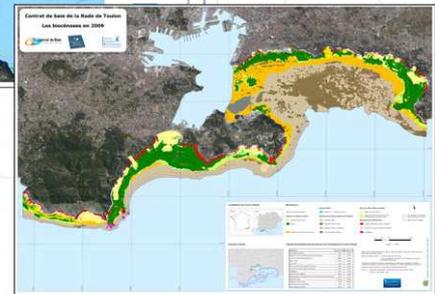
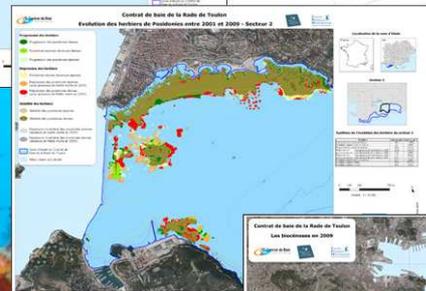
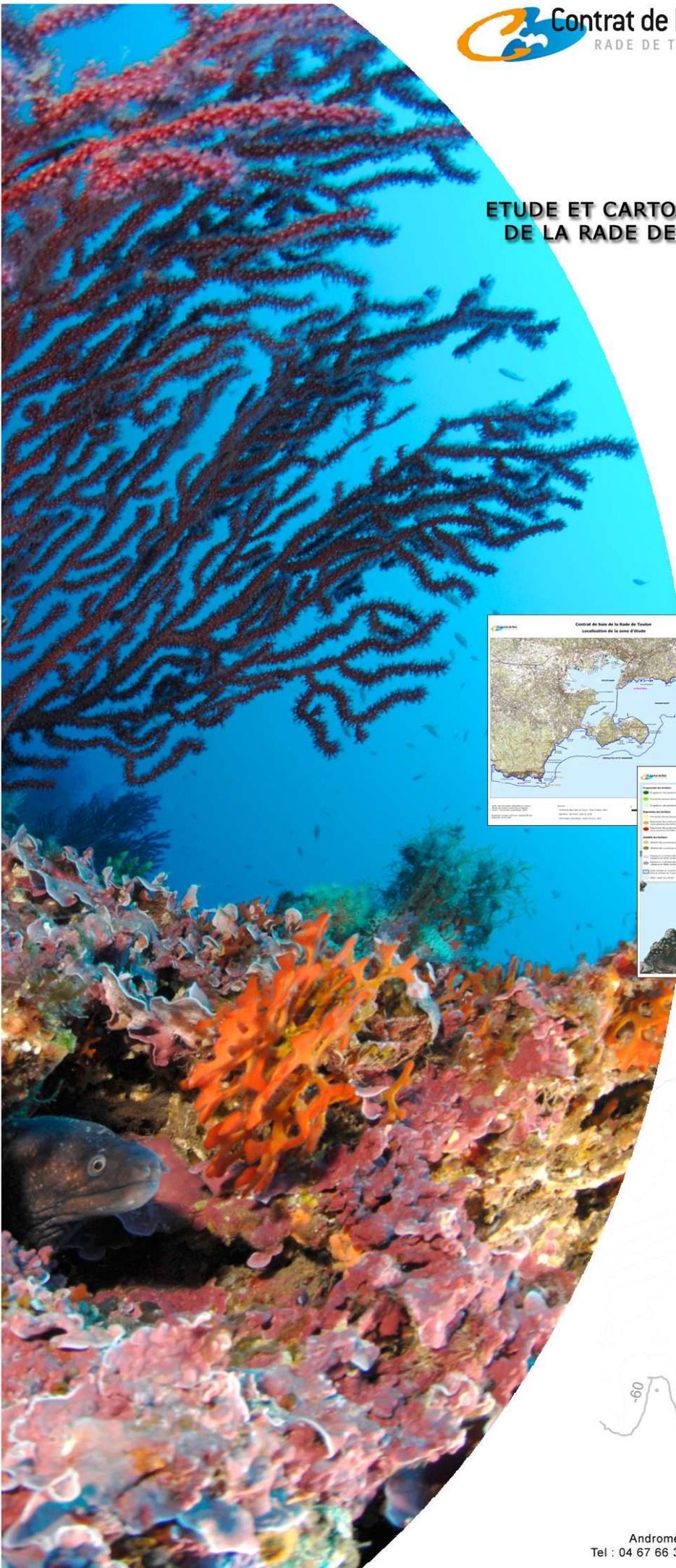


ETUDE ET CARTOGRAPHIE DES BIOCÉNOSES MARINES DE LA RADE DE TOULON - ÉVOLUTIONS 2009/2001



Septembre 2009



**Etude et cartographie des biocénoses marines de la rade de Toulon
Evolutions 2009/2001**

Maître d'ouvrage :

M. Hubert Falco, Président de Toulon Provence Méditerranée

Coordination TPM :

Guirec QUEFFEULOU, chargé de mission contrat de baie rade de Toulon

Magali ROUX, Chargée de mission contrat de baie

Maître d'œuvre :

ANDROMEDE OCEANOLOGIE

21, chemin des Oliviers

34400 SATURARGUES

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

E-mail : contact@andromede-ocean.com

Coordination Andromède Océanologie :

DESCAMP Pierre, Co-gérant Andromède Océanologie

Participants aux missions de terrain :

BALLESTA Laurent, DESCAMP Pierre, GUILBERT Antonin, GUILLOT Marie, HOLON Florian, RAUBY Thibault.

Traitement des données, cartographie et rédaction :

HOLON Florian, DESCAMP Pierre, GUILBERT Antonin.

Mise en page des cartographies, structuration du SIG :

FAURE Karine / CERCIS

Crédit photographique :

BALLESTA Laurent, HOLON Florian, DESCAMP Pierre.

Ce document doit être cité sous la forme suivante :

ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2009. Etude et cartographie des biocénoses marines de la rade de Toulon Evolutions 2009/2001. Contrat ANDROMEDE OCEANOLOGIE / Communauté d'agglomération *Toulon Provence Méditerranée*. 173pp.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	1
<hr/>	
I.1. Contexte et objectifs	1
I.2. Présentation de la Zone d'étude.....	2
<i>I.2.1. Situation générale.....</i>	<i>2</i>
<i>I.2.2. Sites marins inventoriés pour leur richesse naturelle</i>	<i>4</i>
I.3. Biocénoses étudiées	9
<i>I.3.1. L'étagement du littoral.....</i>	<i>9</i>
<i>I.3.2. L'étage médiolittoral.....</i>	<i>10</i>
<i>I.3.3. L'étage infra et circalittoral.....</i>	<i>12</i>
<hr/>	
II. MATERIEL ET METHODE.....	25
<hr/>	
II.1. Moyens à la mer	25
<i>II.1.1. Planification des interventions terrains</i>	<i>25</i>
<i>II.1.2. Navires employés</i>	<i>26</i>
II.2. Cartographie des biocénoses marines.....	29
<i>II.2.1. Les algues du médiolittoral</i>	<i>29</i>
<i>II.2.2. Biocénoses marines de l'infra et du circalittoral</i>	<i>31</i>
<i>II.2.3. Outils d'extrapolation</i>	<i>32</i>
<i>II.2.4. Outils de Vérité terrain</i>	<i>40</i>
II.3. Analyse écologique	43
<i>II.3.1. Herbiers de posidonie.....</i>	<i>43</i>
<i>II.3.2. Coralligène.....</i>	<i>47</i>
<i>II.3.3. Diagnostic de la richesse écologique par zone homogène.....</i>	<i>49</i>
<i>II.3.4. Illustration de la richesse écologique.....</i>	<i>52</i>
<hr/>	
III. RESULTATS CARTOGRAPHIQUES ET ANALYSE PAR ZONE HOMOGENE	53
<hr/>	
III.1. Précision cartographique et évolutions depuis 2001	53
III.2. Secteur n°1 : la petite rade et la baie du Lazaret.....	55
<i>III.2.1. Contexte général</i>	<i>55</i>
<i>III.2.2. Contexte physique</i>	<i>56</i>
<i>III.2.3. Contexte biocénotique.....</i>	<i>58</i>
<i>III.2.4. Contexte qualité du milieu</i>	<i>64</i>
<i>III.2.5. Evolution des biocénoses.....</i>	<i>64</i>

III.3. Secteur n°2 : rade des Vignettes, de la Mitre au cap Brun, B.A.N. et pointe des Petits Frères	65
III.3.1. Contexte général	65
III.3.2. Contexte physique	66
III.3.3. Contexte biocénotique.....	68
III.3.4. Contexte qualité du milieu	75
III.3.5. Evolution des biocénoses.....	81
III.4. Secteur n°3 : baie de la Garonne au cap de Carqueiranne	84
III.4.1. Contexte général	84
III.4.2. Contexte physique	84
III.4.3. Contexte biocénotique.....	87
III.4.4. Contexte qualité du milieu	98
III.4.5. Evolution des biocénoses.....	104
III.5. Secteur n°4 : de la pointe Maregau au cap Cepet	106
III.5.1. Contexte général	106
III.5.2. Contexte physique	106
III.5.3. Contexte biocénotique.....	108
III.5.4. Contexte qualité du milieu	113
III.5.5. Evolution des biocénoses.....	116
III.6. Secteur n°5 : l'anse des Sablottes	119
III.6.1. Contexte général	119
III.6.2. Contexte physique	119
III.6.3. Contexte biocénotique.....	121
III.6.4. Contexte qualité du milieu	127
III.6.5. Evolution des biocénoses.....	129
III.7. Secteur n°6 : de la pointe de l'éperon au cap Sicié – Deux Frères.....	131
III.7.1. Contexte général	131
III.7.2. Contexte physique	132
III.7.3. Contexte biocénotique.....	134
III.7.4. Contexte qualité du milieu	154
III.7.5. Evolution des biocénoses.....	167

IV. CONCLUSION 170

IV.1. Cartographie des biocénoses	170
IV.2. Etat des biocénoses.....	172
IV.3. Evolution des biocénoses	172

I. INTRODUCTION

I.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

La présente étude s'intègre dans le cadre de la démarche Contrat de Baie de la Rade de Toulon et répond au besoin, jugé prioritaire par le Comité de baie (Comité d'agrément mars 2007), de la réactualisation de la cartographie des biocénoses marines réalisée en 2001 par l'IFREMER et le GIS Posidonie.

Cette étude permet de répondre aux fiches n°180 « Suivi des peuplements du médiolittoral » et n°181 « Suivi de l'herbier de *Posidonia oceanica* ».

Intitulée « Etude et cartographie des biocénoses marines de la rade de Toulon - Evolutions 2009/2001 », la présente étude conduite par Andromède Océanologie apporte les éléments de connaissances du milieu marin suivants :

- 📍 **Cartographie** de l'état actuel des biocénoses marines à l'échelle 1/5000^{ème} entre 0 et 50m ;
- 📍 **Analyse dynamique des biocénoses** par secteurs écologiquement homogènes ;
- 📍 **Propositions d'actions** adaptées au contexte local pour la bonne gestion durable de l'environnement marin (exploitation raisonnée, conservation, restauration) ;
- 📍 **Propositions d'indicateurs de suivi** du milieu marin.
- 📍 **Banque d'images** illustrant le patrimoine sous marin local

Les données cartographiques issues de l'étude sont structurées dans un **SIG** lisible sous ArcView et Mapinfo et versées aux bases de données préexistantes (CRIGE, Agence de l'Eau, IFREMER, Etc.).

I. 2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I. 2. 1. SITUATION GENERALE

La zone marine concernée correspond à la zone homogène n°22 définie par le SDAGE Rhône Méditerranée & Corse de 1996 qui s'étend depuis la pointe de l'Eperon (commune de Six-Fours les Plages) jusqu'à la pointe de Carqueiranne (commune du Pradet) et ce, sur la tranche bathymétrique allant de la surface à l'isobathe des 50 mètres.

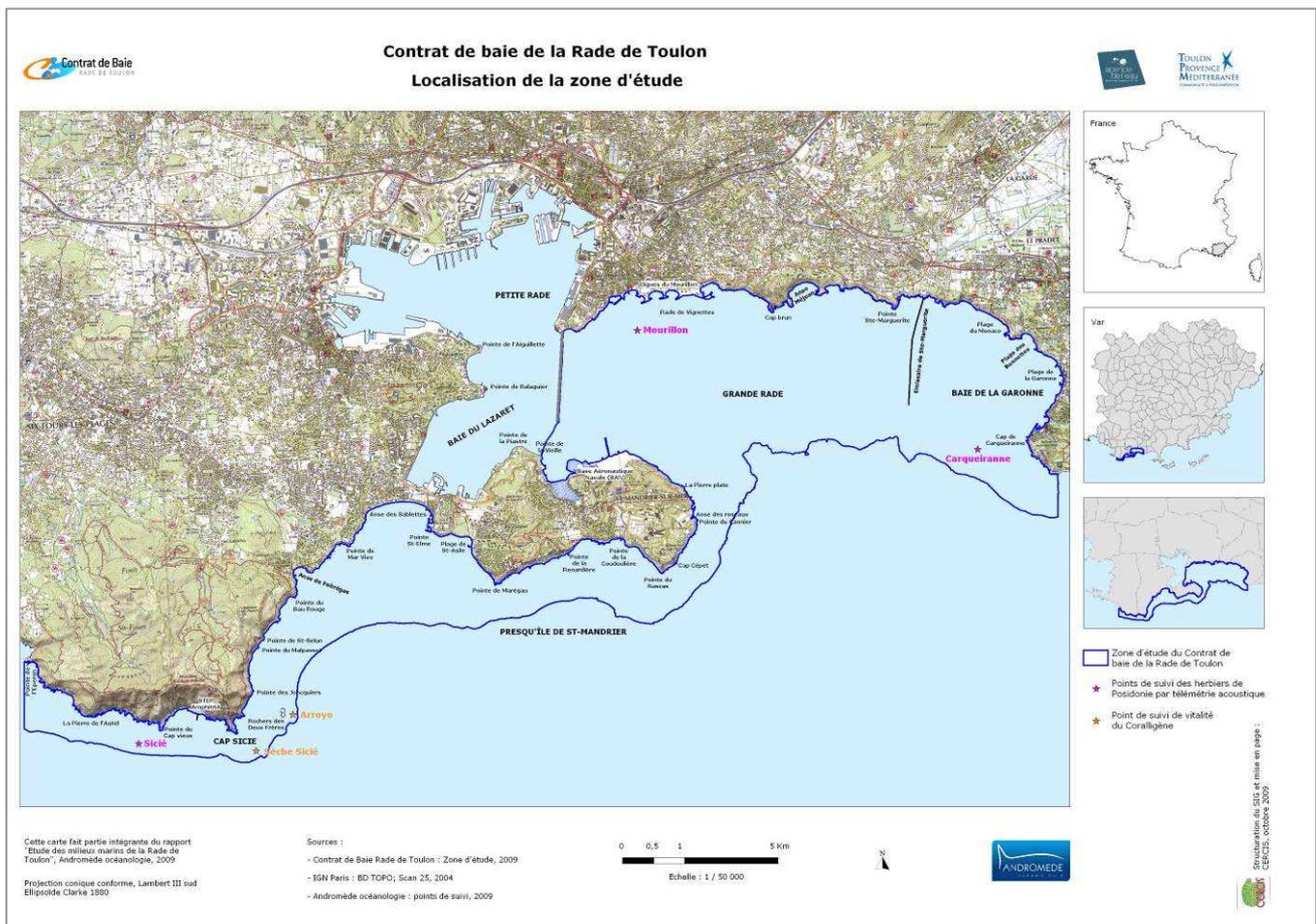


Figure 1 : délimitation de la zone d'étude

Afin de rendre plus fine et plus discriminante l'évaluation des compartiments biocénotiques dans cette zone couverte par le Contrat de baie, un découpage de l'espace en sous-unités géomorphologiques homogènes avait été opéré en 2001. le même découpage est repris sur la zone d'étude afin de faciliter l'analyse comparative entre 2001 et 2009.

L'homogénéité a tenu compte de deux critères majeurs, à savoir :

- un critère physique, basé essentiellement sur la géomorphologie (type de côte) et l'hydrodynamisme local des masses d'eau (exposition aux courants et houles du large). Ces paramètres conditionnent directement la définition même des biocénoses en place,
- un critère biologique, dicté essentiellement par la présence d'écosystèmes particuliers tel que l'herbier de posidonie. Ce compartiment est globalement le plus représenté parmi les biocénoses en place à l'échelle de la zone d'étude. Il est considéré comme étant l'un des bioindicateurs les plus sensibles à long terme.

Sur la base du croisement de ces deux critères, 6 secteurs ont été identifiés dans les limites suivantes :

- 1) La petite rade et la baie du lazaret
- 2) La rade des Vignettes, de la Mitre au Cap Brun, B.A.N. et pointe des petits Frères
- 3) Baie de la Garonne au Cap de Carqueiranne
- 4) De la pointe Marégau au Cap Cépet
- 5) Anse des Sablettes
- 6) De la pointe de l'Eperon au Cap Sicié – Deux Frères

La réactualisation de la cartographie des biocénoses de la rade de Toulon ne concerne pas, pour cette campagne, le secteur de la petite rade de Toulon, depuis la pointe de l'Eguillette jusqu'à la pointe de la Tour Royale. Cependant il y sera réalisé des plongées de contrôle dans l'anse de Balaguier et la baie du Lazaret afin de diagnostiquer ponctuellement l'état des biocénoses.

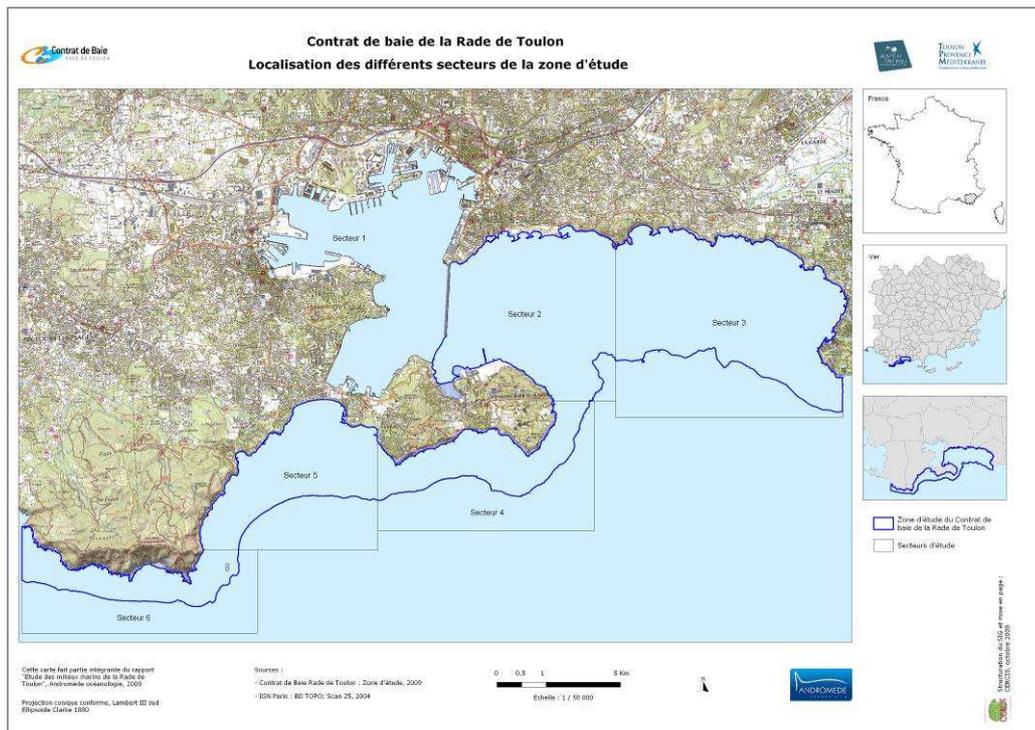


Figure 2 : découpage de la zone d'étude en six sous-unités géomorphologiques homogènes

I.2.2. SITES MARINS INVENTORIES POUR LEUR RICHESSE NATURELLE

- ZNIEFF MER

La partie marine de la zone d'étude comporte 4 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF MER 1 et 2).

L'inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) est un programme initié par le ministère en charge de l'environnement et lancé en 1982 par le Muséum national d'histoire naturelle (MNHN). Il correspond au recensement d'espaces naturels remarquables dans les vingt-deux régions métropolitaines ainsi que les DOM. On distingue deux catégories de zones :

- Les **ZNIEFF de type I**, de superficie réduite, sont des espaces homogènes d'un point de vue écologique et qui abritent au moins une espèce et/ou un habitat rares ou menacés, d'intérêt aussi bien local que régional, national ou communautaire ;
- Les **ZNIEFF de type II** sont de grands ensembles naturels riches, ou peu modifiés, qui offrent des potentialités biologiques importantes. Elles peuvent inclure des zones de type I et possèdent un rôle fonctionnel ainsi qu'une cohérence écologique et paysagère.

Une modernisation nationale (mise à jour et harmonisation de la méthode de réalisation de cet inventaire) a été lancée en 1996 afin d'améliorer l'état des connaissances, d'homogénéiser les critères d'identification des ZNIEFF et de faciliter la diffusion de leur contenu.

L'inventaire ZNIEFF est réalisé à l'échelle régionale par des spécialistes dont le travail est validé par le conseil scientifique régional du patrimoine naturel (CSRPN) nommé par le préfet de région. Les données sont transmises au Muséum national d'histoire naturelle pour validation et intégration au fichier national. Dans chaque région, le fichier régional est disponible à la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL)

Cet inventaire est devenu aujourd'hui un des éléments majeurs de la politique de protection de la nature. Il doit être consulté dans le cadre de projets d'aménagement du territoire (document d'urbanisme, création d'espaces protégés, élaboration de schémas départementaux de carrière...). Si l'inventaire ZNIEFF n'est pas juridiquement un statut de protection. Les ZNIEFF constituent cependant un élément d'expertise pour évaluer les incidences des projets d'aménagement sur les milieux naturels, pris en considération par la jurisprudence des tribunaux administratifs et du Conseil d'État.

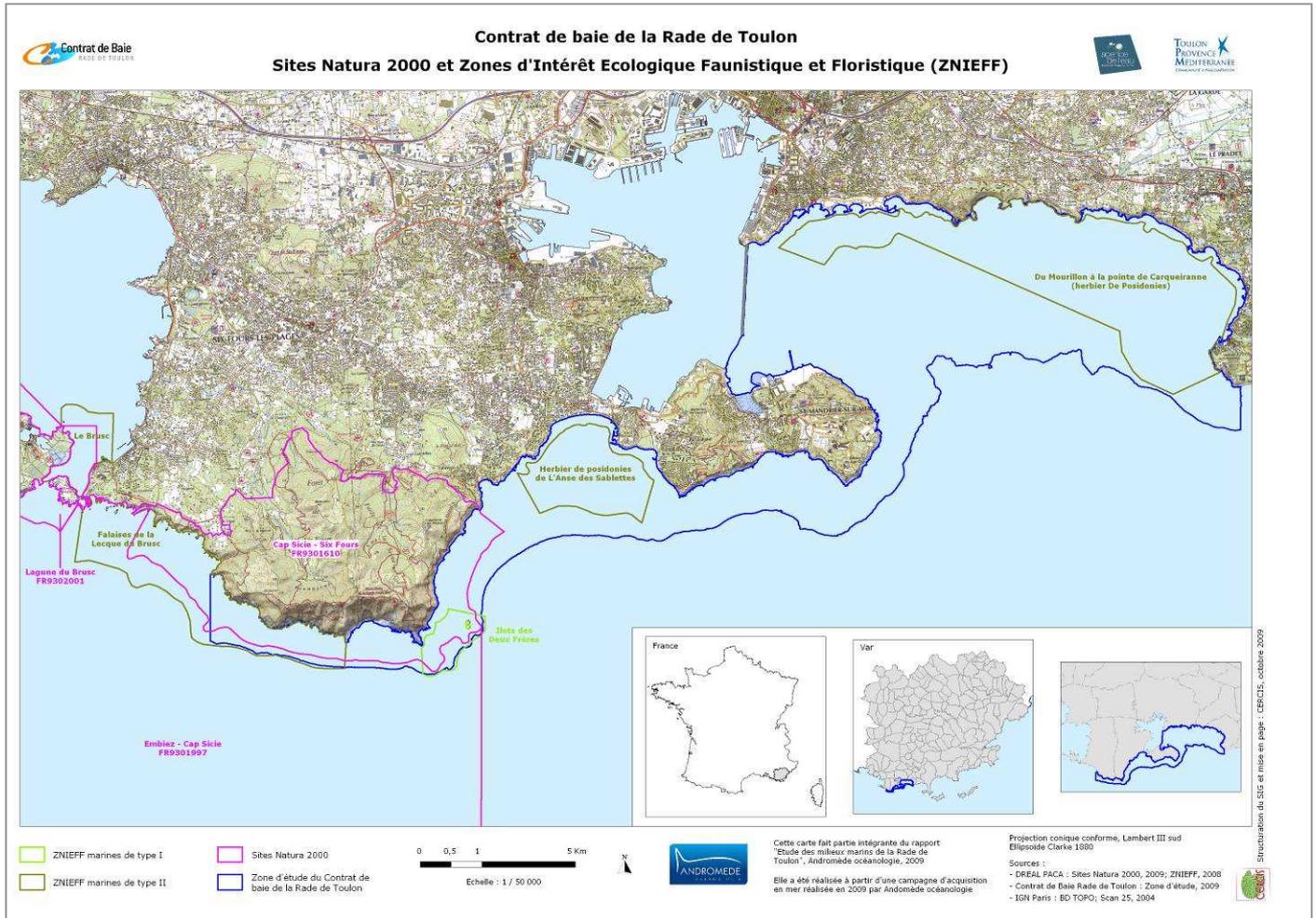


Figure 3 : liste et localisation des ZNIEFF Marines 1 et 2 présentes sur la zone d'étude

ZNIEFF marines de type I : 1			
CODE ZNIEFF	NOM	SUPERFICIE (ha)	Communes concernées
83000004	ILOTS DES DEUX FRÈRES	66.40	LA SEYNE SUR MER
ZNIEFF marines de type II : 3			
CODE ZNIEFF	NOM	SUPERFICIE (ha)	Communes concernées
83007000	DU MOURILLON À LA POINTE DE CARQUEIRANNE (HERBIER DE POSIDONIES)	880.85	TOULON LA GARDE LE PRADET
83006000	HERBIER DE POSIDONIES DE L'ANSE DES SABLETTES	217.90	LA SEYNE SUR MER SAINT MANDRIER SUR MER
83005000	FALAISES DE LA LECQUE DU BRUSC	404.38	SIX FOURS LES PLAGES

- NATURA 2000

Avec la constitution du réseau Natura 2000, l'Europe s'est lancée dans la réalisation d'un ambitieux réseau de sites écologiques dont les deux objectifs sont : préserver la diversité biologique et valoriser le patrimoine naturel de nos territoires. Le maillage de sites s'étend sur toute l'Europe de façon à rendre cohérente cette initiative de préservation des espèces et des habitats naturels.

Le site Natura 2000 « CAP SICIE - SIX FOURS » n° FR9301610, présent sur la zone d'étude, couvre une superficie de 1 340 hectares et s'étend de la pointe de la Gardiole à la pointe du Bau Rouge. Ce secteur est décrit comme principalement marqué par la présence d'herbiers de Posidonie.



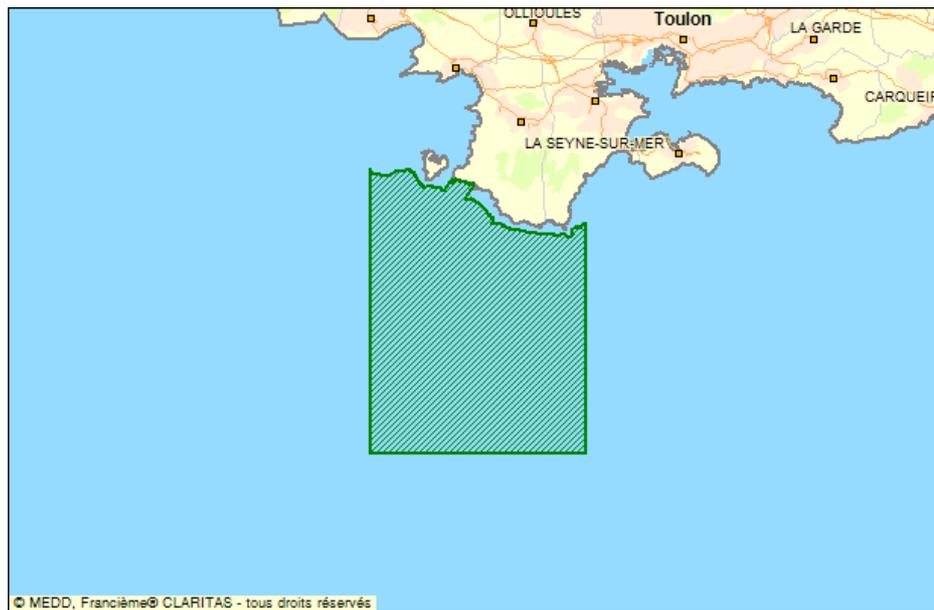
Identification du site :

Appellation : CAP SICIE - SIX FOURS
Statut : Site ou proposition de Site d'Importance Communautaire (SIC/pSIC)
Code : FR9301610
Région : PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR (68.00 %)
Départements : Var (68 %), Domaine maritime (32 %)
Superficie : 1340 ha
Altitude maximale : 341 m
Région biogéographique Méditerranéenne
:

Extension du réseau Natura 2000 en mer

Un projet d'extension en mer de la zone Natura 2000 « CAP SICIE - SIX FOURS », n° FR9301610, a fait l'objet d'une proposition de Site d'Importance Communautaire transmise à l'Europe le 31 Octobre 2008, il s'agit du site « EMBIEZ - CAP SICIE » n° FR9301997.

Le site Natura 2000 « EMBIEZ - CAP SICIE » n° FR9301997 couvre une superficie de 12408 hectares et s'étend de l'ouest des îles des Embiez au cap Sicié jusqu'à une dizaine de kilomètres de la côte.



Identification du site :

Appellation : EMBIEZ - CAP SICIE

Figure X : localisation du site Natura 2000 FR9301997

Statut : Site ou proposition de Site d'Importance Communautaire (SIC/pSIC)

Code : FR9301997

Départements : Domaine maritime (100 %)

Superficie : 12408 ha

Altitude minimale : -1800 m

Région biogéographique Méditerranéenne
:

Description du site :

Cette zone marine correspond à une portion très bien conservée à l'échelle de la façade comprenant des baies à herbiers de Posidonies, et plus ponctuellement des pelouses à Cymodocées (principalement dans le site adjacent FR9302001) mais surtout des récifs, plateaux, tombants, têtes de canyons, grottes exceptionnelles, notamment par les formations de coralligènes.

Des mammifères marins, dont le Grand Dauphin (espèce la plus côtière), sont observés occasionnellement.

Site 100% marin, s'étendant au large des roches métamorphiques du Cap Sicié, transition entre la Provence calcaire et la Provence cristalline.

Description	% couv.
Composition du site :	
Mer, Bras de Mer	100 %
Habitats naturels présents :	
Récifs	5 %
Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine	1 %
Herbiers à Posidonie (<i>Posidonion oceanicae</i>)	1 %
Grottes marines submergées ou semi-submergées	1 %

I.3. BIOCENOSSES ETUDIÉES

I.3.1. L'ETAGEMENT DU LITTORAL

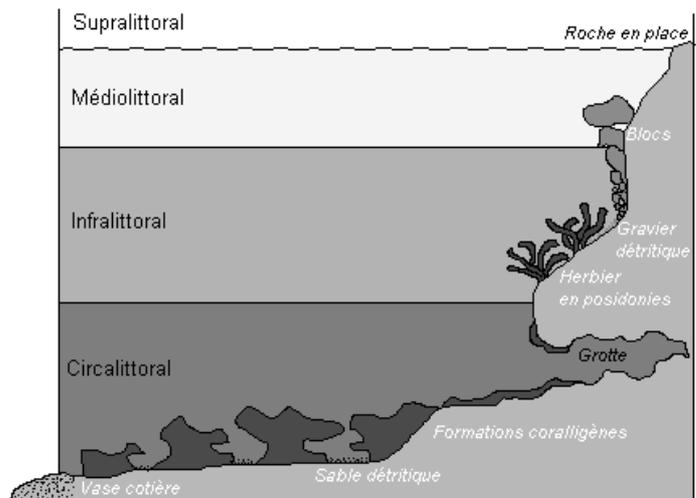
Le système de classement des différents étages du littoral se fait en fonction de facteurs abiotiques tels que la lumière, l'immersion. On distingue 4 étages représentés de 0 à 50m :

- **L'étage supralittoral :** zone découverte exposée aux embruns où se localisent les organismes qui supportent ou exigent une émergence continue. Les immersions véritables y sont exceptionnelles.

- **L'étage médiolittoral :** zone de balancement des vagues et marées.

- **L'étage infralittoral :** correspond à la zone immergée et bien éclairée. Sa limite inférieure est celle qui est compatible avec la vie des algues photophiles et des phanérogame marines.

- **L'étage circalittoral :** correspond à la zone profonde du plateau continental qui s'étend depuis 40 m de profondeur environ (limite inférieure de vie des algues photophiles) jusqu'à la limite de la pénétration de la lumière dans l'eau, laquelle dépend de la plus ou moins grande transparence des eaux, en général une centaine de mètres.



L'étage du médiolittoral est principalement caractérisé par ses peuplements d'algues. La mosaïque des algues observées permet de nous renseigner sur la qualité du milieu, on les appelle pour cela des bio indicateurs ou espèces sentinelles.

I . 3 . 2 . L ' E T A G E M E D I O L I T T O R A L

I . 3 . 2 . 1 . E S P E C E S S E N T I N E L L E S

La zone de battement des vagues est un milieu hostile pour les organismes. Elle est caractérisée par un hydrodynamisme particulièrement violent (houle, vagues), une alternance de périodes d'exondations et d'inondation et par une forte variabilité des paramètres abiotiques suivants :

- température (parfois en dessous de 0 °C l'hiver, jusqu'à plus de 40 °C l'été au soleil), et ensoleillement (irradiations très fortes l'été)
- salinité (élevée par évaporation de l'eau de mer l'été au niveau de la zone médiolittorale souvent exondée, faible voire nulle avec la pluie).
- hygrométrie

Les peuplements qui s'y trouvent (on les nomme peuplements du médiolittoral et de la frange supérieure de l'infralittoral) sont composés de ceintures étroites d'algues et d'invertébrés dont la répartition est limitée à ce niveau marin.

L'étude de leur répartition géographique, ainsi que leur suivi dans le temps, peut permettre de caractériser la qualité du milieu littoral (on parle d'indicateurs biologiques et plus particulièrement d'espèces sentinelles). Ces organismes sont en effet particulièrement exposés aux pollutions de surface, comme les rejets d'émissaires urbains, les pollutions par hydrocarbures, les huiles et les détergents tensioactifs.

Parmi ces organismes sentinelles, quelques espèces d'algues, aisément identifiables, ont été sélectionnées dans le cadre de cette étude pour leur cartographie linéaire et leur évaluation d'abondance.

I . 3 . 2 . 2 . L E S P E U P L E M E N T S A L G A U X S E L E C T I O N N E S

Sur la base des cartographies réalisées de manière similaire en Méditerranée, les espèces suivantes ont été inventoriées :

- **Ulvales**, algues vertes (Chlorobiontes).
- Les ulves se développent dans les eaux dessalées et/ou enrichies en matière organique : elles sont donc souvent indicatrices de pollution, directement (matière organique) ou indirectement (dessalure consécutive aux rejets d'émissaires).



- ***Lithophyllum byssoïdes*** (anciennement *L. lichenoides*), (Rhodobiontes, Corallinacées)

Les encorbellements à *Lithophyllum*, sont des bioconstructions se développant au niveau des eaux le plus élevé en Méditerranée. C'est une espèce qui est inscrite à l'annexe I de la Convention de Berne (1996) et à l'annexe II de la Convention de Barcelone (1996).

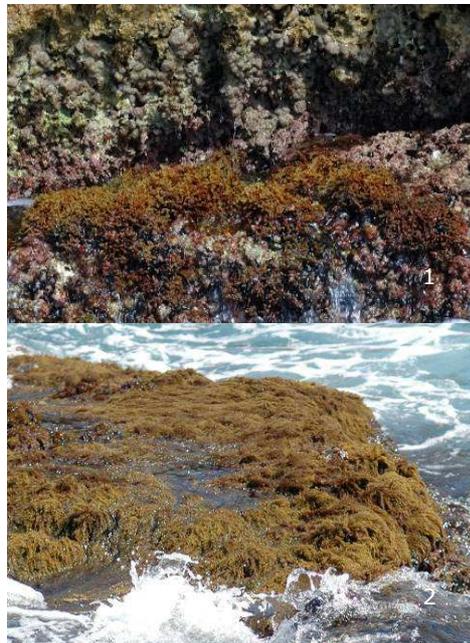


L'édification d'un encorbellement est un phénomène d'une extrême lenteur (plusieurs siècles); sa destruction est donc irréversible à l'échelle humaine. De par leur situation même et leur structure poreuse, ces formations sont particulièrement vulnérables aux pollutions et aux agressions mécaniques (chocs, accostages, piétinement).

Les trois types morphologiques de développement caractéristiques de *Lithophyllum byssoïdes* ont été considérés : (i) type I; thalles isolés les uns des autres (en forme de demi-sphères éparses), (ii) type II ; thalles voisins, localement coalescents (même si cette coalescence n'intéresse qu'une partie du tronçon de 50 m), le relief formé par le placage des thalles ne constituant pas de surplomb, (iii) type III ; la coalescence des thalles et leur mode de croissance déterminent la formation d'un surplomb dont la profondeur est supérieure à 5 cm (encorbellement).

- ***Cystoseira compressa* var. *stricta*** (1) et ***Cystoseira amentacea*** (Chromobiontes, Fucales, Cystoseiracées) (2).

De nombreuses espèces de cystoseires sont observées en Méditerranée occidentale. Les cystoseires se rangent parmi les peuplements à forte valeur patrimoniale de Méditerranée. Leurs caractéristiques biologiques en font des espèces très vulnérables, incapables de supporter de trop fortes perturbations du milieu. Elles sont toutes très sensibles à la pollution et à la turbidité des eaux, ainsi qu'au surpâturage. Par ailleurs, elles sont longévives et se reproduisent de façon sexuée, par des œufs relativement lourds qui ne sont disséminés que sur quelques mètres. Ainsi, une fois détruites, les chances d'une restauration naturelle sont faibles et leur recolonisation ne peut se faire que de proche en proche, à partir d'une population survivante.



Plusieurs cystoseires de Méditerranée, dont *C. amentacea*, sont inscrites dans l'annexe I de la Convention de Berne (1996) et l'annexe I de la Convention de Barcelone (1996). Leur présence peut donc témoigner de la bonne qualité des milieux littoraux.

I.3.3. L'ETAGE INFRA ET CIRCALITTORAL

Le choix des catégories biocénotiques relève d'un compromis entre précision, moyens disponibles et lisibilité des résultats.

Biocénoses :		
 Enrochement artificiel	Autres herbiers :	Bancs de sable à faible couverture :
Herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> :	 Herbiers à <i>Cymodocea nodosa</i>	 Sables fins bien calibrés
 à faible recouvrement	Biocénoses des fonds meubles du Circalittoral :	 Sables grossiers et fins graviers sous l'influence des courants de fonds
 dense	 Détritique côtier	Biocénoses des substrats durs :
 Matte morte de <i>Posidonia oceanica</i>	 Détritique côtier envasé	 Roche infralittorale à algues photophiles
	 Détritique côtier à rhodolithes	 Petits blocs rocheux à algues photophiles
	 Vases terrigènes côtières	 Coralligène

En ce qui concerne la présente étude, la nomenclature retenue (voir figure ci-dessus) s'appuie sur celle définie dans le *Manuel d'interprétation des types d'habitats marins pour la sélection des sites à inclure dans les inventaires nationaux de sites naturels d'intérêt pour la conservation*. Bellan-Santini D., et al. 2002.

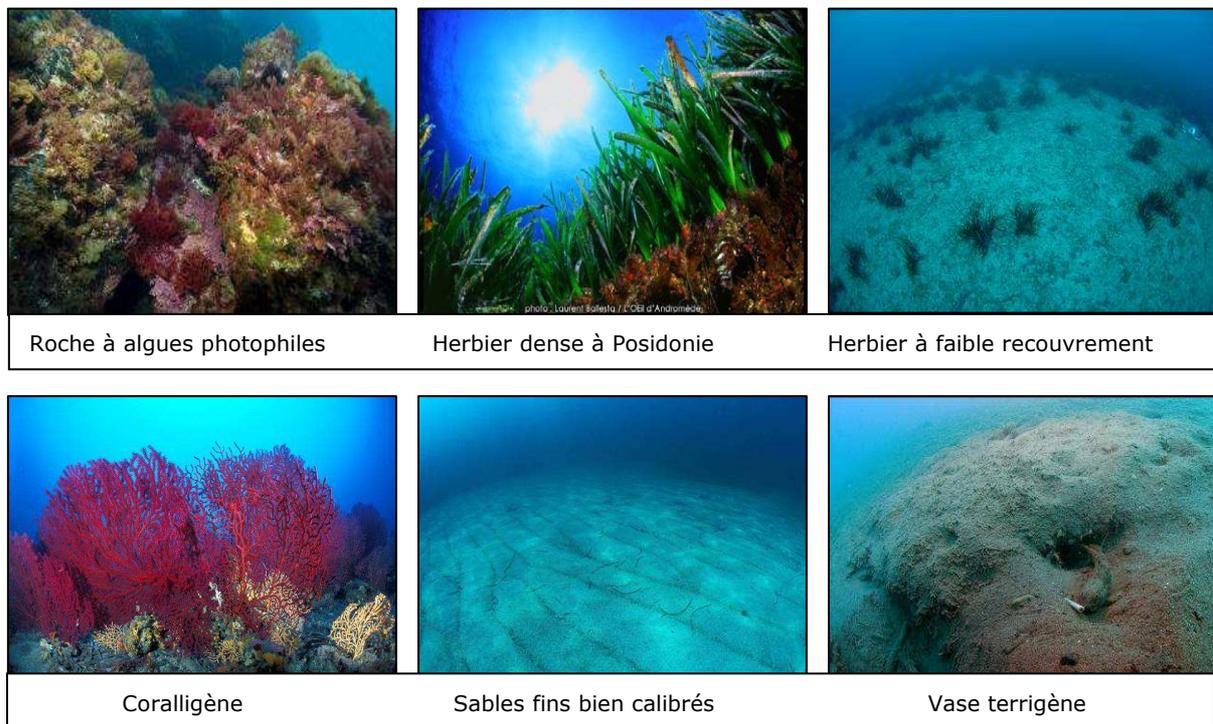


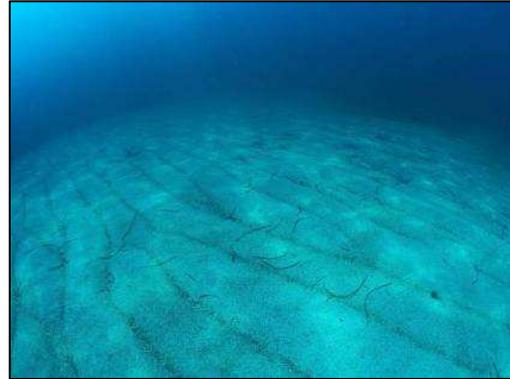
Figure 4 : exemples de biocénoses observées sur la zone d'étude

I.3.3.1. FONDS MEUBLES DE L'INFRA-LITTORAL

L'étage infralittoral correspond à la zone immergée et bien éclairée. Sa limite inférieure est celle qui est compatible avec la vie des algues photophiles et des phanérogames marines soit environ 30-40m de profondeur sur la zone d'étude.

Quatre biocénoses au sens des cahiers d'habitats sont regroupées au sein de cette catégorie :

1. Biocénose des sables fins bien calibrés
2. Biocénose des sables vaseux superficiels de mode calme
3. Biocénose des sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues
4. Biocénose des sables grossiers et fins graviers sous l'influence des courants de fonds



Biocénose des sables fins bien calibrés

La biocénose des Sables Fins Bien Calibrés (SFBC) est une catégorie de biocénose sur fonds meubles infralittoraux généralement entre 2 et 25 m de profondeur. Dépourvue de végétation, elle abrite une faune diversifiée, notamment de mollusques, de polychètes, de crustacés décapodes, d'échinodermes, et de poissons. Il s'agit d'une étendue de sable fin dont le sédiment est généralement de granulométrie homogène et d'origine terrigène. La biocénose occupe parfois de très grandes superficies le long des côtes ou dans les larges baies. La biocénose des sables fins bien calibrés tolère localement une légère dessalure des eaux au voisinage des estuaires et sur le pourtour de certains étangs méditerranéens, elle présente alors un certain appauvrissement, compensé par la présence de quelques espèces euryhalines. Lorsque le mode est trop battu, la biocénose peut aussi être appauvrie.

Espèces indicatrices :

Les annélides polychètes : *Sigalion mathildae*, *Onuphis eremita*, *Exogone hebes*, *Diopatra neapolitana*,

Les mollusques bivalves : *Acanthocardia tuberculata* (= *Cardium tuberculatum*), *Macra corallina*, *Tellina fabula*, *T. nitida*, *T. pulchella*, *Donax venustus*,

Les mollusques gastéropodes : *Acteon tornatilis*, *Nassarius* (= *Nassa*) *mutabilis*, *Nassarius pygmaea*, *Neverita josephinia*,

Les crustacés décapodes : *Macropipus barbatus*, les amphipodes: *Ampelisca brevicornis*, *Hippomedon massiliensis*, *Pariambus typicus*, l'isopode *Idothea linearis*,

Les échinodermes : *Astropecten* spp., *Echinocardium cordatum*,

Les poissons : *Gobius microps*, *Callionymus belenus*.

Biocénose des sables vaseux superficiels de mode calme

La biocénose des Sables Vaseux superficiels de Mode Calme (SVMC) se rencontre dans les criques protégées, en milieu calme, où peut s'effectuer une sédimentation fine donnant un sédiment sablo-vaseux parfois mêlé d'une faible proportion de graviers. Sa profondeur maximale est le plus souvent voisine de 1m et excède rarement 3 mètres. Ces zones peu profondes présentent des conditions de milieu très variables et peuvent présenter des faciès d'épiflore de Cymodocée (*Cymodocea nodosa*), de Caulerpe rampante (*Caulerpa prolifera*), de Zostère naine (*Zostera noltii*) ou des développements importants d'espèces filtreuses ou fouisseuses.

Les variations du milieu sont liées aux conditions de sédimentation plus ou moins fortes, aux conditions climatiques avec de très grands écarts de température entre l'hiver et l'été et même au cours d'une même journée, aux possibilités de ruissellements d'eau de pluie ou de suintements de la nappe phréatique et à l'action anthropique. En effet, ces biocénoses sont régulièrement soumises à des remaniements sédimentaires, des accumulations de détritiques, de polluants, des eutrophisations.

C'est un milieu toujours très productif, en raison notamment de développements phytoplanctoniques et microphytobenthiques très intenses. La capacité productive est souvent exploitée par l'homme (pêche de palourdes, tellines, coques, etc. ; collecte d'appâts).

Espèces indicatrices :

Les annélides polychètes : *Phyloaricia foetida*, *Paradoneis lyra*, *Heteromastus filicornis*

Les mollusques bivalves : *Loripes lacteus*, *Paphia* (= *Tapes*) *aurea*, *Tapes decussatus*

Les mollusques gastéropodes : *Cerithium vulgatum*, *C. rupestre*

Les crustacés décapodes : *Upogebia pusilla*, *Clibanarius misanthropus*, *Carcinus mediterraneus*

Le sipunculide : *Golfingia vulgare*.

Biocénose des sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues

Les biocénoses des Sables Grossiers et fins graviers Brassés par les Vagues (SGBV) se trouvent dans les criques qui entaillent les côtes rocheuses plus ou moins battues et excèdent rarement 1m de profondeur. Cet habitat rare est très mal connu et pourtant intéressant par les espèces qui le caractérisent et par les conditions très particulières qui y règnent.

Cet habitat ne supportant pas le moindre degré d'envasement, la qualité des eaux et notamment sa charge en particules fines, est donc d'une grande importance. La présence estivale de baigneurs peut contribuer à la détérioration de cet habitat.

Espèces indicatrices :

Le peuplement est dominé par l'archiannélide *Saccocirrus papillocercus* et le némete *Lineus lacteus*, dont les populations fluctuent fortement en liaison avec les variations des facteurs ambiants, en particulier l'hydrodynamisme local.

Biocénose des sables grossiers et fins graviers sous l'influence des courants de fonds

Cet habitat est constitué de sables grossiers et fins graviers, d'origine partiellement organogène, pratiquement dépourvus de phase fine et soumis à des courants linéaires puissants, qui se manifestent dans des zones particulières, chenaux, détroits. Il se retrouve entre 3-4 m et 20-25 m de profondeur, mais peut, localement, descendre jusqu'à 70m de profondeur. Il se situe donc sur les deux étages infra- et circalittoral.

La biocénose des Sables Grossiers et fins graviers sous l'influence des Courants de Fonds (SGCF) est fréquente dans les passes entre les îles soumises à de fréquents et violents courants, qui constituent le principal facteur conditionnant son existence. On le retrouve aussi dans les chenaux dits "d'intermattes" creusés par les courants dans les herbiers à Posidonie. Cet habitat strictement soumis aux courants de fond peut évoluer si la circulation hydrologique est modifiée artificiellement ou naturellement, comme lors de longues périodes de calme. Son extension en profondeur, dans l'étage circalittoral, est liée à des phénomènes hydrodynamiques particulièrement intenses. Il peut, dans ces conditions, présenter des modifications tant qualitatives que quantitatives de son peuplement habituel. Les fluctuations saisonnières sont marquées par des différences d'abondance et des remplacements d'espèces.

Espèces indicatrices :

Les annélides polychètes : *Sigalion squamatum*, *Armandia polyophtalma*, *Euthalanessa oculata*

Les mollusques bivalves : *Venus casina*, *Glycimeris glycimeris*, *Laevicardium crassum*, *Donax variegatus*, *Dosinia exoleta*,

Les échinodermes : *Ophiopsila annulosa*, *Spatangus purpureus*

Les crustacés : *Cirolana gallica*, *Anapagurus breviaculeatus*, *Thia polita*,

Le céphalochordé : *Amphioxus lanceolatum*

I.3.3.2. ROCHE A ALGUES PHOTOPHILES

La biocénose « roche à algues photophiles » est d'une grande richesse spécifique et regroupe plusieurs communautés algales dont le faciès à *Padina pavonica* (lumière forte, mode calme), le faciès à *Udotea petiolata* et *Halimeda tuna* (lumière atténuée, eau pure), ou encore le faciès à *Ulva rigida* (lumière forte, eau impure). Cette biocénose est retrouvée depuis la surface jusqu'à 35-40 m de profondeur.



Ces peuplements sont riches en organismes plus ou moins strictement caractéristiques. Ils renferment plusieurs centaines d'espèces avec comme groupes principaux : les algues, les polychètes, les mollusques, les crustacés et les échinodermes.

Il convient de signaler tout particulièrement les grands peuplements de cystoseires (*Cystoseira spp.*) qui constituent des biocénoses remarquables et d'une très haute valeur patrimoniale.

Assimilée aux petits fonds rocheux, ces peuplements à algues photophiles sont le lieu d'une vie intense (invertébrés, poissons, crustacés, etc.). Cette biocénose constitue également un lieu de recrutement pour de nombreuses espèces de poissons telles que les Sars (*Diplodus spp.*), le Serran chevrette (*Serranus cabrilla*), le Crénilabre (*Symphodus roissali*).

Les interactions entre les espèces y sont multiples et complexes. La production y est élevée, le réseau trophique complexe et ouvert sur les autres biotopes de substrat dur et de substrat meuble par exportation de matériel organique (proies, déchets, etc).

L'horizon profond de la biocénose des algues photophiles qui se développe à partir de 15 m, comporte déjà de nombreuses espèces du coralligène, dont notamment les faciès à gorgone jaune (*Eunicella cavolinii*) et gorgone blanche (*E. singularis*).

Ces peuplements sont extrêmement fragiles du fait de la complexité de leur structure et de leur fonctionnement, de leur haut niveau de production, de leur place dans le réseau trophique général comme producteurs primaires essentiels, de leur richesse en petite faune vagile participant aux échelons secondaire et tertiaire du réseau trophique littoral général.

Ces peuplements sont sensibles à la plupart des atteintes du milieu : aménagement de la bordure côtière, ruissellement des eaux de lessivage terrestre, piétinement et récolte des espèces, introduction puis développement d'espèces étrangères, rejets de substances toxiques, rejets de matériel solide, pollué ou non, utilisation de moyens de pêche destructifs.

Les atteintes à ces peuplements sont nombreuses et vont de la détérioration très locale par des récoltes à but ludique ou gastronomique jusqu'à la destruction quasi-totale d'espèces et de peuplements à cause de la pollution des eaux lors du rejet d'eaux usées urbaines ou industrielles. Lorsque les peuplements sont atteints, une très forte baisse de la diversité s'observe, avec une "uniformisation" vers un peuplement constitué essentiellement d'espèces très résistantes, à large valence écologique.

Espèces indicatrices

Elles sont très abondantes, on peut citer :

Les algues : *Lithophyllum incrustans*, *Padina pavonica*, *Stypocaulon scoparia*, *Laurencia obtusa*, *Amphiroa rigida*, *Jania rubens*, *Cystoseira amentacea stricta*, *Codium bursa*

Les cnidaires: *Actinia equina*, *Anemonia sulcata*, *Eudendrium spp.*, *Sertularella ellisi*, *Aglaophenia octodonta*

Les mollusques : *Acanthochitona fascicularis*, *Patella aspera*, *Vermetus triqueter*, la moule *Mytilus galloprovincialis*

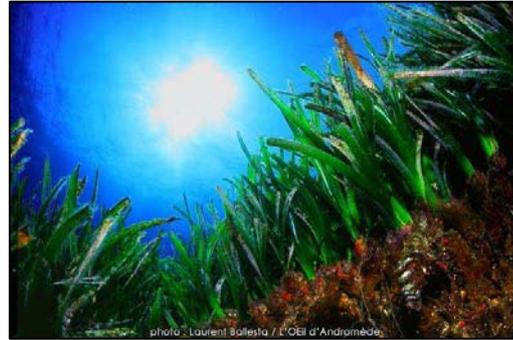
Les polychètes: *Amphiglena mediterranea*, *Branchiomma (Dasychone) lucullana*, *Hermodice carunculata*, *Lepidonotus clava*, *Lysidice ninetta*, *Perinereis cultrifera*, *Platynereis dumerilii*, *Polyopthalmus pictus*, *Syllis spp*

Les crustacés : *Balanus perforatus*, *Amphithoe ramondi*, *Dexamine spiniventris*, *Hyale spp.*, *Acanthonyx lunulatus*

Les échinodermes : *Amphipholis squamata*, *Paracentrotus lividus*

I.3.3.3. HERBIER A POSIDONIA OCEANICA SUR ROCHE ET SUR MATTE

La Posidonie, *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, est une magnoliophyte marine (plante à fleurs) endémique de la Méditerranée. Elle constitue de vastes prairies sous-marines, appelées herbiers, qui se développent depuis la surface de l'eau jusqu'à 30 à 40 m de profondeur, selon la transparence des eaux. La formation des herbiers, leur dynamique et leur densité dépendent étroitement du



milieu environnant : nature du substrat sur lequel les posidonies se fixent, force et direction des courants sous-marins, profondeur, qualité des eaux, etc. L'extension de *Posidonia oceanica* en profondeur caractérise l'étage infralittoral.

Les feuilles de Posidonie mesurent généralement de 40 à 80 cm de long et 1 cm de large et sont regroupées en faisceaux de 4 à 8 feuilles environ. Chacun de ces faisceaux de feuilles est situé à l'apex d'un axe appelé rhizome (tige souterraine), qui croît horizontalement (rhizome plagiotrope) ou verticalement (rhizome orthotrope). La vitesse de croissance de l'herbier est très lente, en moyenne de l'ordre de 3 à 6 cm par an pour les rhizomes plagiotropes.

L'herbier édifie au cours du temps un enchevêtrement complexe et extrêmement compact de rhizomes et de racines dont les interstices sont comblés par du sédiment. Ces "mattes" stabilisent les fonds meubles, et peuvent atteindre une épaisseur de 8 m, à raison d'un mètre par siècle. A la mort de l'herbier de Posidonie, ces mattes restent en place car elles sont peu putrescibles, et sont alors dénommées "mattes mortes". Selon les conditions du milieu et en particulier de l'hydrodynamisme, la posidonie peut également édifier des paysages et reliefs particuliers comme les "herbiers tigrés", les "herbiers de colline" et les "herbiers ondoiyants".

Importance de l'herbier de Posidonie

L'herbier de Posidonie est considéré comme l'un des écosystèmes les plus importants, voire l'écosystème-pivot de l'ensemble des espaces littoraux méditerranéens. Au même titre que la forêt en milieu terrestre, l'herbier de Posidonie est le terme ultime d'une succession de peuplements et sa présence est la condition sine qua non de l'équilibre écologique et de la richesse des fonds littoraux méditerranéens.

La Posidonie joue un rôle primordial dans la production de matière végétale dans l'écosystème. Cette biomasse végétale peut être consommée in situ par des organismes en place mais peut également être exportée vers d'autres écosystèmes. En tant qu'espèce photosynthétique, elle permet aussi la production d'oxygène indispensable à la vie des organismes et joue un rôle important dans le piégeage du CO₂.

L'herbier de Posidonie est aussi une frayère (nursérie) pour un grand nombre de poissons et de crustacés. Elle est de plus une zone de pêche de haute valeur économique. Son influence sur les écosystèmes voisins en terme de production de nourriture et de larves pour les espèces d'intérêt économique est aussi importante.

Elle est également une zone de biodiversité importante, en abritant de nombreux peuplements de poissons mais également des espèces protégées telles que la Grande Nacre (*Pinna nobilis*) qui bénéficie d'une protection intégrale par l'arrêté ministériel du 26 novembre 1992.

L'herbier joue un rôle fondamental dans la lutte contre l'érosion et la protection hydrodynamique de la frange côtière et des plages, par atténuation de la puissance des vagues, de la houle et des courants. Les fonds sableux sont ainsi stabilisés par la fixation des sédiments dans le lacis des rhizomes constituant la matre. Sans cette protection contre l'érosion, le profil d'équilibre des rivages sableux serait fortement modifié. C'est le cas de nombreuses communes littorales confrontées au problème d'érosion des plages, suite à la régression des herbiers situés au large. Des budgets conséquents sont ainsi annuellement consacrés par les communes à un apport régulier de sable pour compenser le lessivage de leurs plages.

Enfin, les herbiers jouent également un rôle déterminant en terme de qualité des eaux littorales grâce à sa production d'oxygène et au piégeage des sédiments.

Espèces indicatrices

L'habitat présente trois catégories de faune et de flore :

Les espèces sessiles sur les feuilles de posidonie : algues calcaires encroûtantes (*Hydrolithon sp.*, *Pneophyllum sp.*), Hydraires (*Monotheca posidoniae*, *Sertularia perpusilla*), Bryozoaires (*Electra posidoniae*). Certaines de ces espèces ne se rencontrent que sur les feuilles de posidonie.

Les espèces vivant dans la matre constituée par les rhizomes de posidonie : algues encroûtantes (*Peyssonnelia spp*, *Corallinaceae*, *Rhodomenia spp*), mollusque tel que la grande nacre (*Pinna nobilis*), les ascidies (*Halocynthia papillosa*), le violet *Microcosmus sulcatus*.

Les espèces vagiles : mollusques (*Tricolia speciosa*, *Alvania lineata*), isopode (*Idotea baltica*), échinodermes (l'oursin violet *Paracentrotus lividus*, *Sphaerechinus granularis*), poissons (la Saupe *Sarpa salpa* et l'hippocampe *Hippocampus hippocampus*).

Mesures de protection existantes

L'importance écologique des herbiers de posidonie rend leur régression particulièrement préoccupante. C'est la raison pour laquelle la posidonie apparaît sur les listes d'espèces menacées, bien que ce ne soit pas l'espèce en elle même mais l'écosystème qu'elle édifie qui soit menacé. L'urgence d'une protection légale et d'une gestion raisonnée du domaine littoral a débouché sur plusieurs initiatives législatives au niveau national et communautaire :

- Arrêté de protection de la Posidonie (19 juillet 1988, J.O. du 09 août 1988), dans le cadre de la Loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature. Cet arrêté stipule qu'il est interdit « de détruire, de colporter, de mettre en vente ou d'acheter et d'utiliser tout ou partie » de la plante.
- Prise en considération de l'herbier de Posidonie en tant que biotope dans le décret d'application (n°89.694 du 20 septembre 1989) de la "Loi littoral" n°86.2 du 3 janvier 1986. Ce décret d'application impose notamment la réalisation d'une notice d'impact spécifique sur le milieu marin, et en particulier sur l'herbier de Posidonie, pour tout projet d'aménagement littoral. De plus, la présence d'herbiers doit également être prise en compte dans les dossiers d'aménagement et les études d'impact (Loi sur l'eau n°92.3 du 3 janvier 1992 ; Loi relative à la protection de la nature n°76.629 du 10 juillet 1976).
- La Directive de l'Union Européenne du 21 mai 1992 (92/43/CEE) sur la conservation des habitats naturels et de la faune et la flore sauvage (dénommée "Directive Habitats") inclut les herbiers de Posidonies dans son Annexe 1 ("Natural habitat types of Community interest whose conservation requires the designation of special areas of conservation"), avec la mention "priority habitat type".

- La Posidonie apparaît dans les Annexes de la Convention de Barcelone (adoptées en décembre 1995) 1996 au début du rapport donc date à vérifier et de la Convention de Berne (adoptées en février 1996);
- Enfin, les herbiers marins sont pris en compte par l'Unesco, depuis la conférence de Rio en 1992.
- L'herbier de Posidonie, ainsi que l'ensemble des phanérogames marines sont également protégées en Espagne : Catalogne (Ordre du 31 juillet 1991) et Comunidad Valenciana (Ordre du 23 janvier 1992).

I.3.3.4. MATTE MORTE DE POSIDONIA OCEANICA

La biocénose des mattes mortes de Posidonies apparaît après la mort des posidonies. La disparition des feuilles provoque une modification des facteurs écologiques au niveau du système de rhizomes (formant la matte) qui reste en place.

Les espèces sciaphiles qui vivaient à l'abri des feuilles de posidonies sont remplacées par un peuplement photophile dominé par les algues.



Espèces indicatrices :

On y trouve ainsi des algues rouges (*Laurencia*, *Liagora*), des algues vertes comme l'Acetabulaire (*Acetabularia acetabulum*), des algues brunes comme la padine ou l'espèce *Stypocaulon scoparium* ou encore de nombreuses espèces épiphytes (*Jania rubens*, *Ceramium sp...*)

Les espèces endogées de la matte restent en place après la disparition des feuilles. On y trouve des mollusques tels que la lime brillante (*Lima hians*), des crustacés et de nombreux polychètes.



I.3.3.5. HERBIER A CYMODOCEA NODOSA

La Cymodocée, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, essentiellement méditerranéenne, est par sa fréquence et l'étendue de ses peuplements, la deuxième espèce de phanérogame marine de Méditerranée (Molinier & Picard, 1952). La Cymodocée, plante à fleurs, est une espèce résistante et assez tolérante du point de vue écologique. Elle peuple les vases sableuses de l'étage infralittoral formant de vastes prairies ou herbiers.



Son appareil végétatif comprend une tige rampante ou rhizome, assez mince, portant des racines et des feuilles étroites formant des touffes. La Cymodocée est une espèce vivace (elle peut vivre plusieurs années) et perd ses feuilles en hiver, ne persistant que par son rhizome.

Après leur mort, les rhizomes sont décomposés beaucoup plus rapidement que ceux de la Posidonie (*Posidonia oceanica*), de telle sorte qu'il n'y a pas édification d'une véritable mat. Des plaques de lacs de rhizomes en cours d'érosion sont toutefois visibles, surélevés par rapport au substrat.

A cette prairie de Cymodocées est associée une faune particulière très riche comme par exemple les hippocampes (protégés par la Convention de Berne) et les rougets juvéniles.

Cymodocea nodosa est souvent associée à une autre phanérogame, la zostère naine (*Zostera noltii*), et à la caulerpe rampante (*Caulerpa prolifera*).

Mesures de protection existantes

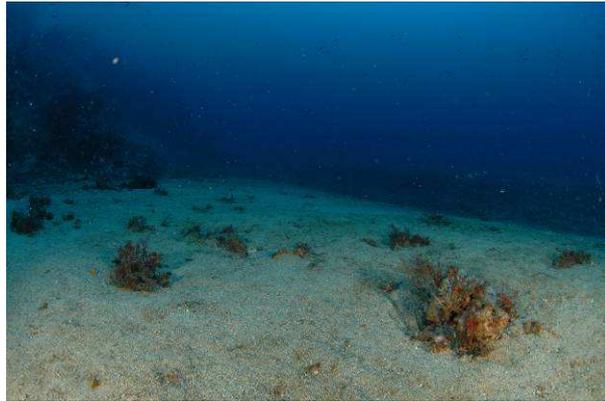
Cymodocea nodosa est protégée en France par l'arrêté du 19 juillet 1988 (Journal Officiel du 9 août 1988). Enfin, la Cymodocée, tout comme *Posidonia oceanica* fait partie de l'annexe I (espèces de flore strictement protégées) de la Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe (Convention de Berne, décret n° 99-615 du 7 juillet 1999).

I.3.3.6. FONDS MEUBLES DU CIRCALITTORAL

L'étage circalittoral correspond à la zone profonde du plateau continental qui s'étend depuis 40 m de profondeur environ (limite inférieure de vie des algues photophiles) jusqu'à la limite de la pénétration de la lumière dans l'eau, laquelle dépend de la plus ou moins grande transparence des eaux, en général une centaine de mètres.

Détritique côtier

Cette biocénose uniquement circalittorale occupe une grande partie du plateau continental depuis la limite inférieure de l'herbier de Posidonie (environ 30 m) jusqu'à la biocénose des fonds détritiques du large (hors secteur d'étude) à 90-100m de profondeur. Le sédiment est formé d'un gravier organogène, provenant de la destruction des organismes actuels et dont les

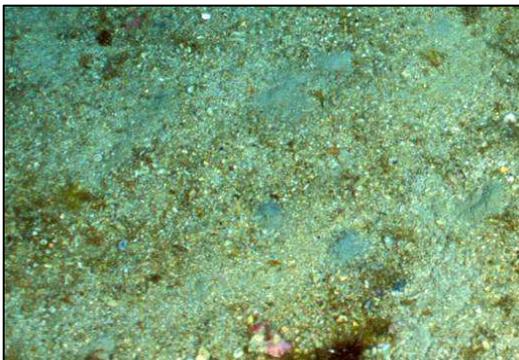


interstices sont comblés par une fraction sablo-vaseuse. Cet engorgement est généralement inférieur à 20 % mais il peut subir des accroissements rapides et importants, déséquilibrant toute la biocénose.

Espèces indicatrices

Phytobenthos : *Cryptonemia tunaeformis*, rhodophytes calcaires branchues (*Phymatholithon calcareum*, *Mesophyllum coralloides*, *Lithothamnion fruticosum*), *Peyssonnelia* spp.

Zoobenthos : *Bubaris vermiculata*, *Suberites domuncula* (Spongiaires) ; *Sarcodyctyon catenatum* (Cnidaire) ; *Astropecten irregularis*, *Anseropoda placenta*, *Genocidaris maculata*, *Luidia ciliaris*, *Ophioconis forbesi*, *Psammechinus microtuberculatus*, *Paracucumaria hyndmani* (Échinodermes) ; *Limea loscombei*, *Propea-mussium incomparabile*, *Chlamys flexuosa*, *Laevicardium oblungum*, *Cardium deshayesi*, *Tellina donacina*, *Eulima polita*, *Turitella triplicata*, (Mollusques) ; *Hermione hystrix*, *Petta pusilla* (Polychètes) ; *Conilera cy-lindracea*, *Paguristes oculatus*, *Anapagurus laevis*, *Ebalia tuberosa*, *Ebalia edwardsi* (Crustacés) ; *Molgula oculata*, *Microcosmus vulgaris*, *Polycarpia pomaria*, *Polycarpia gracilis* (Ascidies).



Lorsque l'engorgement du détritico est estimé à plus de 20% il a été classé dans la biocénose du détritico envasé



La présence de rhodolithes dans les biocénoses du détritique côtier, permet de définir un faciès particulier : La biocénose du détritique côtier, association à rhodolithes. Les rhodolithes sont des algues calcaires libres, qui se fixent sur un petit support minéral ou organique puis grossissent en couches successives pour former des boules (rhodolithes) de forme plus

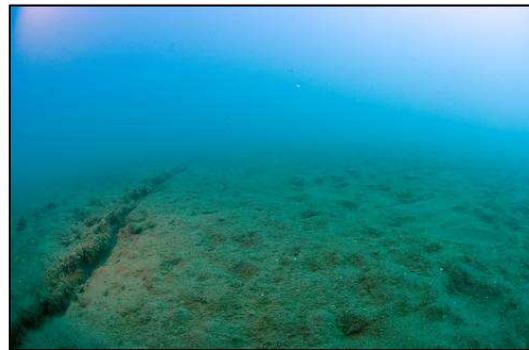
ou moins noduleuses et de taille variable. Cet habitat, équivalent du maërl atlantique, présente un intérêt particulier du fait de sa rareté et a donc fait l'objet d'une catégorie biocénotique.

Biocénose des vases terrigènes côtières

Cet habitat se retrouve sur une vaste étendue du plateau continental et est soumis à un envasement rapide et fin.

Le sédiment est composé d'une vase fine et pure d'origine fluviale, dans laquelle sont rapidement enfouis tous les débris grossiers (coquilles mortes, scories...)

En fonction de la présence de certaines espèces, on distingue différents faciès : faciès des vases molles à *Turritella tricarinata communis*, faciès des vases gluantes à *Virgularia mirabilis* et *Pennatula Phosphorea*, faciès des vases gluantes à *Alcyonium palmatum* et *Stichopus regalis*.



Espèces indicatrices :

Bivalves : *Abranitida*, *Nucula sulcata*, *Thracia convexa*, *Thyasira croulinensis*

Gastéropodes : *Turritella communis*

Crustacés : *Alpheus glaber*, *Eusirus longipes*, *Goneplax rhomboides*, *Harpinia dellavallei*, *Jaxea nocturna*

Polychètes : *Ampharete grubei*, *Aricidea catherinae*, *Lepidasthenia maculata*, *Magelona alleni*, *Magelona rosea*, *Maldane glebifex*, *Nereis longissima*, *Ninoe cf armoricana*, *Ninoe kinbergi*, *Paranaitis lineata*, *Pectinaria belgica*, *Prionospio cirrifera*, *Prionospio pinnata*, *Sternaspis scutata*, *Tharyx heterochaeta*

Holothurides : *Oerstergrenia digitata*, *Trachythyone tergestina*

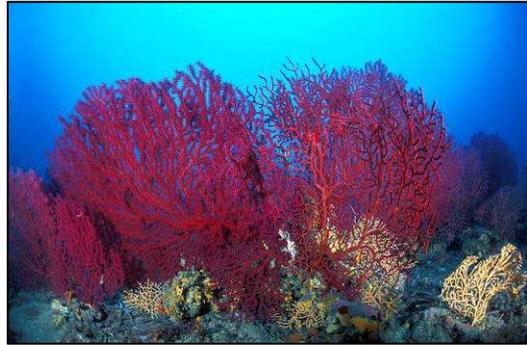
Sipunculien : *Golfingia procera*

Octocoralliaires : *Virgularia mirabilis*

I.3.3.7. ROCHE PROFONDE A CORALLIGENE

Ces peuplements font partie du circalittoral qui débute à la limite inférieure des herbiers de phanérogames jusqu'à 90/100m de profondeur.

Il s'agit en fait d'un concrétionnement d'algues calcaires à croissance lente (quelques mm/an), sciaphiles (qui aiment l'ombre), telles que les Corallinaceae (*Mesophyllum lichenoides*, *Pseudolithophyllum expansum*) et Peyssonneliaceae (*Peyssonnelia rosa-marina*).



Des invertébrés sciaphiles à test ou squelette calcaire, foraminifères, bryozoaires, polychètes Serpulidés, mollusques, contribuent plus ou moins, selon les espèces, à l'édification ou à la consolidation des concrétionnements. En effet, les surplombs et cavités des blocs ainsi constitués sont ensuite colonisés par des formes plus petites d'éponges et de bryozoaires, encroûtantes et fuyant fortement la lumière. Les particules qui tombent de la surface colmatent les petits interstices restant et consolident ainsi une construction qui, à la longue, se transforme en roche (phénomène de lithification) et qui est colonisée par une foule nombreuse d'invertébrés fixés (éponges, mollusques, etc.).

Comme tout substrat calcaire en mer, le coralligène subit une érosion par de nombreux organismes destructeurs endolithes (= à l'intérieur de la roche) tels que les éponges perforantes, mollusques lithophages, mais également les oursins qui broutent les algues vivantes du coralligène. Une perpétuelle compétition dynamique s'engage donc entre les organismes destructeurs et constructeurs du coralligène.

Le "coralligène de paroi" se rencontre sur des roches où les algues calcaires ne peuvent édifier de concrétionnement épais du fait d'une pente trop importante. Il est précédé à faible profondeur (à partir de 15 m) par un précoraligène, assemblage de transition avec les peuplements infralittoraux plus photophiles. Le coralligène de paroi est marqué physionomiquement par l'abondance de grands invertébrés sessiles de forme dressée.

Les grands invertébrés dressés constituent la strate supérieure : grandes gorgones (blanches, oranges et rouges, *Eunicella singularis*, *E. cavolinii*, *Paramuricea clavata*), éponges corne-de-cerf (*Axinella polypoides*), grands vers spirographes et certains grands bryozoaires branchus (faux corail, *Myriapora truncata*, *Pentapora fascialis*).

Les gorgones, s'édifiant généralement en éventail plan, s'orientent de manière à être perpendiculaires au courant, augmentant ainsi leurs chances de capture de la nourriture apportée par celui-ci. Ces grands invertébrés marquent profondément la physionomie des "tombants", plus que celle du coralligène proprement dit. En sous-strate se développent des organismes plus petits : d'autres vers fixés, des ascidies, des bryozoaires comme les dentelles de Neptune, des hydraires et des petits coraux solitaires. Des éponges, des bryozoaires encroûtants et les algues calcaires édificatrices constituent la dernière strate, constituée d'une mosaïque de plaques.

Les peuplements du coralligène procurent nourriture et habitat à une faune vagile variée (poissons, crustacés, mollusques, etc.) qui se regroupe le long des tombants rocheux. Par exemple on dénombre près de 600 espèces d'invertébrés sur le coralligène. Toutefois, bien que d'une richesse parfois spectaculaire, le peuplement

de poissons du coralligène comprend peu d'éléments caractéristiques : la plupart des espèces rencontrées fréquentent également les fonds rocheux infralittoraux et les grottes sous-marines.

Certaines espèces de la biocénose du coralligène peuvent être observées à faible profondeur, dans des conditions où la luminosité est faible, sous les surplombs rocheux par exemple (surplombs sciaphiles) ou encore le long des parois des failles : animaux constructeurs à squelette calcaire (bryozoaires, spongiaires) à tubes (polychètes serpulides) ou à tests (mollusques, etc.), cimentés et colmatés sur la roche.

Cette richesse spécifique se traduit par des paysages sous marins remarquables très appréciés des plongeurs sous-marins : les tombants de coralligène, qui représentent un patrimoine sous-marin qu'il convient de connaître et de protéger.

Espèces indicatrices

La biodiversité dans cet habitat est très élevée, les espèces les plus typiques sont :

Les algues Corallinacées : *Mesophyllum lichenoides*, *Lithophyllum frondosum*, *Pseudolithophyllum expansum*, *P. cabiochae* ; les algues Peyssonneliacées : *Peyssonnelia rosa-marina*, *P. rubra* ; les algues molles *Cystoseira usneoides*, *C. opuncioides*, *Halimeda tuna*.

Les éponges : l'Axinelle commune (*Axinella polypoides*), *Spongia agaricina* ;

les cnidaires : la Gorgone pourpre (*Paramuricea clavata*), la gorgone jaune (*Eunicella cavolinii*), la gorgone blanche (*E. singularis*), la gorgone orange (*Lophogorgia sarmentosa*), l'Alcyon (*Alcyonium acaule*), le corail noir (*Gerardia savaglia*), *Parerythropodium coralloides* ;

Les bryozoaires : l'Adéonelle (*Adeonella calveti*), *Hornera* spp., *Myriapora truncata*, *Pentopora fascialis*, *Smittina cervicornis*, *Schizomavella mamillata*

Les polychètes : *Amphitrite rubra*, *Bispira volutacornis*, *Eunice aphroditois*, *E. oerstedii*, *E. torquata*, *Haplosyllis spongicola*, *Glycera tessellata*, *Trypanosyllis zebra*, *Palola siciliensis*

les mollusques : la datte de mer (*Lithophaga lithophaga*), la porcelaine *Luria lurida*, *Triphora perversa*, *Muricopsis cristatus*, *Chlamys multistriatus*, *Pteria hirundo* ; les sipunculides : *Phascolosoma granulatum*, *Aspidosiphon* spp.

les échinodermes : *Astrospartus mediterraneus*, la Comatule (*Antedon mediterraneus*), l'oursin diadème (*Centrostephanus longispinus*), l'Oursin melon (*Echinus melo*) ;

les Crustacés : La langouste (*Palinurus elephas*), Le homard (*Homarus gammarus*), *Lissa chiragra*, *Periclimenes scriptus* ;

L'ascidie : le violet (*Microcosmus sabatieri*)

les poissons : Le Barbier (*Anthia anthias*), *Labrus bimaculatus*, la rascasse rouge (*Scorpoena scrofa*), Les labridés : *Acantholabrus palloni*, *Lappanella fasciata*.

Valeur écologique et biologique

La croissance des algues calcaires consolidées et compactées par les invertébrés constructeurs façonne des anfractuosités qui, remodelées par les foreurs, vont constituer des réseaux cavitaires qui abritent une faune variée et riche ayant souvent des besoins et des relations très diverses. On retrouve dans cette biocénose des espèces à forte valeur patrimoniale et des espèces protégées telles que l'éponge Axinelle commune (*Axinella polypoides*), listée dans l'annexe II de la Convention de Berne (Décret 99-615 du 7 juillet 1999, J.O. du 18 juillet 1999).

En raison de cette richesse et de cette grande diversité, on considère que le Coralligène est un des habitats ayant la plus haute valeur écologique de Méditerranée.

II. MATERIEL ET METHODE

II.1. MOYENS A LA MER

II.1.1. PLANIFICATION DES INTERVENTIONS TERRAINS

La réalisation de la présente étude a nécessité la réalisation de 5 missions sur le terrain :

1. Levée au sondeur interférométrique et sonar latéral du 01-15 décembre 2008 ;
2. Campagne de transects plongeur audio pour acquérir une vision globale de l'état des biocénoses et relevé des données sur les limites entre biocénoses et en particulier les limites inférieures des herbiers de posidonie, écosystème clé de la Méditerranée du 21 février – 28 février 2009 ;
3. Campagne de plongée afin de vérifier certaines zones d'incertitude cartographique et compléter l'analyse écologique, du 15 au 20 avril 2009 ;
4. Campagne de plongée pour l'illustration des biocénoses marines, investigations de reconnaissance du médiolittoral du 21 Avril- 28 Avril 2009 ;
5. Seconde campagne de plongée pour l'analyse écologique et complément d'analyse des algues du médiolittoral 01-02 juin 2009.



Figure 5 : Mobilisation de moyens en mer (catamaran de 40 pieds et semi-rigide 6m) pour l'étude des biocénoses marines (missions du 15 au 28 Avril)

II.1.2. NAVIRES EMPLOYÉS

Différents navires ont été mobilisés selon les besoins de chaque mission :

- Un catamaran Highland 35 a été retenu lors de la première mission de levée sonar et sondeur pour son habitabilité permettant d'être en acquisition 24H/24 en rotation d'équipe et son faible tirant d'eau.

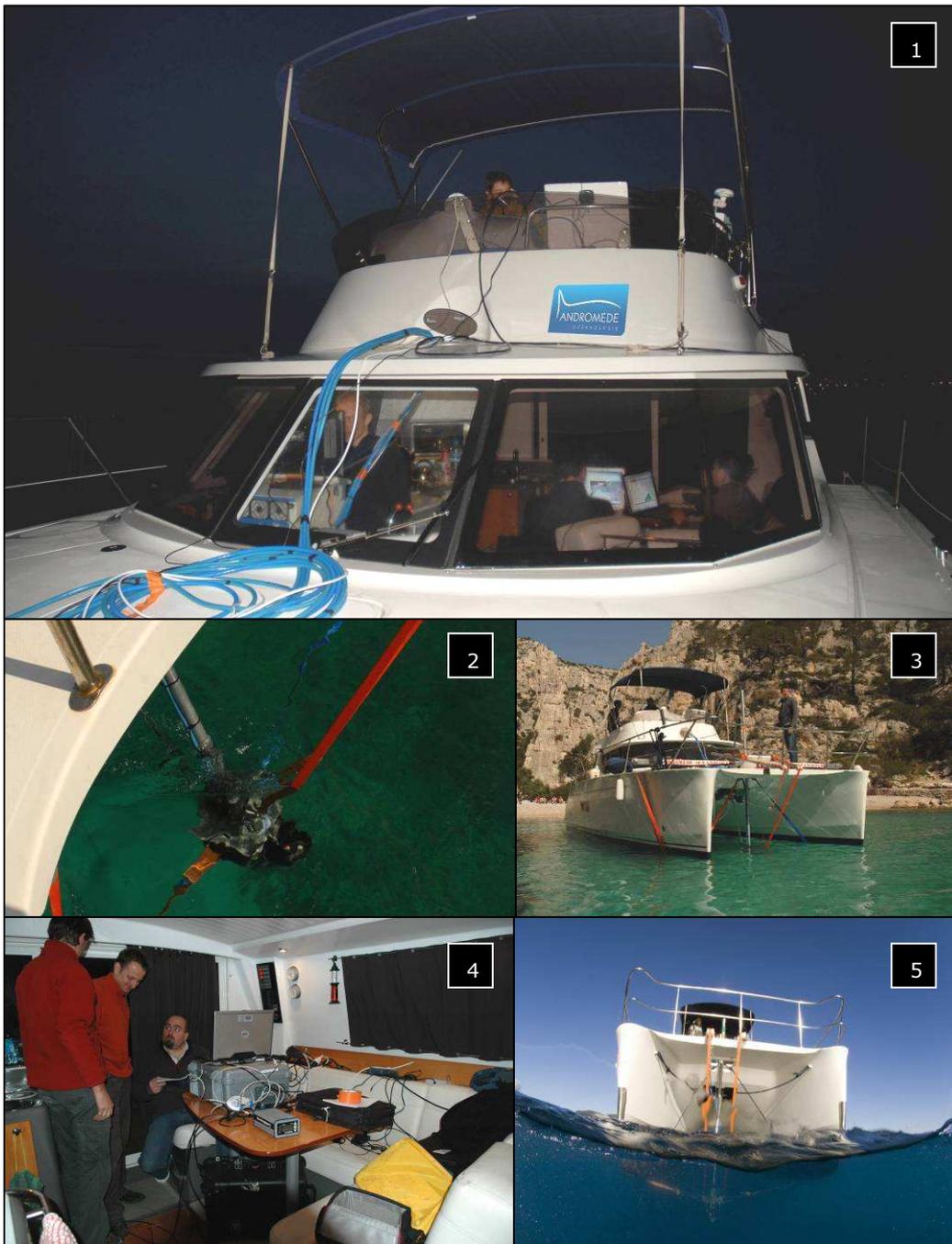


Figure 6 : (1&4) l'acquisition et le contrôle qualité des données se font en continu ; (2) sondeur interférométrique GEOSWATH ; (3&5) le faible tirant d'eau du Highland permet une acquisition dans les petits fonds

- Les missions de transects plongeurs audio ont été menées à partir de voiliers habitables (Sun Odyssey 32, Hanse 350). L'équipement est stocké à bord et l'équipe y vit en autonomie ce qui permet de réduire les temps de logistiques. Si les transects sont réalisés au moteur, la mission se déroule néanmoins en itinérance. Les déplacements se font à la voile chaque fois que possible afin de contribuer au respect de l'environnement.

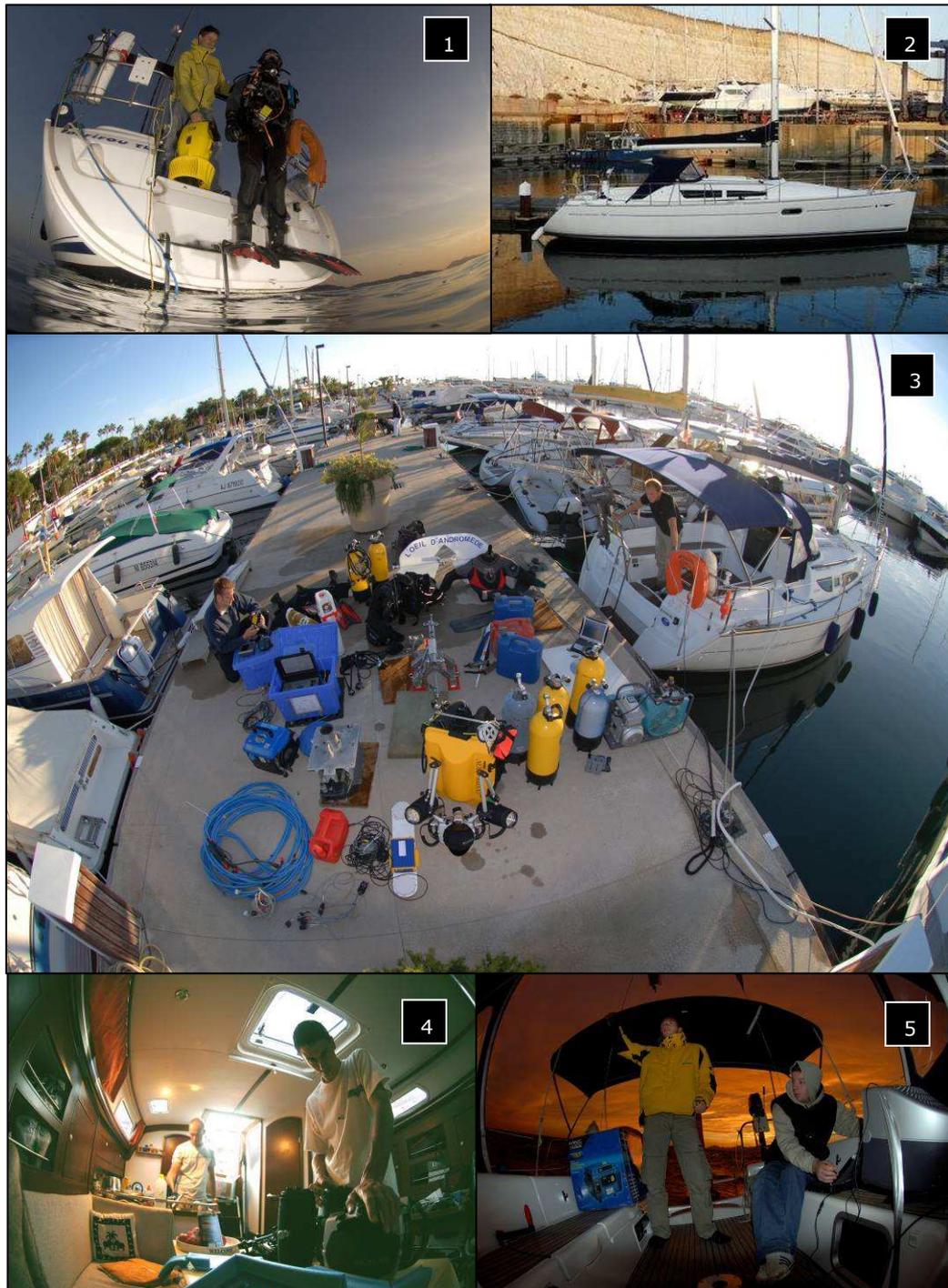


Figure 7 : (1) Mise à l'eau d'un plongeur ; (2) voilier Hanse 350 ; (3) chargement du voilier ; (4) préparation du matériel à bord ; (5) transit inter-stations

- La mission concernant l'analyse écologique des biocénoses et l'illustration des observations a nécessité la mobilisation de 2 équipes de plongeurs/biologistes et a donc justifié l'utilisation d'un navire support plus important. Elle a été conduite avec un catamaran de 40 pieds (Foutaine-Pageot Salina) accompagné d'un semi-rigide rapide 6m Bombard Explorer. Le semi-rigide permet à la seconde équipe de plongeur (la première opérant à partir du catamaran) d'accéder à des zones plus exposées ou éloignées.

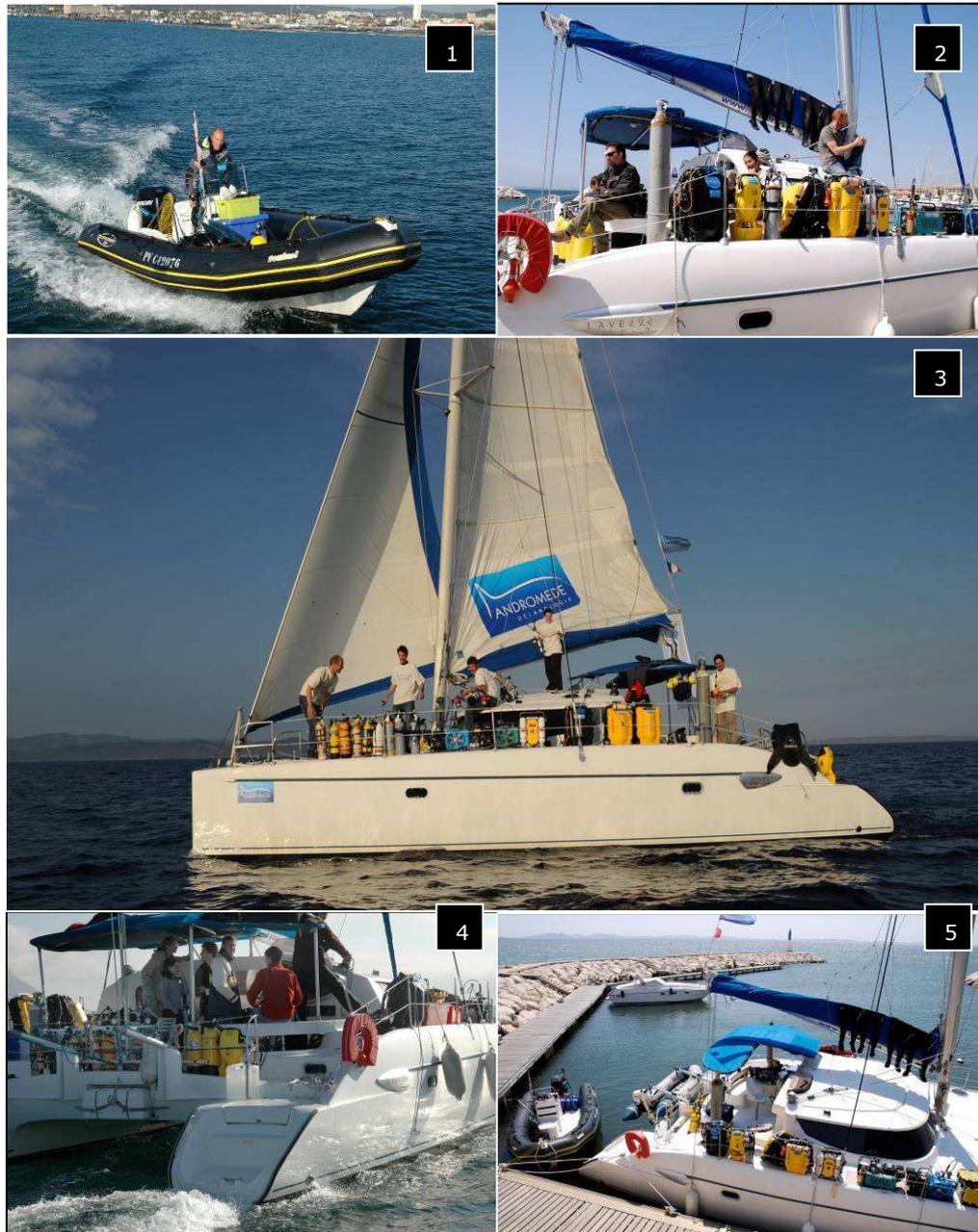


Figure 8 : (1) Bombard 6m ; (2,4,5) équipement à bord du catamaran ; (3) les transits inter-stations se font à la voile autant que possible

II.2. CARTOGRAPHIE DES BIOCENOSES MARINES

II.2.1. LES ALGUES DU MEDIOLITTORAL

Le trait de côte a été digitalisé à partir d'agrandissements de photographies aériennes (IGN 2006) sous ArcGis9.2. Il a ensuite été découpé en portions de 50 mètres, l'objectif étant d'obtenir la position cartographique et l'estimation d'abondance des peuplements retenus sous quatre classes (voir tableau ci-après), afin d'enrichir la base de données SIG.

Par comparaison des bases de données et des cartographies liées, les prochains suivis permettront de préciser facilement l'évolution de ces espèces sentinelles, qui par définition sont des indicateurs de l'évolution de la qualité du milieu marin.

Class	Linéaire couvert sur secteur de 50m	Correspondance classe de densité
0	0 m (0 %)	Absence
1	1 à 10 m (<20 %)	Faible densité
2	11 à 25 m (20 à 50%)	Densité moyenne
3	26 à 50 m (>50%)	Forte densité

Classes d'abondance, recouvrement du linéaire côtier et correspondance en classe de densité.

Ce sont ainsi 57 kilomètres de côte séparant la pointe de l'Eperon au cap de Carqueiranne qui ont été prospectés à bord d'un semi-rigide, au mois d'avril 2009.

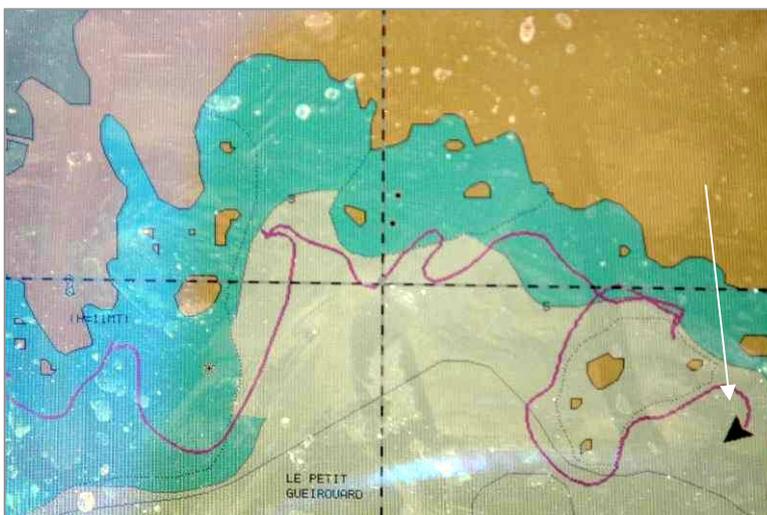


Figure 9 : L'écran du GPS du bateau. La flèche indique la position du bateau

cartographique des peuplements du médiolittoral sur l'ensemble de la zone d'étude, avec une unité géographique de 50m.

Chaque portion de 50 m est désignée par un numéro, et est représentée par sa portion de trait de côte, à laquelle correspond l'indice d'abondance des différentes espèces échantillonnées visuellement (voir tableau précédent). En combinant et triant les informations de la base de données, nous obtenons une représentation

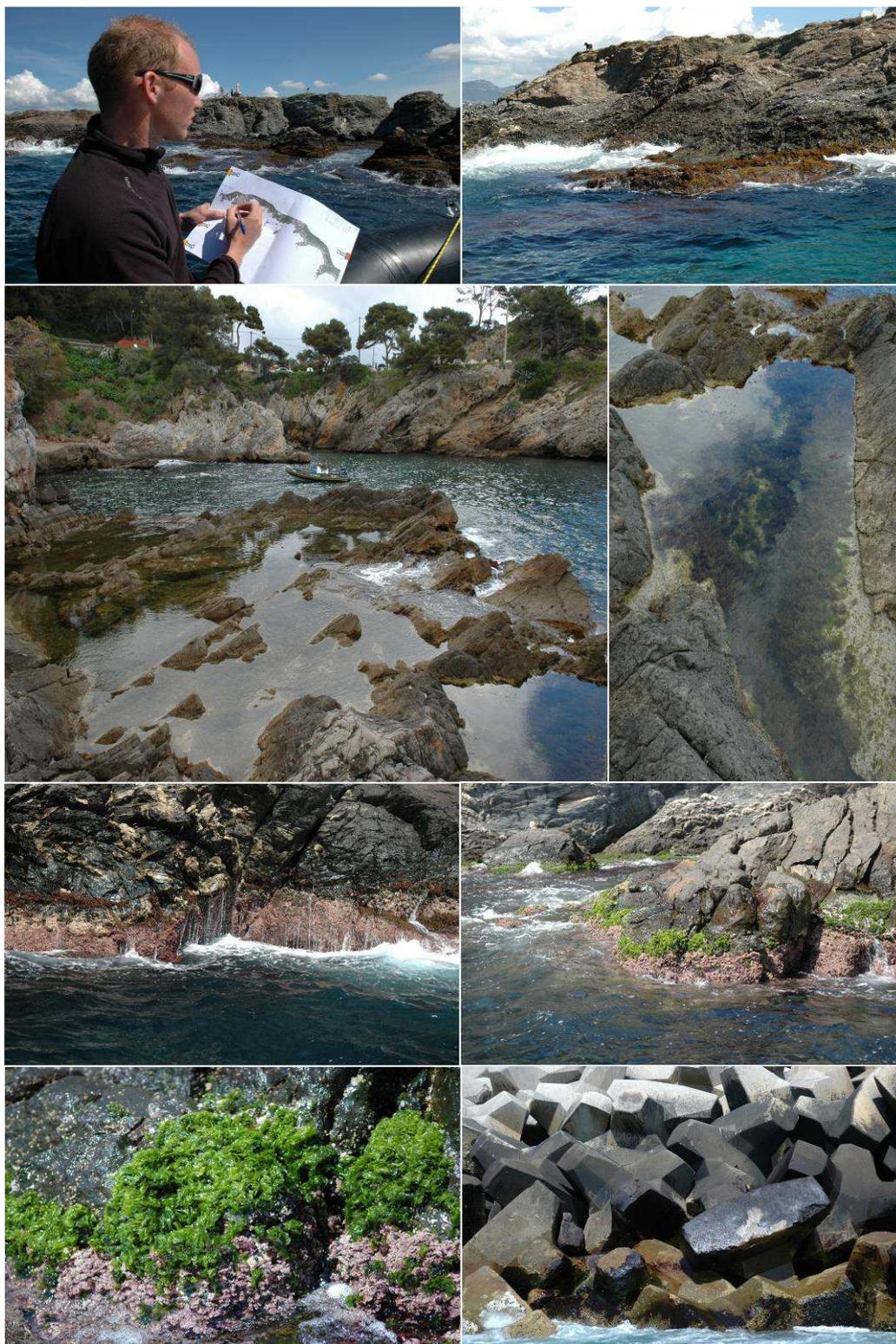


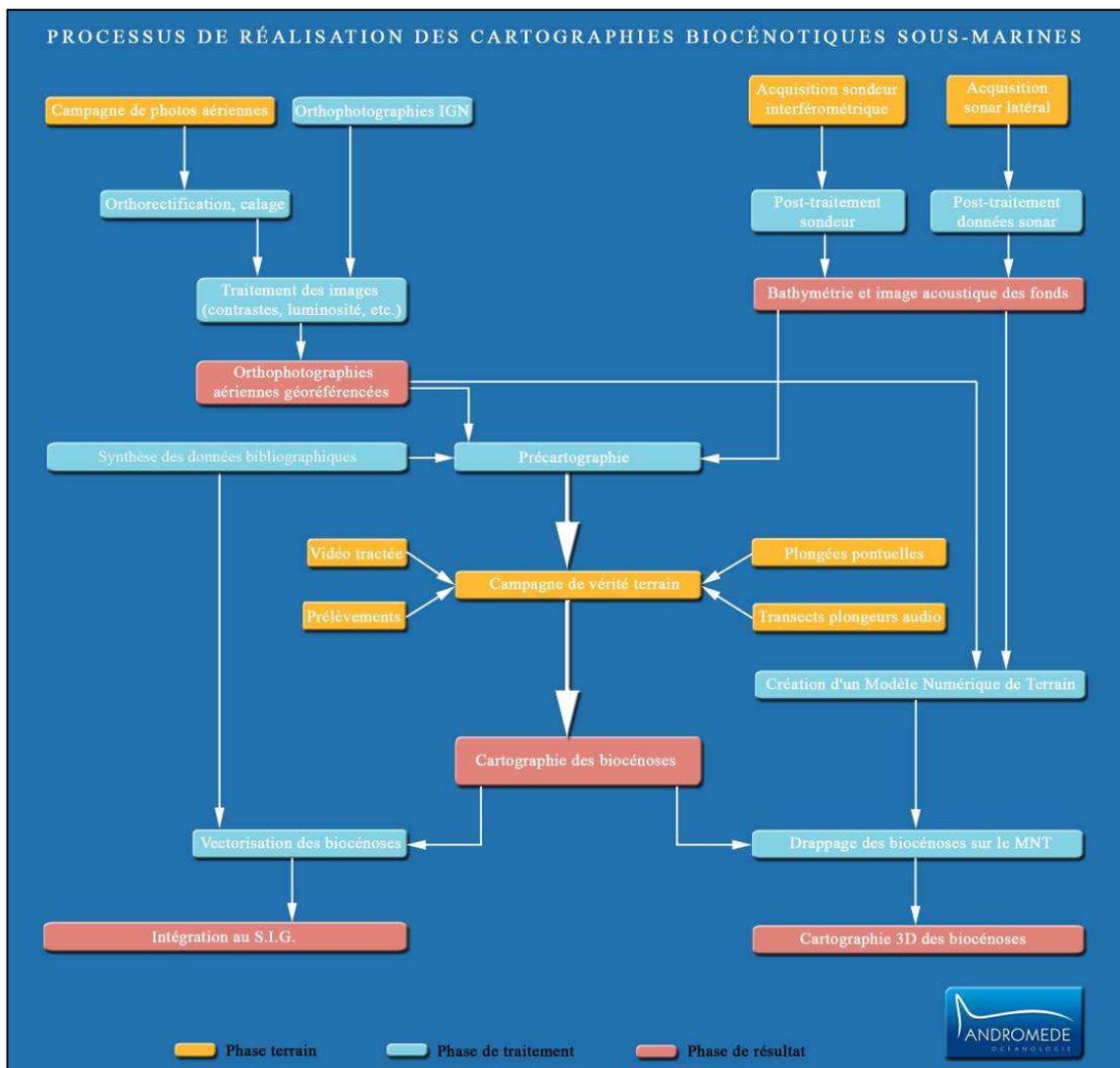
Figure 10 : Un semi-rigide longe la côte à quelques mètres du rivage. Un opérateur note sur des cartes papiers ses observations sur les algues du médiolittoral. Les mares sur les plateaux rocheux nécessitent une exploration à pied

II.2.2. BIOCENOSSES MARINES DE L'INFRA ET DU CIRCALITTORAL

La réalisation de cartographies des biocénoses sous-marines passe schématiquement par les étapes suivantes :

- Analyse des orthophotographies aériennes IGN disponibles sur la zone d'étude
- traitement des données cartographiques existantes ;
- traitement des données bathymétriques existantes et en particulier des données du SHOM ;
- acquisition de données complémentaires relatives à la morphologie et la nature des fonds par levés au sondeur multifaisceaux et au sonar latéral ;

Ce premier pool de données permet de dresser une précartographie qui est ensuite corrigée suite à des opérations dites de « vérité-terrain ». Le processus pour la réalisation de la cartographie est résumé dans le schéma suivant :



II.2.3. OUTILS D'EXTRAPOLATION

II.2.3.1. SONAR LATERAL KLEIN 3900

Le système Klein 3900 est un sonar latéral bi-fréquence pour la recherche et la détection très fine de petites entités. Ce modèle possède deux fréquences d'utilisation: 445 kHz pour une longue portée et une bonne résolution, 900 kHz pour une très haute résolution et l'identification de petites cibles.

Fréquences	445 kHz / 900 kHz	
Faisceau	Horizontal: 0.21° à 900 kHz, 0.21° à 445 kHz; Vertical : 40°	
Inclinaison du faisceau	5, 10,15, 20, 25° vers le bas, ajustable	
Profondeur maximale	200m	
Largeur de fauchée	150 mètres à 445 kHz; 50 mètres à 900 kHz	
Longueur	122 cm de long, 8,9cm de large	
Poids	29 kg	
Système d'exploitation	VxWorks®	
Sorties	00 Base-Tx, Ethernet LAN, w/ LAN	
Alimentation	NMEA 0183	
Puissance	120 watts à 120/240 VAC, 50/60 Hz	

Le Klein 3900 se compose :

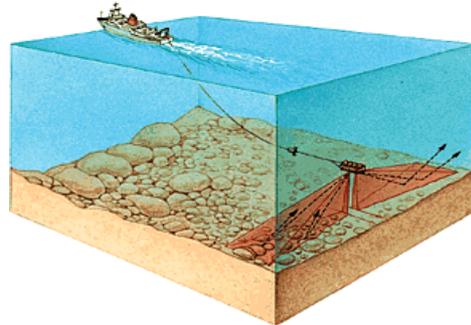
- **D'un « poisson »** La spécificité de ce sonar est d'être numérique avec digitalisation dans le poisson pour une meilleure qualité de données.
- **D'un câble électroporteur** Il assure la transmission des données vers la centrale d'acquisition, et la traction du poisson.
- **D'enregistreurs numériques** L'enregistreur traite les échos acoustiques de retour, les corrige, calcule la position de chaque signal pour la restitution finale (pixel par pixel). L'enregistreur effectue la correction de la distance oblique entre le poisson et les objets latéraux, les corrections d'amplitude, l'atténuation latérale du signal qui est compensée par un gain variable en fonction du temps et de la distance.
- **D'un système de positionnement par satellite (GPS différentiel)** GPS différentiel / Compas de CSI Vector Sensor Pro : l'utilisateur reçoit des compléments de corrections fournies par des stations terrestres de référence. Le Compas GPS fournit à la fois le cap et la position au radar, au sonar, aux traceurs de routes et autres systèmes embarqués.
- **D'un micro ordinateur embarqué – 2 écrans** Les matériels de mesure (DGPS, Sonar, ...) sont interfacés sur l'ordinateur de bord pour réaliser l'acquisition et la liaison des mesures en temps réel.
- **Du logiciel SonarPro** Il permet l'acquisition et la sauvegarde des données. Les données peuvent être enregistrées au format SDF et/ou XTF.

Acquisition et traitement des données sonar latéral

Le sonar est remorqué à une vitesse d'environ 5 nœuds et à une hauteur par rapport au fond comprise entre 3 et 10m selon fréquence (et donc la portée efficace maximale) choisie.

Le levé s'effectue en bande parallèles et dans l'axe des courbes bathymétriques de manière à travailler à profondeur constante.

Un recouvrement total des profils permet de réaliser une cartographie complète d'une zone.

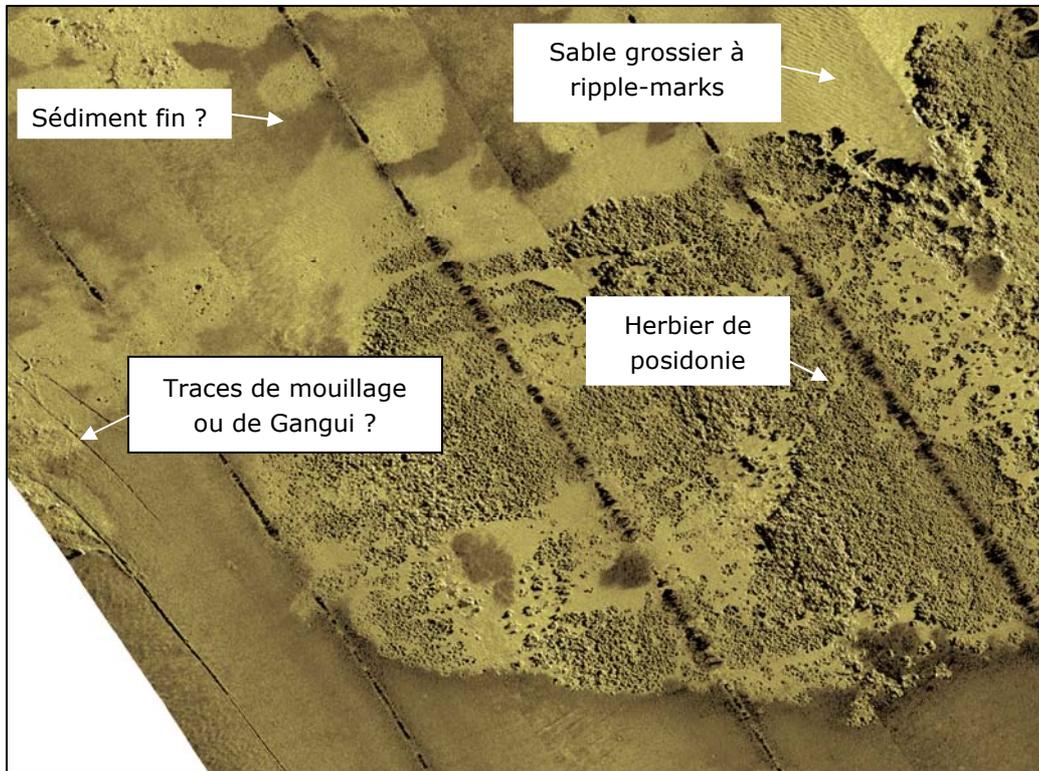


L'acquisition sonar latéral est particulièrement adaptée à la cartographie des zones de plaine, et en particulier des herbiers de posidonie sur matre. Pour les zones accidentées, la lecture des sonogrammes devient beaucoup plus délicate.



Figure 11 : Levé sonar latéral Klein 3900 (1 : DGPS, micro-ordinateur avec logiciel SonarPro et enregistreur numérique ; 2 : retour contrôle pour pilote ; 3 poisson relié au bateau par le câble électroporteur

Le logiciel spécialisé (CodaMosaic) permet d'obtenir une mosaïque géoréférencée des bandes sonar. Cette mosaïque apparaît sous la forme d'une image en gradient de jaune, laissant apparaître les différents types de substrat (depuis les substrats denses, comme la roche, qui apparaissent en blanc aux substrats meubles, comme la vase, qui apparaissent en noir).



L'interprétation des données sonar pour la précartographie apporte de nombreuses informations mais soulève aussi de nombreuses incertitudes. C'est pourquoi elle doit être suivie d'une importante campagne de vérité terrain.

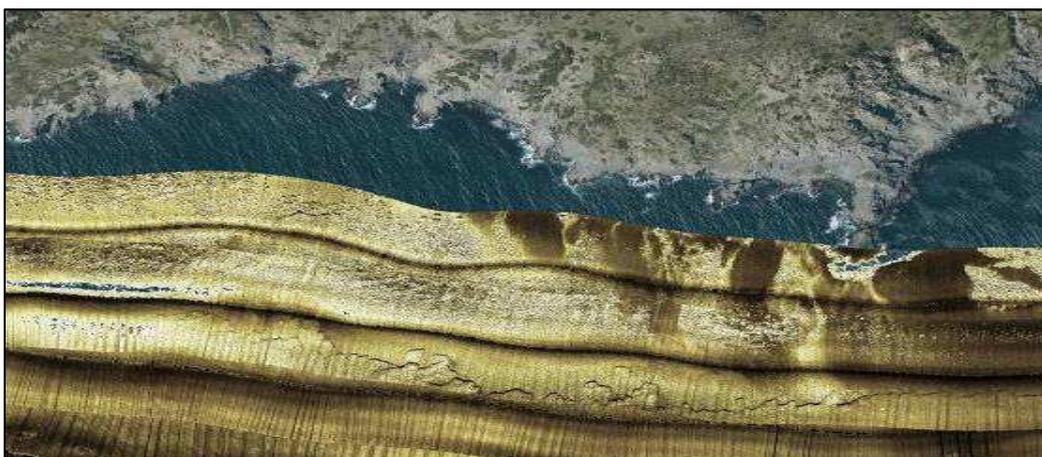


Figure 12 : couverture sonar latéral au sud de Notre Dame de la Garde

II.2.3.2. SONDEUR INTERFEROMETRIQUE - GEOSWATH

Le sondeur GeoSwath existe depuis 1999, c'est un sondeur multifaisceaux plus acquisition sonar pour les petits fonds <15m, avec une fauchée large, commandé par un PC. La dernière version de geoSwath datant de 2008 a été utilisée pour la mission.

Ce matériel se compose :

- D'un micro ordinateur embarqué – 2 écrans

Les matériels de mesure (DGPS, Sondeur, ...) sont interfacés sur l'ordinateur de bord pour réaliser l'acquisition et la liaison des mesures en temps réel.

L'acquisition permet de capturer environ 10 points en X, Y et Z par seconde.

Du logiciel GeoSwath+, qui permet d'acquérir et de traiter les données

- D'une centrale d'altitude TSS 205, permettant de corriger le roulis du bateau. précision 0.01°roulis et tangage, 0.01°cap, 5% ou 5cm en pilonnement. Continuité de position et cap pendant les masquages GPS, option RTK intégrée.
- D'un DGPS – compas de CSI Vector Sensor Pro, le Compas GPS fournit à la fois un cap précis et la position au radar, au sonar, aux traceurs de routes et autres systèmes embarqués. Précision 0,4m en sortie centrale inertielle.
- Sonde de célérité SVS de Valeport, assure la mesure de célérité à 1.5 m/sec près sur toute la colonne d'eau jusqu'à 100m
- Sondeur multifaisceaux GeoSwath, 2 transducteurs 250 kHz (portée 100m) Planimétrie : <0.4m (0,1m avec GPS RTK). Altimétrie: centimétrique y compris sur plan d'eau agité et lors des masquages GPS. Résolution : jusqu'à plusieurs centaines de sondes par m² en petit fonds.

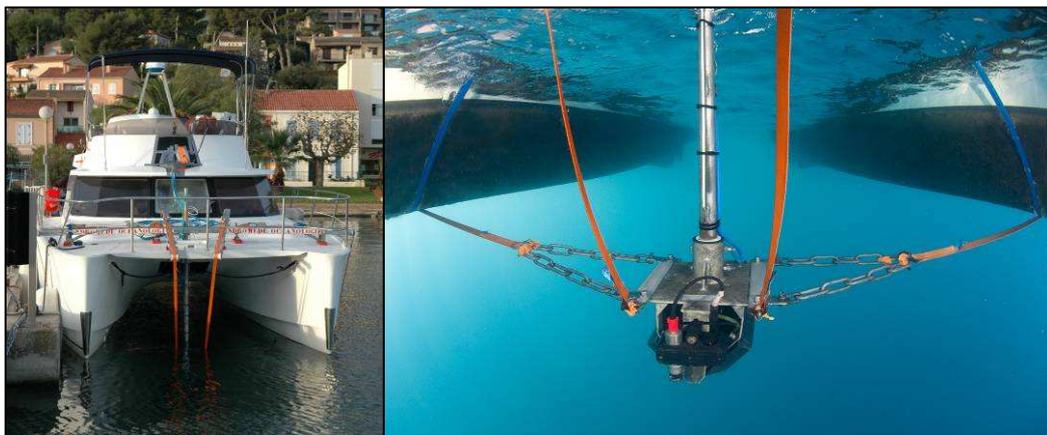


Figure 13 : Système de fixation démontable du GEOSWATH

Acquisition et traitement des données sondeur multifaisceaux

Le sondeur Geoswath est fixé entre les 2 coques du catamaran, permettant ainsi de sonder jusque dans les très petits fonds (<1m).

Le sondeur acquiert jusqu'à plusieurs centaines de sondes par m² sur une bande dont la largeur est environ 4 fois la hauteur d'eau sous le bateau.

Le couple Sondeur/D-GPS fournit 10 mesures de position et de profondeur par seconde. Les données sont récupérées sur une unité centrale interfacée avec tous les instruments de mesure. Une sonde de célérité est utilisée pour garantir la même précision sur les faisceaux obliques et les faisceaux verticaux.

Le logiciel d'acquisition est interfacé avec les fonds cartographiques déjà acquis précédemment. Ceci permet de compléter précisément la zone à couvrir.

L'habitabilité du navire permet de travailler en rotation d'équipes 24h/24h et d'exploiter pleinement les créneaux météorologiques favorables. Ceci a été particulièrement important lors de l'étude puisque les acquisitions ont été réalisées en décembre, dans des conditions hivernales changeantes.

Le post traitement consiste en la suppression des artefacts, ainsi qu'en la constitution des isobathes et d'un Modèle Numérique de Terrain ombré.

Contrôle qualité : Un premier post traitement est réalisé en continu, **à bord**, en parallèle de l'acquisition afin de s'assurer de la bonne qualité des données acquises.

Le logiciel de post traitement utilisé par Andromède est Geoswath+ pour l'épuration des données qui sont ensuite exploitées sous Arcgis.

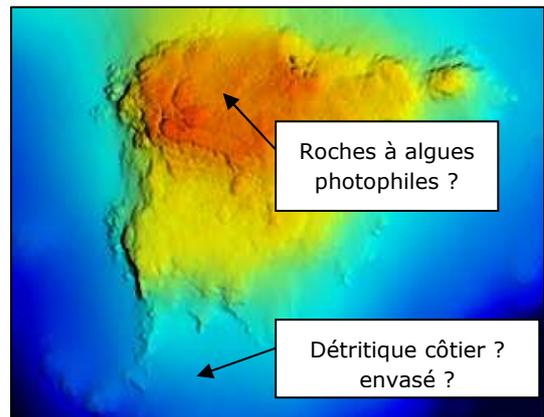
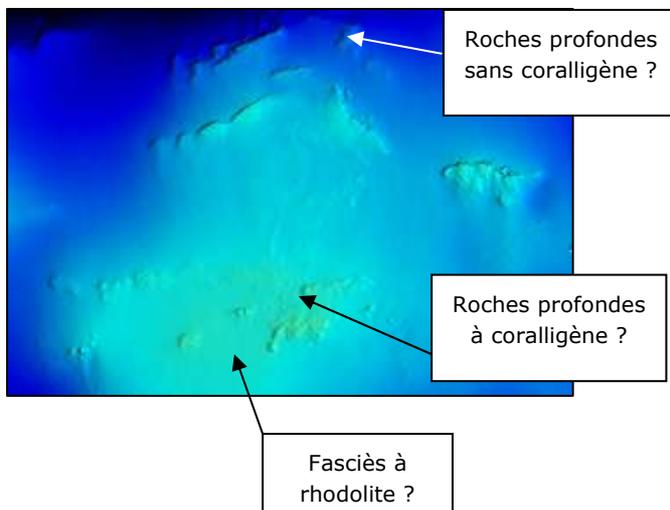


Figure 14 : Acquisition et contrôle simultané des données

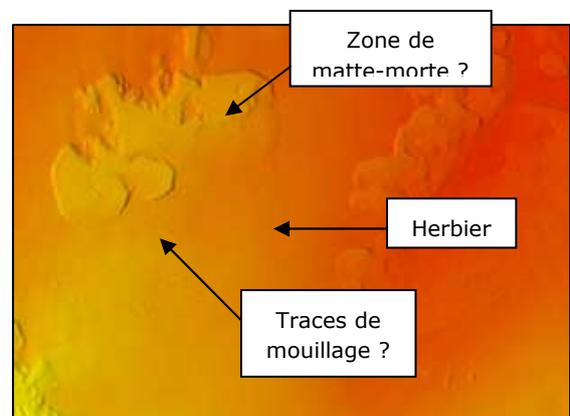
Exploitation des données du GEOSWATH

Un traitement sous Arcgis à partir des fichiers bathymétriques a permis d'obtenir un modèle numérique de terrain (MNT) en gradient de couleur, laissant apparaître les reliefs sous-marins (De la bathymétrie surface en rouge à la bathymétrie fond en bleu).

L'exploitation des modèles numériques de terrain pour la cartographie des biocénoses est à privilégier sur les zones de relief où les sonogrammes sont de lecture complexe et peuvent présenter des zones de masquage.



Néanmoins, les données issues de levés au Geoswath peuvent apporter des informations pertinentes concernant les herbiers de posidonie. L'impact du mouillage des unités de fort tonnage y est par exemple particulièrement visible.



II.2.3.3. PHOTOGRAPHIES AERIENNES

Origine des données

L'interprétation des orthophotographies aériennes a permis de localiser les limites des principales biocénoses marines littorales à faible profondeur (de 0 à 10 m au maximum à partir des données issues de l'IGN).

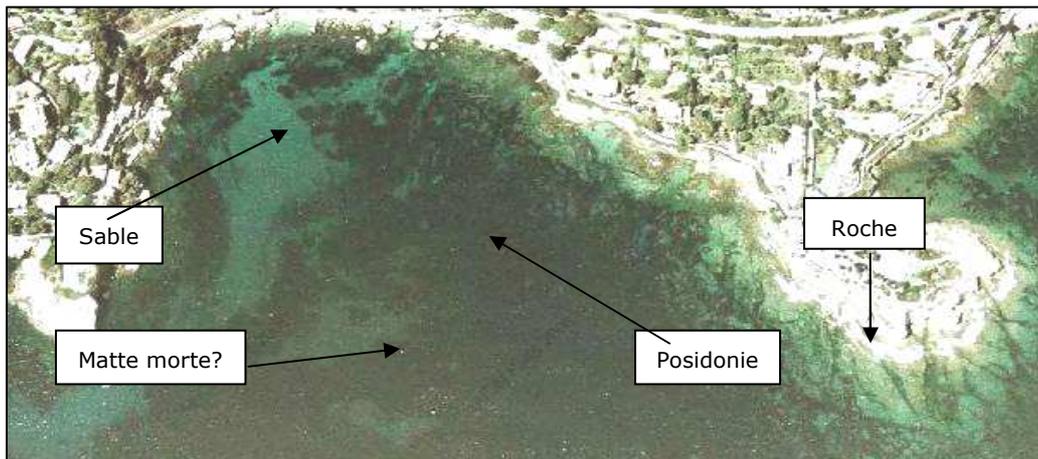
Les photographies utilisées sont fournies par l'IGN et notamment la BD Ortho (photographies aériennes orthorectifiées) de 2004. Des photos aériennes issues d'une campagne aérienne réalisée par TPM en 2006 ont aussi été utilisées.

Interprétation des photographies aériennes

La procédure de traitement appliquée aux clichés permet de les transformer en information géographique thématique. L'interprétation des photographies aériennes a été réalisée par interprétation manuelle sur l'ensemble du secteur d'étude.

Les limites des peuplements correspondent aux changements brusques de teinte ou de densité lumineuse, de part et d'autre d'un contour plus ou moins régulier. Les zones de contact entre les différentes biocénoses apparaissent toutefois de façon variable. En effet, si une zone claire et blanche correspond généralement à une étendue de sable, une zone foncée peut traduire différents types de fonds, confondus entre eux sur la photographie : herbier de posidonie, matte morte, peuplements d'algues sur roche ou tout simplement accumulation de feuilles mortes de posidonies (litière). La carte des contours correspond donc à la position supposée des différents peuplements et types de fonds. Il est alors indispensable de compléter et de valider les informations thématiques obtenues par photo-interprétation, au moyen de vérités terrain.

L'interprétation permet d'aboutir à une maquette de carte des biocénoses à faible profondeur, directement intégrable au SIG.



Exemple d'interprétation d'une photographie aérienne pour la réalisation d'une précartographie

Des photographies plus anciennes ont également été utilisées afin de rendre compte de l'évolution de biocénoses et des aménagements sur le littoral. Ces images constituent un ensemble de mosaïques de photographies aériennes verticales datant des années 1920 à 1950 sur le littoral de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, redressées sur la base de la BDORTHO® ©IGN.

