distance radiale: 2 mm ; angulaire: 0,01°

Précision: distance radiale: +/- 2cm jusqu'à 50m, +/-4cm au delà ; angulaire: +/- 0,1°, azimuth et élévation (ne comprend ni l'erreur de correction de canne ni erreur de célérité)

Mesure de célérité: précision de +/-4 m/s, plage de mesure de 1400 à 1600 m/s

Mesure de cap: précision de +/-3° (hors présence de structure métallique car mesure magnétique)

Ecart type: distance : 8mm, angles : 0,03°

Récurrence des mesures: 30 points par minute (mode moyenne inhibé)

Capacité mémoire du pointeur: > 1500 points

Autonomie: base: 8 heures en mode actif ; pointeur: 8 heures en mode actif ; rétention des points stockés > 10 ans (mémoire FLASH)

### Chargeur:

- entrée 220 à 240 VAC/50 Hz

- durée de charge: < 12 heures (à partir de batteries déchargées)

### Liaison de données PC-Pointeur en surface:

- infrarouge 9600 bits/s (adaptateur RS232 vers infrarouge fourni)

### Programme de gestion sur PC:

- fonctionne sous WINDOWS (95/98, XP et versions ultérieures)

- fonctions: préparation de la plongée, récupération des mesures, création de fichiers de mesures au format texte (ASCII) ou DAO (format d'échange .dxf)

#### Encombrement, poids

Le système complet (en dehors du mât et du lest qui ne sont pas fournis par PLSM) est livré dans une caisse de transport renforcée de marque PELICAN référence 1620 équipée d'une garniture de protection en mousse polyéthylène.

Caisse de transport PELICAN référence 1620. Cette caisse possède des poignées de transport ainsi que des roulettes pour faciliter le transport en bagages accompagnés.

Les dimensions maximales sont : 62 cm x 50 cm x 37 cm (longueur x largeur x hauteur).

Le poids de l'ensemble avec la caisse est d'environ 18 kg.

Rangement du système à l'intérieur de la valise PELICAN 1620

Remarque : cette valise étanche est équipée d'une vis de purge qu'il faudra de préférence ouvrir avant un voyage en avion afin de permettre aux pressions interne et externe de s'équilibrer.



***Rangement du système à l'intérieur de la valise PELICAN 1620***