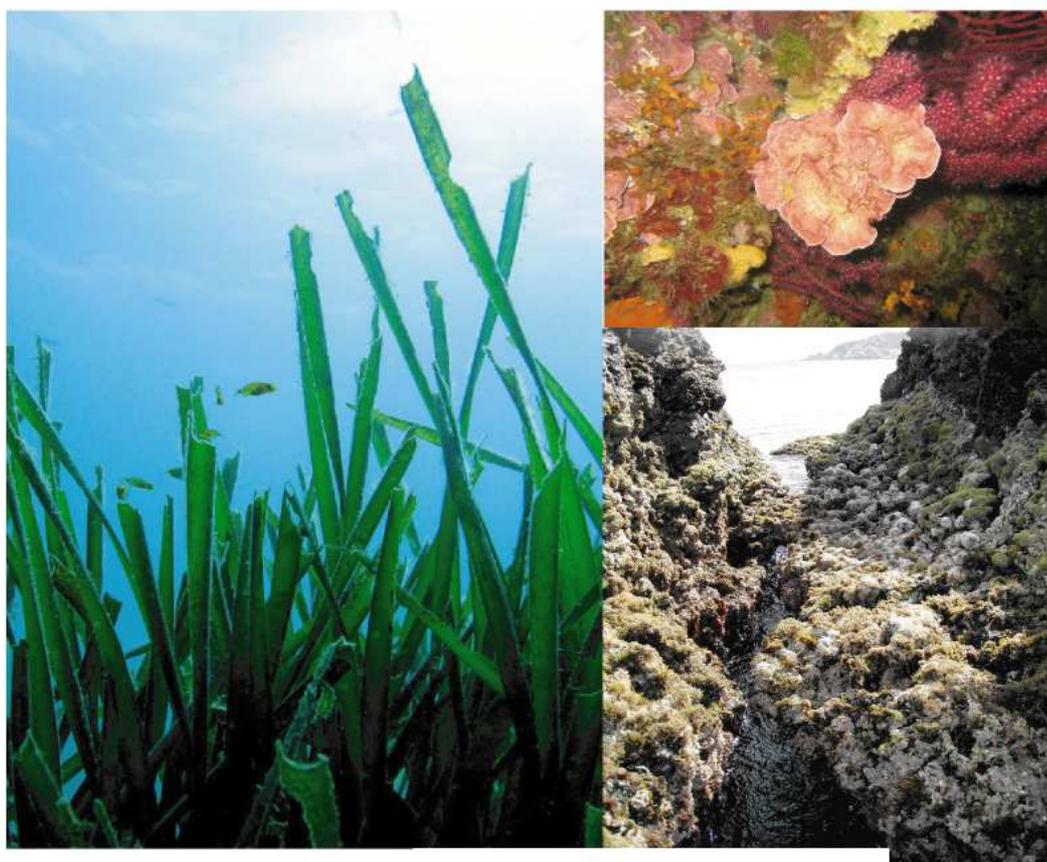


# Site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç"

## Etude des biocénoses marines du site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç"



**SITE NATURA 2000 FR 930 2001  
"LAGUNE DU BRUSC"**

**ÉTUDE DES BIOCENOSSES MARINES DU SITE  
NATURA 2000 FR 9302001 "LAGUNE DU BRUSC"**

**N° du marché : 78/MAP07**

**Commande :**

Communauté d'Agglomération Toulon Provence Méditerranée  
B.P. 536, 83 041 TOULON CEDEX 9.  
Tél. : 04 94 93 83 00. Fax. : 04 94 93 83 83.

**Réalisation :**

Institut Océanographique Paul Ricard  
Ile des Embiez, 83 140 SIX-FOURS-les-PLAGES.  
Tél. : 04 94 34 02 49. Fax. : 04 94 88 05 31.

**Responsable scientifique :**

Professeur Nardo VICENTE, responsable scientifique de l'Institut Océanographique Paul Ricard, Professeur Emérite de l'Université d'Aix-Marseille III, Membre de l'Académie des Sciences, Lettres et Arts de Marseille.

**Responsable de l'étude :**

Jean Luc BONNEFONT, Chef des travaux

**Ce document doit être cité comme suit :**

---

ROUANET E., LELONG P., LECALARD C., REBILLARD D., MAUFFRAY M., RAUBY T., AUBLANC P., BONNEFONT J-L. et MARTIN Y. 2008. Etude des biocénoses marines du site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusca". Contrat Communauté d'Agglomération Toulon Provence Méditerranée – Institut Océanographique Paul Ricard : 169 p.

## AVANT PROPOS

Ce travail a pour objectifs de réaliser les études sur les écosystèmes du périmètre marin du site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç". Ces objectifs se distinguent en trois grandes parties :

➤ Rédaction d'une analyse bibliographique de la littérature relative au site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç"

➤ Réalisation de cartographies générales des habitats et déclinaisons d'habitats présents sur le site

- herbiers à posidonie (1120\* - habitat prioritaire)
- lagunes méditerranéennes (1150-2\* - habitat prioritaire)
- sables grossiers et fins graviers sous influence de courant de fond (1110-7)
- sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (1110-8)
- galets infralittoraux (1110-9)
- sédiments détritiques médiolittoraux (1140-10)
- sables vaseux de mode calme (1160-3)
- roche médiolittorale inférieure (1170-12)
- roche infralittorale à algues photophiles (1170-13)
- coralligène (1170-14)
- biocénoses des grottes semi-obscuras (8330-3)

➤ Réalisation d'analyses écologiques de plusieurs biocénoses

- limite inférieure de l'herbier à posidonie (type de limite, morphologie générale de l'herbier, présence éventuelle de structures érosives ou de ripple-marks, type de substrat, mesure de la densité de l'herbier<sup>1</sup>)

- encorbellements à Lithophyllum et forêts de cystoseires (classe d'abondance, forme et épaisseur des encorbellements)

- coralligène (description générale, études de la faune dressées et de la faune et flore non dressées)

- peuplements de la lagune (mesures du taux de recouvrement des différents peuplements)

- grottes semi-obscuras (description et détermination des différents faciès)

➤ Recommandations et propositions de mesures de protection et de gestion

➤ Réalisation de fiches descriptives des habitats et espèces d'intérêt communautaire

---

<sup>1</sup> Nous avons également effectué des mesures du taux de recouvrement de l'herbier, mesures qui n'étaient pas stipulées dans le dossier de consultation.

## SOMMAIRE

Liste des tableaux .....	5
Liste des figures .....	6
<b>A. INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>9</b>
<b>A.1. QU'EST CE QUE LE RESEAU NATURA 2000 ? .....</b>	<b>9</b>
<b>A.2. NATURA 2000 EN FRANCE .....</b>	<b>10</b>
<b>A.3. DESIGNATION DU SITE FR 9302001 "LAGUNE DU BRUSC" .....</b>	<b>10</b>
<b>B. CARACTERISTIQUES GENERALES .....</b>	<b>12</b>
<b>B.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....</b>	<b>12</b>
<b>B.1.1. Localisation de la zone d'étude .....</b>	<b>12</b>
<b>B.1.2. Le relief .....</b>	<b>14</b>
<b>B.1.3. Le climat .....</b>	<b>14</b>
<b>B.1.4. Le réseau hydrographique .....</b>	<b>17</b>
<b>B.1.5. Le développement urbain et l'aménagement du littoral .....</b>	<b>17</b>
<b>B.2. CONTEXTE METEOROLOGIQUE ET OCEANOGRAPHIQUE .....</b>	<b>17</b>
<b>B.2.1. L'hydrologie .....</b>	<b>18</b>
<b>B.2.2. Les houles .....</b>	<b>19</b>
<b>B.2.3. Les courants .....</b>	<b>19</b>
<b>B.2.4. La qualité des eaux .....</b>	<b>24</b>
<b>B.2.5. Les espèces invasives .....</b>	<b>25</b>
<b>B.3. BATHYMETRIE ET TOPOGRAPHIE SOUS MARINE .....</b>	<b>25</b>
<b>C. CARACTERISATION ET DESCRIPTION BIOLOGIQUE .....</b>	<b>28</b>
<b>C.1. CARACTERISATION DES HABITATS NATURELS .....</b>	<b>28</b>
<b>C.1.1. Herbiers à Posidonie (1120* - habitat prioritaire) .....</b>	<b>28</b>
<b>C.1.2. Lagunes méditerranéennes (1150-2* - habitat prioritaire) .....</b>	<b>33</b>
<b>C.1.3. Sédiments détritiques médiolittoraux (1140-10) .....</b>	<b>37</b>
<b>C.1.4. Sables vaseux de mode calme (1160-3) .....</b>	<b>38</b>
<b>C.1.5. La roche médiolittorale inférieure (1170-12) .....</b>	<b>38</b>
<b>C.1.6. La roche infralittorale à algues photophiles (1170-13) .....</b>	<b>41</b>
<b>C.1.7. Le coralligène (1170-14) .....</b>	<b>42</b>
<b>C.1.8. Grottes semi-obscuras (8330-3) .....</b>	<b>46</b>
<b>C.2. CARACTERISATION DES ESPECES NATURELLES .....</b>	<b>47</b>
<b>C.2.1. Les habitats d'espèces de l'annexe 2 de la directive Habitats .....</b>	<b>47</b>
<b>C.2.2. Les habitats d'espèces de l'annexe 4 de la directive Habitats .....</b>	<b>49</b>
<b>C.2.3. Les habitats d'espèces de l'annexe 5 de la directive Habitats .....</b>	<b>52</b>

<b>D. METHODOLOGIE D'ETUDE</b> .....	55
<b>D.1. CARTOGRAPHIE DES HABITATS</b> .....	55
<b>D.2. ANALYSES ECOLOGIQUES DES HABITATS</b> .....	60
<b>D.2.1. Herbiers à posidonie (1120*)</b> .....	60
<b>D.2.2. Lagunes méditerranéennes (1150-2*)</b> .....	68
<b>D.2.3. Sédiments détritiques médiolittoraux (1140-10)</b> .....	68
<b>D.2.4. Roche médiolittorale inférieure (1170-12) et roche infralittorale à algues photophiles (1170-13)</b> .....	69
<b>D.2.5. Coralligène (1170-14)</b> .....	70
<b>D.2.6. Grottes semi-obscurées (8330-3)</b> .....	75
<b>D.2.7. Traitements statistiques des données</b> .....	76
<b>D.3. SYNTHESE DES ANALYSES ECOLOGIQUES</b> .....	77
<b>E. Analyse écologique des habitats d'intérêt communautaire</b> .....	78
<b>E.1. TYPOLOGIE DU LINEAIRE COTIER</b> .....	78
<b>E.2. HERBIER A POSIDONIE (1120*)</b> .....	78
<b>E.2.1. Analyse cartographique de l'herbier à posidonie</b> .....	78
<b>E.2.2. Analyse écologique de l'herbier à posidonie</b> .....	78
<b>E.3. LAGUNES MEDITERRANEENNES (1150-2*)</b> .....	86
<b>E.3.1. Analyse cartographique de la lagune</b> .....	86
<b>E.3.2. Analyse écologique de la lagune</b> .....	86
<b>E.4. SEDIMENTS DETRITIQUES MEDIOLITTORAUX (1140-10)</b> .....	89
<b>E.5. ROCHE MEDIOLITTORALE INFERIEURE (1170-12) ET ROCHE INFRALITTORALE A ALGUES PHOTOPHILES (1170-13)</b> .....	89
<b>E.5.1. <i>Lithophyllum lichenoides</i> (= <i>L. byssoides</i>)</b> .....	90
<b>E.5.2. <i>Cystoseira amantacea</i> var. <i>stricta</i></b> .....	91
<b>E.6. CORALLIGENE (1170-14)</b> .....	91
<b>E.6.1. Description des sites et localisation des transects d'étude</b> .....	91
<b>E.6.2. Description des espèces dressées</b> .....	98
<b>E.6.3. Description de la faune et de la flore non dressées</b> .....	115
<b>E.6.4. Synthèse</b> .....	124
<b>E.7. GROTTES SEMI-OBSCURES (8330-3)</b> .....	127
<b>E.8. SYNTHESE DE L'ETAT ECOLOGIQUE</b> .....	133
<b>F. RECOMMANDATIONS ET PROPOSITIONS DE MESURES DE PROTECTION ET DE GESTION</b> .....	134
<b>F.1. HERBIER A POSIDONIE (1120*)</b> .....	134

<b>F.2. LAGUNES MEDITERRANEENNES (1150-2*)</b> .....	135
<b>F.3. SEDIMENTS DETRITIQUES MEDIOLITTORAUX (1140-10)</b> .....	137
<b>F.4. ROCHE MEDIOLITTORALE INFERIEURE (1170-12) ET ROCHE INFRALITTORALE A ALGUES PHOTOPHILES (1170-13)</b> .....	137
<b>F.4.1. <i>Lithophyllum lichenoides</i> (= <i>L. byssoides</i>)</b> .....	137
<b>F.4.2. <i>Cystoseira amantacea</i> var. <i>stricta</i></b> .....	138
<b>F.5. CORALLIGENE (1170-14)</b> .....	139
<b>F.6. GROTTES SEMI-OBSCURES (8330-3)</b> .....	140
<b>F.7. TABLEAU DE SYNTHESE</b> .....	142
<b>G. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	149
<b>H. ANNEXES</b> .....	157
<b>ANNEXE 1 - PHOTOGRAPHIES DES BALISES POSITIONNEES AU ZOOM NORD DE LA LIMITE     INFERIEURE DE L'HERBIER DE POSIDONIE</b> .....	i
<b>ANNEXE 2 - PHOTOGRAPHIES DES BALISES POSITIONNEES AU ZOOM OUEST DE LA LIMITE     INFERIEURE DE L'HERBIER DE POSIDONIE</b> .....	v
<b>ANNEXE 3 - PHOTOGRAPHIES DES BALISES POSITIONNEES AU ZOOM SUD DE LA LIMITE     INFERIEURE DE L'HERBIER DE POSIDONIE</b> .....	ix

<b>Liste des tableaux</b>
---------------------------

- Tableau I** – Habitats et déclinaisons d'habitats d'intérêt communautaire présents sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç".
- Tableau II** – Espèces d'intérêt communautaire présentes sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç".
- Tableau III** – Espèces inscrites dans les annexes IV et V présentes sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç".
- Tableau IV** – Evolution mensuelle de l'insolation à Toulon normale calculée sur la période 1991-2000.
- Tableau V** – Densité moyenne (nombre de faisceaux par m<sup>2</sup>) et taux de recouvrement moyen (en pourcentage) le long du balisage de la limite inférieure de l'herbier de posidonie du Brusç : résultats du suivi de 2003 du Réseau de Surveillance Posidonie en PACA.
- Tableau VI** – Densité moyenne (nombre de faisceaux par m<sup>2</sup>) et taux de recouvrement moyen (en pourcentage) le long du balisage de la limite supérieure de l'herbier de posidonie du Brusç : résultats du suivi de 2003 du Réseau de Surveillance Posidonie en PACA.
- Tableau VII** – Densité de *Pinna nobilis* autour de l'archipel des Embiez.
- Tableau VIII** – Points GPS des stations étudiées pour l'évaluation de l'état écologique de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica*.
- Tableau IX** – Points GPS des quatre stations étudiées pour l'évaluation de l'état écologique des deux récifs barrière de *Posidonia oceanica*.
- Tableau X** – Echelle d'interprétation du recouvrement (faible, moyen, fort) en fonction des pourcentages moyens mesurés le long des limites supérieures et inférieures de l'herbier.
- Tableau XI** - Classification de l'herbier de Posidonie selon la densité de faisceaux au m<sup>2</sup>, d'après Giraud (1977).
- Tableau XII** - Densité moyenne anormale, presque normale et normale des faisceaux de feuilles de *Posidonia oceanica*, en fonction de la profondeur, d'après Pergent *et al.* (1995), modifié.
- Tableau XII** – Coordonnées GPS des deux extrémités du transect permanent qui traverse le récif barrière de part en part.
- Tableau XIII** – Echelle d'évaluation de l'état de développement des thalles de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*).
- Tableau XIV** – Echelle d'interprétation des classes d'abondance des différents type de développement de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*).
- Tableau XV** – Echelle d'interprétation de la densité de *Cystoseira amentacea* var. *stricta*.
- Tableau XVI** - Points GPS des sites "plongés" prospectées pour l'évaluation de l'état écologique du coralligène autour de l'archipel des Embiez.
- Tableau XVII** – Echelle d'évaluation des taux de nécrose chez les gorgones.
- Tableau XVIII** – Echelle d'évaluation des classes de taille chez *Spongia officinalis*.
- Tableau XIX** – Calendrier des plongées réalisées en scaphandre autonome pour l'évaluation de l'état écologique du coralligène.
- Tableau XX** - Points GPS des sites prospectés pour l'évaluation de l'état écologique des grottes semi-obscuras autour de l'archipel des Embiez.
- Tableau XXI** – Cotation des critères caractérisant les habitats d'intérêt communautaire.
- Tableau XXII** – Localisation et mesures des plages et des banquettes de *Posidonia oceanica* associées sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç". Les plages sont numérotées dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, depuis la plage des salins, à l'ouest du port, aux plages du Canoubié, à l'est du port des Embiez.
- Tableau XXIII** – Densité linéaire totale (haut) et sur substrat rocheux (bas) en pourcentage de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*) de type I, II et III et de *Cystoseira amantacea* var. *stricta* selon quatre classes d'abondance sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç".
- Tableau XXIV** – Description des quatre encorbellements de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*) présents sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç".
- Tableau XXV** – Liste des paramètres écologiques à mesurer pour approfondir les données concernant l'état écologique de l'herbier de *Posidonia oceanica* autour de l'archipel des Embiez.
- Tableau XXVI** – Quelques paramètres à étudier pour l'évaluation de l'état du stock des espèces commerciales.

<b>Liste des figures</b>
--------------------------

- Figure 1** – Les objectifs de Natura 2000 (d'après [www.natura2000.fr](http://www.natura2000.fr)).
- Figure 2** – Localisation du site Natura 2000 FR 930 2001 "Lagune du Brusc".
- Figure 3** – Températures de l'air maxima et minima moyens ("Normales" de la période de référence 1971-2000 et des dix dernières années 1999-2008) à la station de Toulon (source : Météo France).
- Figure 4** – Précipitations mensuelles moyennes ("Normales" de la période de référence 1971-2000 et des dix dernières années 1999-2008) à la station de Toulon.
- Figure 5** – Rose des vents de la station météorologique de Toulon en 2001.
- Figure 6** – Principaux courants et phénomènes par régime de Mistral établi.
- Figure 7** – Régime de courants par situation de fort Mistral (15 m/s).
- Figure 8** – Principaux courants et phénomènes par régime de vent d'est / sud-est établi.
- Figure 9** – Régime de courants par situation de vent d'est / sud-est.
- Figure 10** – Principaux courants et phénomènes par régime de marée.
- Figure 11** - Courantologie de la lagune du Brusc. Courants entrants et sortants par vents de secteurs ouest et de secteur est.
- Figure 12** – Carte bathymétrique de l'archipel des Embiez.
- Figure 13** – Photographie d'un herbier de posidonie.
- Figure 14** – Bloc diagramme schématique de l'herbier à *Posidonia oceanica*. Dans la matte, on reconnaît les rhizomes plagiotropes (rampants) et orthotropes (verticaux).
- Figure 15** - Schéma général de la formation et de l'évolution temporelle d'un récif barrière de posidonie.
- Figure 16** – Photographies d'herbiers de *Cymodocea nodosa*.
- Figure 17** – Photographie de *Zostera noltii*.
- Figure 18** – Photographie d'*Upogebia* sp.
- Figure 19** – Photographie d'une banquette de posidonie (*Posidonia oceanica*) sur une plage de l'île des Embiez.
- Figure 20** – Photographies de thalle calcaire de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*).
- Figure 21** – Bloc diagramme schématique d'un encoorbellement à *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*).
- Figure 22** – Photographie de *Cystoseira amantacea* var. *stricta*.
- Figure 23** - Aspect morphologique d'un encoorbellement de Corallinacées dans le coralligène.
- Figure 24** – Quelques paysages et espèces caractéristiques du coralligène.
- Figure 25** – *Caretta caretta*.
- Figure 26** – *Tursiops truncatus*.
- Figure 27** – *Monachus monachus*.
- Figure 28** – *Pinna nobilis*.
- Figure 29** – Carte du recensement de *Pinna nobilis* réalisé en 2006 autour de l'archipel des Embiez.
- Figure 30** – *Patella ferruginea*.
- Figure 31** – *Lithophaga lithophaga*.
- Figure 32** – *Centrostephanus longispinus*.
- Figure 33** – *Corallium rubrum*.
- Figure 34** – *Scyllarides latus*.
- Figure 35** - Schéma de principe simplifié de l'acquisition sonar latéral.
- Figure 36** - Sonar DSSS, station d'acquisition, rendu sur SIG.
- Figure 37** - Réalisation des mesures au sonar latéral sur la zone d'étude en février 2008.
- Figure 38** – Principe de la méthode de DIVA de Détection et Inspection Verticale Acoustique.
- Figure 39** – Illustration de la superposition des données sonar et méthode de détection acoustique.
- Figure 40** – Résultat de l'application de DIVA autour des Embiez. Les croix vertes symbolisent l'herbier de posidonie, les croix jaunes les autres biocénoses (la méthode ne permet pas encore de faire la distinction). Les traits rouges matérialisent la limite du site Nature 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusc".
- Figure 41** - Localisation des stations étudiées pour l'évaluation de l'état écologique de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica*.
- Figure 42** - Localisation des quatre stations étudiées et du transect permanent suivi pour l'évaluation de l'état écologique des deux récifs barrière de *Posidonia oceanica*.
- Figure 43** - Schéma du carré permanent de 6 m de côté, mis en place à la station S2 sur le récif barrière nord de *Posidonia oceanica*. Le quadrillage en petits carrés de 1m<sup>2</sup>, au moyen de cordes, destiné à la cartographie, est en place. Ces cordes seront retirées à l'issue de la cartographie.
- Figure 44** - Mesure du recouvrement de l'herbier à *Posidonia oceanica* par un plongeur nageant à 3 m au-dessus du fond. Trois exemples de comptage du nombre de carrés occupés (plus ou moins complètement) par l'herbier (en bas).
- Figure 45** – Schéma du quadrat utilisé pour la mesure des taux de recouvrement aux stations de la

lagune.

**Figure 46** – Mesure de la densité de l'herbier à l'aide d'un quadrat de 20 cm de côté.

**Figure 47** – Mise en place des balises (petites bornes de géomètre "Faynot") utilisées pour le suivi des limites d'herbier.

**Figure 48** – Pose de balise de géomètre pour matérialiser la limite inférieure de l'herbier de posidonie et le carré permanent au niveau du récif barrière de posidonie nord.

**Figure 49** – Localisation des sites prospectés pour l'évaluation de l'état écologique du coralligène autour de l'archipel des Embiez.

**Figure 50** – Mesure de la taille des gorgones le long d'un transect sur le coralligène de paroi.

**Figure 51** – Représentation des stades de nécrose 10%, 25%, 50% et 75%. En rouge : partie vivante ; en gris : partie nécrosée.

**Figure 52** – Degré d'exposition des colonies de bryozoaire comme épibiontes, sur des surfaces convexes, des surfaces planes, dans une cavité et sous un surplomb (5).

**Figure 53** – Echantillonnage des espèces non dressées par photo quadrat.

**Figure 54** – Analyse d'un photo-quadrat grâce à une grille de 25 carrées de 6 x 4 cm sur le logiciel Photoshop.

**Figure 55** – Localisation des sites prospectés pour l'évaluation de l'état écologique des grottes semi-obscurtes autour de l'archipel des Embiez.

**Figure 56** – Tache de l'algue invasive *Caulerpa racemosa* au niveau du zoom ouest. Les trois photographies correspondent à la même tache mais avec trois prises de vue.

**Figure 57** – Schéma des taches de sable observées en arrière des balises B1, B2, B3 et B4 sur le zoom sud de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.

**Figure 58** – Schéma du tombant de sable et des éperons de concrétionnement de coralligène situés au sud de la balise B11 du zoom sud de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.

**Figure 59** – Mesure du taux de recouvrement (%) de *Posidonia oceanica* le long des balisages des trois zooms de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.

**Figure 60** – Mesure du taux de recouvrement (%) de *Posidonia oceanica* aux quatre stations d'échantillonnage des deux récifs barrière.

**Figure 61** – Mesure de la densité (nombre de faisceaux de posidonie par m<sup>2</sup>) de *Posidonia oceanica* le long des balisages des trois zooms de la limite inférieure de l'herbier de posidonie. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

**Figure 62** – Mesure de la densité (nombre de faisceaux/m<sup>2</sup>) de *Posidonia oceanica* aux quatre stations d'échantillonnage des deux récifs barrière. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

**Figure 63** – Schéma du carré permanent localisé au centre du récif barrière nord de posidonie de la lagune du Brusç (station S2).

**Figure 64** – Schéma du balisage mis en place à la station "nord" de la limite inférieure de l'herbier de posidonie. Sur le site, il n'y a pas la balise numérotée B7 ; à la place, afin de couvrir les 100 m de linéaire, nous avons posé une balise numérotée B12.

**Figure 65** – Schéma du balisage mis en place à la station "ouest" de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.

**Figure 66** – Schéma du balisage mis en place à la station "sud" de la limite inférieure de l'herbier de posidonie

**Figure 67** – Observations de *Caulerpa taxifolia* (à gauche) et *C. racemosa* (à droite) dans la lagune du Brusç.

**Figure 68** - Coupe transversale du récif-barrière de posidonie le long du transect n°19 de l'étude menée par Bernard *et al.* (2002).

**Figure 69** – Réactualisation de 2008 de la coupe transversale du récif-barrière de posidonie le long du transect n°19 de l'étude menée par Bernard *et al.* (2002).

**Figure 70** – Site de la Pierre du Jas

**Figure 71** – Site de la Merveilleuse

**Figure 72** – Site de la Plate aux Mérous

**Figure 73** – Site de la Pierre à Christian

**Figure 74** – Site de la Pierre à Charlie

**Figure 75** – Site du Cougousset

**Figure 76** – Site de Pierre Athéna

**Figure 77** – Densité (nb colonies/m<sup>2</sup>) de colonies de *Paramuricea clavata* observées sur le coralligène de paroi de l'ensemble des sites étudiés.

**Figure 78** – Structure de taille des colonies de *Paramuricea clavata* sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

**Figure 79** – Taux de nécroses observés sur les colonies de *Paramuricea clavata* recensées sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

**Figure 80** – Taux de nécroses observés par classe de taille des colonies de *Paramuricea clavata*

recensées sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

**Figure 81** – Densité (nb colonies/m<sup>2</sup>) de colonies d'*Eunicella cavolinii* observées sur le coralligène de plateau et de paroi de l'ensemble des sites étudiés.

**Figure 82** – Structure de taille des colonies d'*Eunicella cavolinii* sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

**Figure 83** – Taux de nécroses observés sur les colonies d'*Eunicella cavolinii* recensées sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

**Figure 84** – Taux de nécroses observés par classe de taille des colonies d'*Eunicella cavolinii* recensées sur le coralligène de plateau de l'ensemble des sites étudiés.

**Figure 85** – Taux de nécroses observés par classe de taille des colonies d'*Eunicella cavolinii* recensées sur le coralligène de paroi de l'ensemble des sites étudiés.

**Figure 86** – Densité (nb colonies/m<sup>2</sup>) de colonies de *Pentapora fascialis* observées sur le coralligène de plateau et de paroi de l'ensemble des sites étudiés.

**Figure 87** – Structure de taille de la hauteur des colonies de *Pentapora fascialis* sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

**Figure 88** – Structure de taille du diamètre des colonies de *Pentapora fascialis* sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

**Figure 89** – Degré d'exposition des colonies de *Pentapora fascialis* comme épibiontes (1), sur des surfaces convexes (2), des surfaces planes (3), dans une cavité (4) et sous un surplomb (5) recensées sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

**Figure 90** – Densité (nb individus/m<sup>2</sup>) du spongiaire *Axinella polypoïdes* observé sur le coralligène de plateau et de paroi de l'ensemble des sites étudiés.

**Figure 91** – Structure de taille du spongiaire *Axinella polypoïdes* sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

**Figure 92** - Pourcentage de recouvrement (en %) des débris et de l'ombre sur les transects de chaque site.

**Figure 93** - Pourcentage de recouvrement des animaux et des végétaux sur les transects de chaque site.

**Figure 94** - Proportion relative (en %) des différents embranchements sur les transects de chaque site.

**Figure 95** - Proportion relative (en %) des différents embranchements de la faune sur les transects de chaque site.

**Figure 96** - Répartition des différents taxons sur les transects horizontaux H et verticaux V de chaque site.

**Figure 97** - Indice de Shannon-Wiener (H') et indice d'équitabilité de Pielou (J) calculés pour les transects horizontaux et verticaux de chaque site.

**Figure 98** – Ponte d'une colonie de gorgone pourpre *Paramuricea clavata*.

**Figure 99** – Balisage marin matérialisant l'interdiction de naviguer dans la lagune du Brusç (AP n°3/2000 et AM n°24143) situé au milieu du récif barrière de *Posidonia oceanica*.

**Figure 100** – Pêcheur de "machottes" dans la lagune du Brusç malgré l'interdiction de piétiner (AP n°3/2000 et AM n°24143).

**Figure 101** – Filet de pêche sur une roche à coralligène.

**Figure 102** – Bouée d'ancrage de type "Harmony" directement fixée sur la roche par un socle métallique.

## A. INTRODUCTION GENERALE

### A.1. QU'EST CE QUE LE RESEAU NATURA 2000 ?

Natura 2000 est un réseau européen institué par la directive 92/43/CEE du 21 mai 1992 sur la conservation des habitats naturels de la faune et de la flore sauvages, dite directive "Habitats". L'adoption de cette directive doit permettre de réaliser les objectifs de développement durable fixés par l'Union Européenne. Il s'agit d'un outil majeur de la conservation du patrimoine naturel tenant compte des exigences économiques, sociales et culturelles mais aussi des particularités régionales et locales présentes sur les sites désignés (fig. 1).

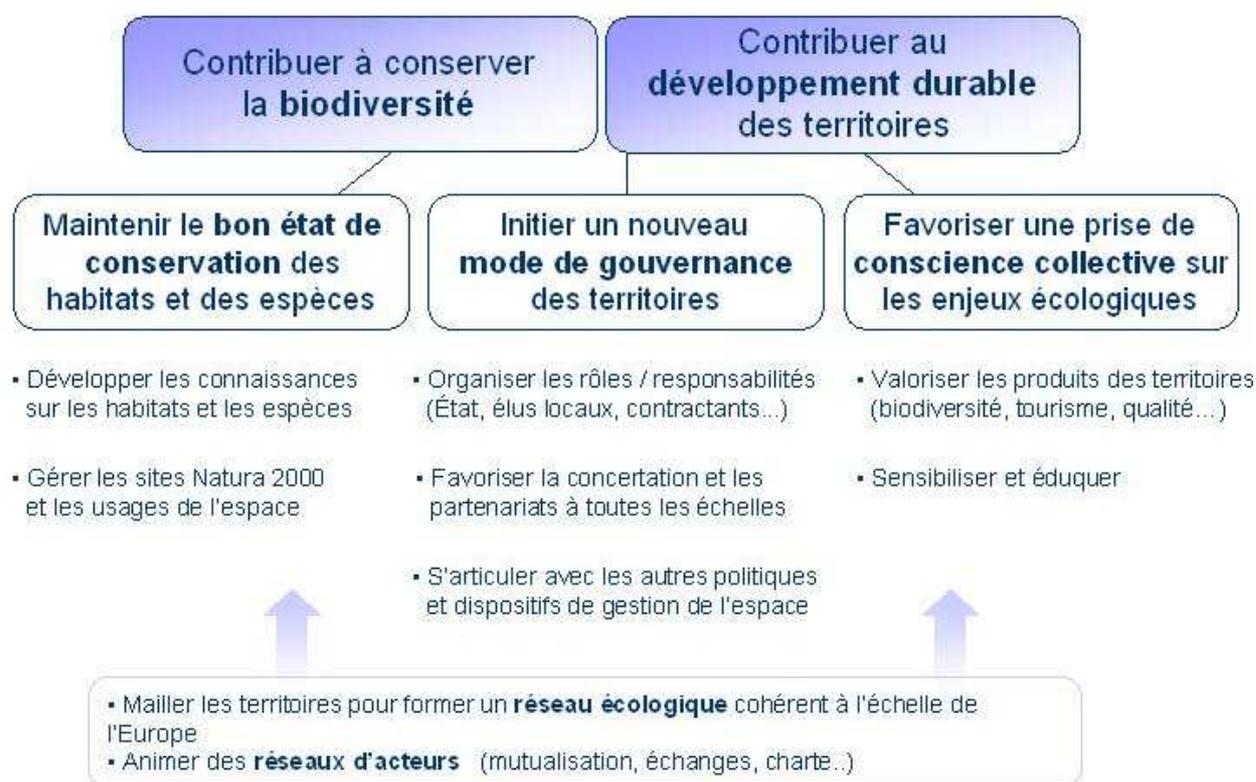


Figure 1 – Les objectifs de Natura 2000 (d'après [www.natura2000.fr](http://www.natura2000.fr)).

Pour atteindre ces objectifs, un réseau Natura 2000 a été créé sur l'ensemble du territoire européen. Il regroupe des sites abritant des habitats naturels et des habitats d'espèces animales ou végétales dits d'intérêt communautaire, c'est-à-dire en importante régression ou en voie de disparition sur l'ensemble du territoire. Lorsque les menaces sont particulièrement marquées, ces habitats d'intérêt communautaire sont qualifiés de prioritaires.

Les sites "susceptibles d'être reconnus d'importance communautaire" (pSIC) sont proposés à la Commission européenne par chaque Etat membre. Ils doivent être suffisamment nombreux sur l'ensemble du territoire européen pour assurer une conservation efficace des habitats d'intérêt communautaire. Ces pSIC sont évalués par la Commission européenne, puis ils sont désignés en "Zones Spéciales de Conservation" (par arrêté ministériel en France). Aujourd'hui, fort de 25 000 sites, le réseau Natura 2000 participe activement à la préservation des habitats naturels et des espèces sur l'ensemble du territoire de l'Union Européenne (des 25).

## **A.2. NATURA 2000 EN FRANCE**

L'Europe laisse aux Etats membres le choix de la démarche à adopter pour atteindre les objectifs fixés dans le cadre des directives communautaires. Cette liberté s'apprécie au regard des traditions, us et coutumes de chaque membre de l'Union.

Les propositions des sites Natura 2000 français ont été réalisées sur la base des connaissances disponibles et validées par les Conseils Scientifiques Régionaux du Patrimoine Naturel (CSRPN) et le Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN). Après une phase de consultation locale menée par les Préfets de département auprès des collectivités, les propositions françaises de sites d'intérêt communautaire ont été transmises à la Commission Européenne.

La démarche française est basée sur la concertation et s'appuie sur l'intégration de la politique de préservation de la biodiversité et de protection des espèces et habitats naturels à tous les échelons de la gestion des territoires. La concertation avec les acteurs du site concerné a pour but de définir les objectifs du site qui concourront au maintien ou à l'amélioration de l'état de conservation des habitats naturels et des espèces pour lequel ce site a été désigné. Pour cela, la France a choisi de mettre en place un plan de gestion spécifique à chaque site appelé "Document d'Objectifs" (DOCOB). Le DOCOB est à la fois un document de diagnostic du patrimoine naturel et un document d'orientation et d'aide à la décision pour les acteurs locaux. Ce plan de gestion doit être élaboré dans une démarche réunissant l'ensemble des acteurs concernés afin de prendre en compte les exigences biologiques tout en intégrant les enjeux socio-économiques.

En mai 2007, la France comptait 1 706 sites Natura 2000 à travers son territoire, soit 6,82 millions d'hectares. A cette même date, Natura 2000 mer ne représentait que 697 000 hectares, soit 10,2% de la superficie totale des sites Natura 2000. Dans le département du Var, on compte 29 sites Natura 2000 soit 8 "Zones de Protection Spéciale" (ZPS) et 21 SIC/pSIC dont 7 ayant une partie marine ([www.natura2000.fr](http://www.natura2000.fr)).

## **A.3. DESIGNATION DU SITE FR 9302001 "LAGUNE DU BRUSC"**

Après consultation, ce site a été proposé à l'inscription au futur réseau Natura 2000 en mars 1999 sous le code FR 9302001. Il comprend la lagune du Brusc et l'ensemble de l'archipel des Embiez jusqu'à l'isobathe -30 m. Le site Natura 2000 "Lagune du Brusc" s'étend sur une superficie totale de 504 hectares.

Le site FR 930 2001 "Lagune du Brusc" a été retenu pour la présence seize habitats et déclinaisons d'habitats d'intérêt communautaire dont deux habitats prioritaires (tab. I), deux espèces d'intérêt communautaire dont une prioritaire (tab. II), quatre espèces inscrites dans l'annexe IV comme espèces strictement protégées et deux espèces inscrites dans l'annexe V comme espèces dont le prélèvement dans la nature est réglementé (tab. III) (Cahiers d'Habitats Natura 2000, 2005).

**Tableau I** – Habitats et déclinaisons d'habitats d'intérêt communautaire présents sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç".

Habitat d'intérêt communautaire	Déclinaison d'habitat	Code Natura 2000
Herbiers à Posidonies		1120* habitat prioritaire
Lagunes côtières	Lagunes méditerranéennes	1150-2* habitat prioritaire
Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine	Sables grossiers et fins graviers sous influence de courant de fond	1110-7
	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues	1110-8
	Galets infralittoraux	1110-9
Replats boueux ou sableux exondés à marée basse	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide	1140-7
	Laisses à dessiccation lente	1140-8
	Sables médiolittoraux	1140-9
	Sédiments détritiques médiolittoraux	1140-10
Grande criques et baies peu profondes	Sables vaseux de mode calme	1160-3
Récifs	Roche supralittorale	1170-10
	Roche médiolittorale supérieure	1170-11
	Roche médiolittorale inférieure	1170-12
	Roche infralittorale à algues photophiles	1170-13
	Coralligène	1170-14
Grottes marines submergées ou semi-submergées	Biocénoses des grottes semi obscures	8330-3

**Tableau II** – Espèces d'intérêt communautaire présentes sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç".

Espèce d'intérêt communautaire	Code Natura 2000
La tortue Caouanne ( <i>Caretta caretta</i> )	1224* espèce prioritaire
Le grand dauphin ( <i>Tursiops truncatus</i> )	1349

**Tableau III** – Espèces inscrites dans les annexes IV et V présentes sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç".

Espèce	Annexe
Grande nacre ( <i>Pinna nobilis</i> ) Patelle géante ( <i>Patella ferruginea</i> ) Datte de mer ( <i>Lithophaga lithophaga</i> ) Oursin diadème ( <i>Centrostephanus longispinus</i> )	IV
Corail rouge ( <i>Corallium rubrum</i> ) Grande cigale ( <i>Scyllarides latus</i> )	V

## B. CARACTERISTIQUES GENERALES

---

### B.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

#### B.1.1. Localisation de la zone d'étude

Le site Natura 2000 FR 930 2001 "Lagune du Brusç" se situe dans le département du Var sur la commune de Six-Fours-les-Plages (fig. 2). Ce site peut être découpé en deux entités : la lagune du Brusç d'une part et les hauts fonds de l'archipel des Embiez d'autre part.

La lagune du Brusç, d'une superficie de 62 ha, se situe au sud-est du port du Brusç. Elle est délimitée à l'est par le continent, au sud par les îles du Petit Gaou et du Grand Gaou, et à l'ouest par l'île des Embiez. Au nord, elle est délimitée par un récif barrière de *Posidonia oceanica*, s'étendant de l'île des Embiez en direction nord-ouest/sud-est jusqu'à l'extrémité de la jetée du port du Brusç. Trois passes relie la zone sud de la lagune à la mer :

- la passe du Petit Gaou, entre le continent et l'île du Petit Gaou ;
- la passe du Grand Gaou, entre les îles de Petit Gaou et du Grand Gaou ;
- la passe des Embiez, entre les îles du Grand Gaou et des Embiez.

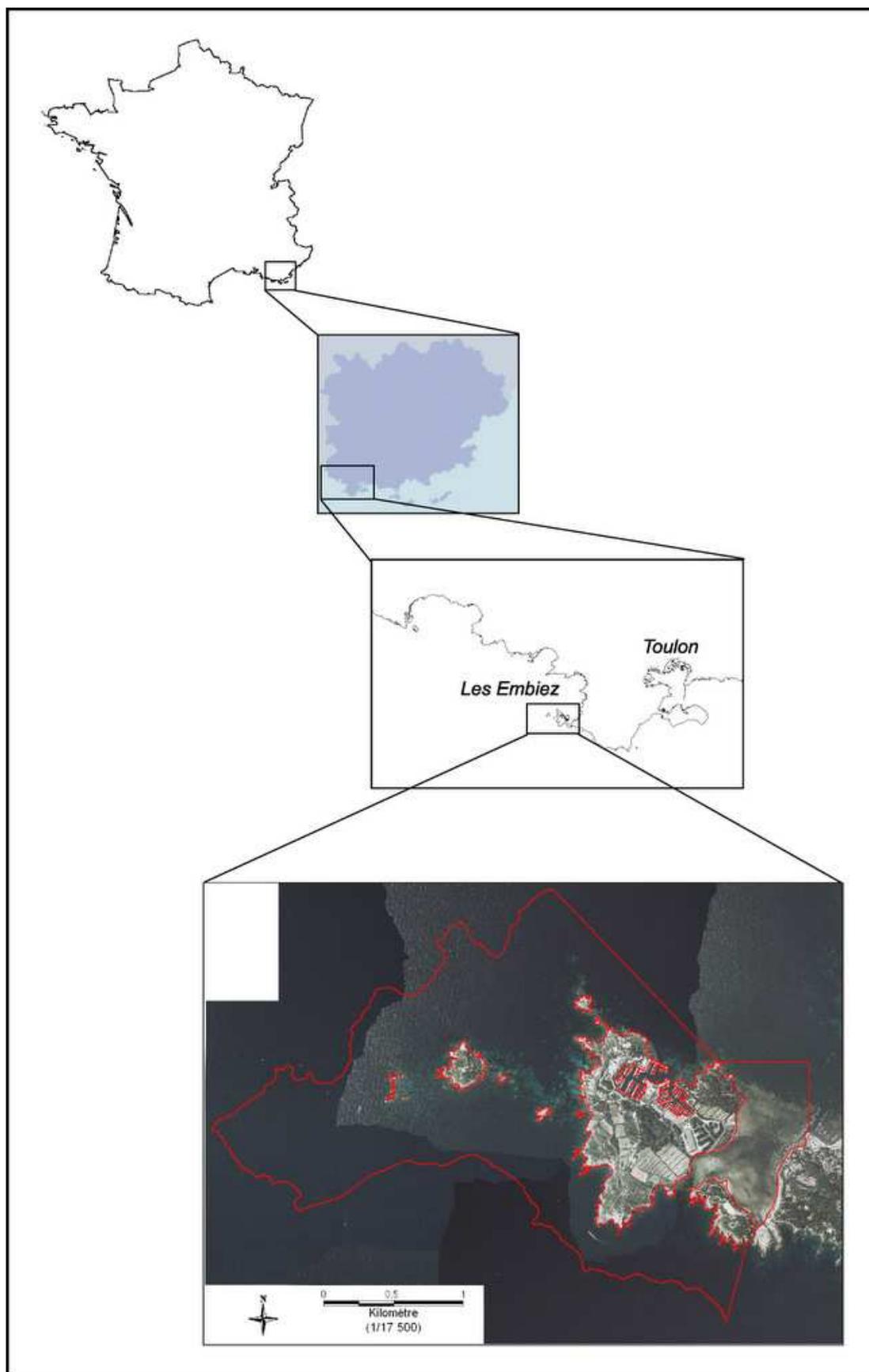
La lagune a fait l'objet en 1987 d'un classement en Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) codifiée 83M06 (Inventaire ZNIEFF 83M06, 1987). Une actualisation de l'inventaire ZNIEFF de 2<sup>ème</sup> génération de type II<sup>2</sup> a été réalisée en 2006, sous le code 83 004 (Inventaire ZNIEFF 2<sup>ème</sup> génération 83 004 000, 2004)

Les hauts fonds de l'archipel des Embiez sont délimités en profondeur par l'isobathe -30 m. L'archipel comprend l'île des Embiez, l'île du Gaou au sud-est, l'île du Petit Rouveau au nord-ouest, l'île du Grand Rouveau à l'ouest, l'îlot de la Cauvelle entre les îles des Embiez et du Grand Rouveau et les rochers des Magnons à l'ouest de l'archipel. La partie occidentale de l'archipel a également fait l'objet d'un inventaire ZNIEFF en 1987 sous le code 83M07 (Inventaire ZNIEFF 83M07, 1987). Une actualisation ZNIEFF 2<sup>ème</sup> génération de type I<sup>3</sup> a été réalisée en 2006, sous le code 83 000 003 (Inventaire ZNIEFF 2<sup>ème</sup> génération 83 000 003, 2004).

---

<sup>2</sup> Les ZNIEFF de type II sont des grands ensembles naturels riches et peu modifiés ou qui offrent des potentialités biologiques importantes. Les zones de type II peuvent inclure une ou plusieurs zones de type I.

<sup>3</sup> Les ZNIEFF de type I, d'une superficie généralement limitée, sont définies par la présence d'espèces, d'associations d'espèces ou de milieux rares, remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel national ou régional.



**Figure 2** – Localisation du site Natura 2000 FR 930 2001 "Lagune du Brusc".

### **B.1.2. Le relief**

Le littoral de l'archipel des Embiez, à l'instar des côtes varoises, présente un rivage essentiellement rocheux. Ce littoral rocheux correspond au prolongement du massif de Sicié. Les plages sont présentes en fond de criques et tout autour de la lagune qui est une zone relativement abritée.

La lagune du Brusc est un espace peu profond qui n'excède pas les 1,5 m (SAFEGE – CETIS, 2003). Le nord de l'archipel donnant sur la grande baie de Six-Fours-les-Plages / Sanary-sur-Mer présente un dénivellement relativement doux. Par contre le sud de l'île des Embiez présente un relief accidenté, notamment au niveau de la pointe du Cougousset où le plateau continental est étroit et on atteint très vite de grandes profondeurs.

La roche qui constitue l'archipel est une roche grise à patine rousse qui présente des feuilletés d'épaisseur inférieure à 5 mm, appelée phyllade. Les phyllades sont d'anciennes roches argilo-sableuses d'origine marine.

### **B.1.3. Le climat**

Le climat est de type méditerranéen avec des étés secs et chauds et des hivers humides et doux avec seulement quelques rares journées de gel sur le littoral. Les précipitations faibles sont concentrées en automne et au printemps. Le climat méditerranéen est fortement influencé par la présence de la mer et le régime de vent particulier affectant l'ouest Var.

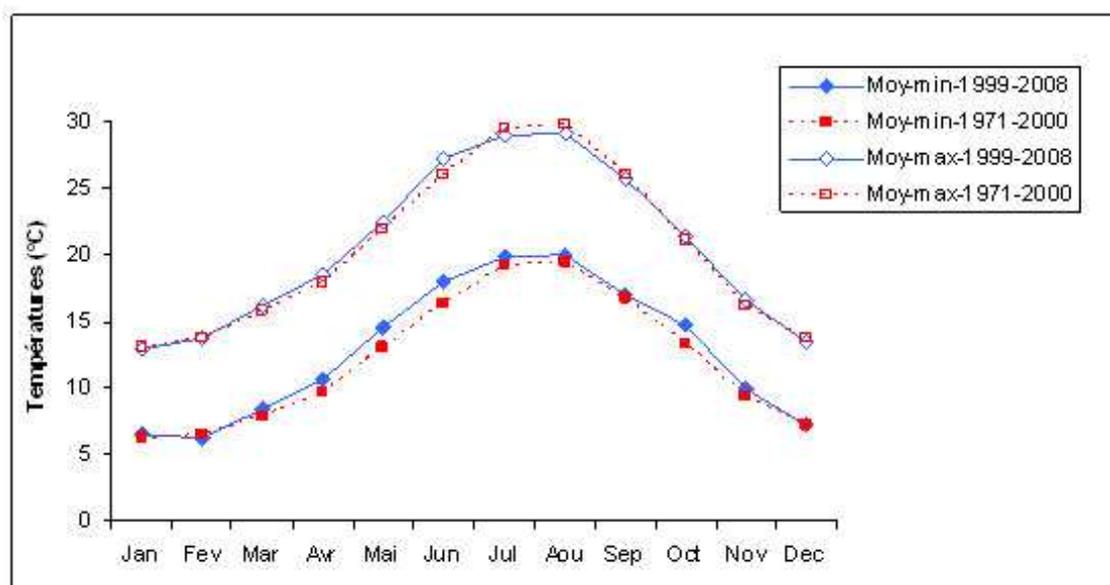
- **Températures de l'air**

De façon générale, les températures hivernales sont relativement douces et les estivales chaudes (fig. 3). Durant les mois d'hiver le Mistral, fort et froid, venant du nord nord-ouest, souffle le plus souvent. Ainsi l'altitude, la disposition des reliefs et le vent concourent à séparer le Var occidental du Var oriental sur le plan thermique. Si décembre, janvier et février sont les mois les plus froids (7,2-13,3°C ; 6,2-13,0°C et 6, 5-13,7°C respectivement pour les minima et maxima moyens des "Normales 1971-2000" et 7,3-13,6°C ; 6,5-12,9°C et 6,3-13,7°C pour les 10 dernières années ; station de Toulon, Météo France), juillet et août sont les mois les plus chauds (respectivement 19,1-29,4°C et 19,4-29,7°C pour les "Normales 1971-2000" et 19,8-28,9°C et 20,0-29,1°C pour 1999- 2008 ; station de Toulon, Météo France). Entre ces mois limites, les moyennes mensuelles croissent et décroissent régulièrement selon la période de l'année.

Les moyennes des minima et maxima en hiver sont comparables entre les normales de 1971-2000 et celles de 1999-2008. Durant les autres saisons, on note des valeurs généralement plus élevées pour les dix dernières années (à l'exception des maxima moyens de juillet, août et septembre) ainsi qu'un écart moins important entre les moyennes des températures minimales et maximales.

La moyenne annuelle des températures à Toulon était moins élevée entre 1971 et 2000 (16,2°C) qu'entre 1999 et 2008 (16,6°C).

La proximité de la mer assure aux régions côtières un écrêtement des températures extrêmes qui se traduit par très peu de gelées en hiver (moins de 3 jours de gel par an à Toulon pour la période 1961-1990, Météo France) et moins de canicule en été.

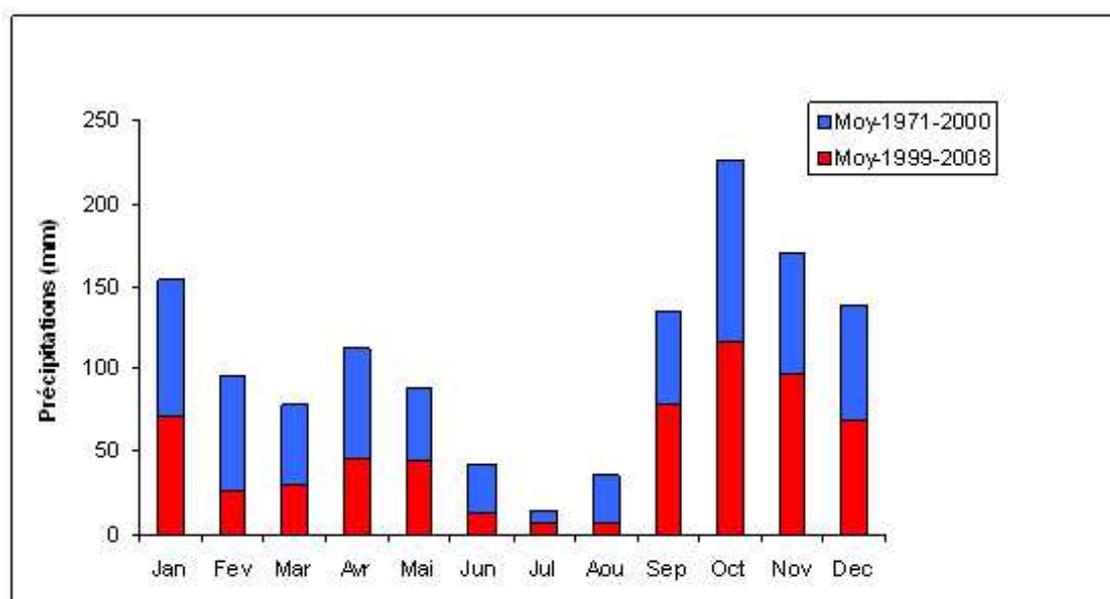


**Figure 3** – Températures de l'air maxima et minima moyens ("Normales" de la période de référence 1971-2000 et des dix dernières années 1999-2008) à la station de Toulon (source : Météo France).

- Précipitations

Le régime des précipitations est marqué par des maxima de pluviométrie en automne et en hiver. Après avoir atteint leurs valeurs maximales en octobre, les précipitations diminuent régulièrement jusqu'en été avec une reprise plus ou moins marquée en avril ou mai. Les mois les plus secs sont juin, juillet et août (fig. 4). Les moyennes mensuelles des précipitations relevées en automne à la station de Toulon sont supérieures pour la période 1999-2008 que celles de 1971-2000 ; à l'inverse, elles sont inférieures tout le reste de l'année. Le bilan général annuel moyen montre une diminution de plus de 11% entre les valeurs de 1971-2000 (cumul annuel moyen = 685 mm) et celles de 1999-2008 (606 mm).

Les pluies estivales sont rares, irrégulières, violentes et mal exploitées par la végétation. La côte varoise subit chaque été d'importantes sécheresses qui s'accroissent depuis ces dernières années.



**Figure 4** – Précipitations mensuelles moyennes ("Normales" de la période de référence 1971-2000 et des dix dernières années 1999-2008) à la station de Toulon (source : Météo France).

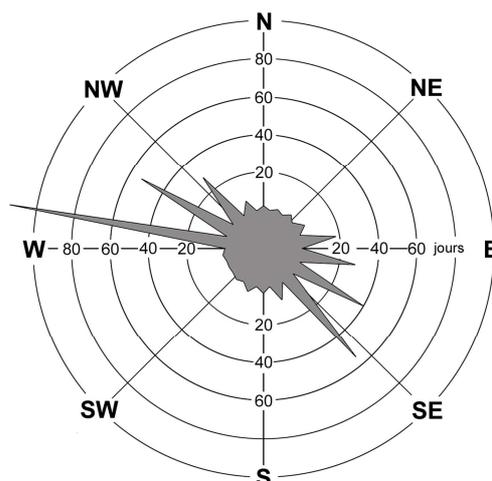
- Vents

On distingue 3 vents dont 2 prépondérants (fig. 5) :

- le Mistral provenant de l'axe rhodanien est un vent froid et sec. En 2001 à Toulon, il a soufflé en moyenne 53,7% du temps (Météo France). Par temps de Mistral, le vent de secteur ouest se redresse nord-ouest. Le véritable danger réside dans les variations brutales de la direction de ce vent en l'espace de très peu de temps. En été il accélère la propagation des incendies de forêts ;

- le vent d'est ou sud-est est moins fréquent que le mistral mais reste tout aussi violent. En 2001 à Toulon, il a soufflé en moyenne 38,4% du temps (Météo France). Il s'agit d'un vent plutôt doux et chargé d'humidité. Il précède ou accompagne de fortes précipitations ;

- à un degré moindre, on note la présence de brises thermiques correspondant à un vent semi diurne faible qui apparaît en été suite à des contrastes thermiques entre la mer et la terre.



**Figure 5** – Rose des vents de la station météorologique de Toulon en 2001 (source : Météo France).

La plupart du temps le vent tend à suivre le contour du littoral en abordant les côtes proches des massifs montagneux. Près des caps et au débouché des vallées le vent se renforce par effet de Venturi (resserrement des filets d'air).

Le nombre moyen annuel de jour de vent fort (vitesse maximale du vent instantané > 60 km/h) pour la période 1981-2000 est de 118 jours à Toulon (Météo France). Le nombre moyen annuel de jours de vent tempétueux (vitesse maximale du vent instantané > 100 km/h) est de 9 jours (dont 4,5 jours en hiver) à Toulon pour la période 1981-2000.

- Insolation

Le département du Var bénéficie d'un bel ensoleillement puisque la durée d'insolation à Toulon est en moyenne de 2791 heures de soleil par an sur la période 1991-2000 (Météo France). Elle est minimale en décembre (127 h) et maximale durant les mois de juin, juillet et août (314, 360 et 325 h respectivement) (Station de Toulon ; Météo France ; tab. IV).

**Tableau IV** – Evolution mensuelle de l'insolation à Toulon normale calculée sur la période 1991-2000 (source : Météo France).

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
<b>Insolation (h)</b>	152	184	236	236	285	314	360	325	253	176	143	127	2791

#### **B.1.4. Le réseau hydrographique**

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est très clairsemé. Il est essentiellement formé par la Reppe et le Grand Vallat, petits fleuves côtier. La Reppe marque la limite entre les communes de Six-Fours-les-Plages et de Sanary-sur-Mer. Ce fleuve est équipé d'une station hydrométrique. Le Grand Vallat marque la limite entre les communes de Sanary-sur-Mer et Bandol. Les débits de ces fleuves sont relativement faibles, mais à l'occasion d'épisodes pluvieux, ils peuvent voir leurs débits augmenter.

Deux autres petits fleuves côtiers sont également présents autour de la zone d'étude, dans la commune de Six-Fours-les-Plages. Il s'agit du Rayolet et du Vallat du Bouchou. Ces deux cours d'eau ont été aménagés notamment par la pose de buses. Ils sont à sec quasiment tout au long de l'année.

Le régime hydrographique est celui de la France méditerranéenne, avec un maximum en automne, correspondant au maximum de précipitations, et des étiages très accusés en rapport avec le minimum pluviométrique en été.

#### **B.1.5. Le développement urbain et l'aménagement du littoral**

Le hameau du Brusc était un petit port de pêcheurs. Les premiers aménagements datent de 1874-1878 avec la construction d'un débarcadère fixe. Dans la foulée, une jetée d'une longueur de 95 m avec une passe d'avivement initiale de 35 m a été aménagée. Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, le quai Saint Pierre fût construit et un dragage du bassin nord entre la jetée et le quai Saint Pierre a été exécuté. En 1931, la passe du Petit Gaou (entre le continent et l'île du Petit Gaou) fût fermée ce qui provoqua un arrêt de l'alimentation en eau du large de la lagune ainsi qu'une modification de sa courantologie. On assista à un ensablement progressif de toute la partie sud-est de la lagune et à la disparition d'un herbier de *Zostera noltii* (Vicente, 1975). La réouverture de la passe date de 1978 et la circulation et les échanges des masses d'eau mer-lagune furent rétablis. La lagune est très convoitée par les activités humaines. Outre le port adjacent à celle-ci, on trouve des parcs à moule, aujourd'hui abandonnés, une base nautique et des mouillages forains. Actuellement le port du Brusc est en cours de réaménagement, les mouillages forains de la lagune étant destinés à disparaître.

Les aménagements modernes de l'île des Embiez datent de la fin des années 1950 lorsque Paul Ricard rachète l'île et décide d'en faire un lieu de villégiature. Un port fût aménagé et une station balnéaire construite.

Aujourd'hui le port du Brusc a une capacité d'accueil de 580 places et celui de l'île des Embiez de 750 places. Le Brusc et les Embiez ont vu la construction de nombreux logements principalement pour l'accueil des estivants. Un réseau d'assainissement a été mis en place avec un raccordement à la station d'épuration Amphitria.

## **B.2. CONTEXTE METEOROLOGIQUE ET OCEANOGRAPHIQUE**

L'archipel des Embiez est soumis aux conditions climatiques générales du Golfe de Gênes. Le climat est de type méditerranéen : sec et chaud pendant les mois d'été et plutôt frais et humide le reste de l'année. L'influence de la mer joue un rôle significatif sur les amplitudes de variations de température et d'hygrométrie.

## B.2.1. L'hydrologie

### B.2.1.1. Hydrologie de la lagune du Brusc

La configuration géographique particulière de la baie du Brusc conjuguée à la nature des courants en a fait un secteur soumis à des processus de sédimentation très actifs. Par la suite, le développement des herbiers de magnoliophytes, avec la formation d'un récif barrière de posidonies, a accentué cette hypersédimentation, conduisant en arrière du récif barrière à l'établissement d'une formation lagunaire caractéristique colonisée par des pelouses de *Cymodocea nodosa* et, par endroits, de *Zostera noltii* (Molinier et Picard, 1952 ; Molinier, 1961 ; Blanc, 1958).

La lagune du Brusc est donc un milieu "semi-fermé" avec une couche d'eau voisine de 1,5 m en moyenne. Aussi elle est soumise à des variations de facteurs du milieu (en particulier la température) plus marqués qu'en milieu marin.

#### Température :

Globalement, entre septembre et mai les variations journalières de la température en surface et en profondeur ne sont pas très accusées. Par contre en période estivale, elles sont très accentuées. Les températures hivernales peuvent atteindre parfois 4°C, alors que les températures estivales dépassent fréquemment 30°C (André, 1965 ; Lelong, 1977 ; Vicente, 2001).

Ces variations présentent également des différences plus ou moins marquées selon les zones considérées (Crouzet *et al.*, 1969) : faible amplitude pour les zones en contact direct avec la mer et écarts plus prononcés pour les zones de bordure avec la terre.

Les variations de température sont également fonction des courants. Ces courants affectent plus particulièrement les températures de surface. Ils sont atténués en profondeur et s'estompent au niveau du sédiment. Riva et Vicente (1978) indiquent des variations annuelles dans la partie méridionale avec des valeurs minimales de 6 à 7°C (surface et profondeur) et des maximales de 31 à 34°C (surface) et de 27 à 28,5°C (sédiment).

#### Salinité :

Concernant la salinité, des données historiques sont disponibles en différents points de la lagune dépendant de l'objectif principal de ces études (pédologie, biologie des espèces, étude des magnoliophytes,...).

L'étude de "référence" de Deguen et Molinier (1961) concernant l'analyse physico-chimique des sédiments, a permis de constater une baisse sensible de la salinité en bordure sud-est de la lagune du fait de l'affleurement d'une nappe phréatique d'eau douce propice au développement d'une pelouse de zostère.

Riva et Vicente (1978) ont étudié le secteur méridional de la lagune délimité par l'île du Grand-Gaou et le littoral continental. Des mesures font état de salinité variant de 36 PSU (passe Grand-Gaou Petit-Gaou) à 34 PSU sur la côte est en deçà de la pelouse à zostère et dans les parties plus éloignées de la passe. La baisse de salinité était expliquée par les apports d'eau douce continentaux. De plus, à cette époque la passe du Petit-Gaou était fermée ce qui entraînait un certain confinement des eaux dans cette partie de la lagune.

Dans la partie centrale de la lagune, on relève des taux de salinité plus élevés. Des variations dues à l'évaporation ou aux précipitations par exemple ont été observées (37 PSU à 40,8 PSU) sans toutefois pouvoir mettre en évidence des variations saisonnières nettes (Lelong, 1977).

Aujourd'hui il faut noter que les apports continentaux sont plus faibles du fait de la suppression des diverses installations sur l'île du Grand-Gaou ce qui devrait limiter les variations de salinité en bordure de la lagune.

Il est important de noter que ce sont des éléments basés sur des analyses chimiques ou physicochimiques de la fraction fine du sédiment qui peuvent expliquer les différences de peuplement en magnoliophytes (Deguen et Molinier, 1961). En particulier l'explication de l'installation de la pelouse à zostère a été conditionnée, on l'a vu, par la présence d'eau douce (et donc de dessalure) mais aussi par une teneur élevée en débris organiques et argile des sols de bordure (importance des apports terrigènes).

### *B.2.1.2. Hydrologie des hauts fonds de l'archipel des Embiez*

La température des eaux varie en moyenne entre 13°C en hiver et 25°C en été. La température de l'air et la force des vents de régime Mistral influencent la température des eaux de surface. Ainsi, en été, après un épisode de fort Mistral, l'eau peut perdre 5°C en quelques jours. La formation d'une thermocline en été sépare les eaux superficielles des eaux profondes. Le gradient thermique peut atteindre 8°C sur moins de 5 m. Cette thermocline peut descendre très bas (dans la zone des 40 m de profondeur) en été et au début de l'automne. Par contre en hiver, les fortes tempêtes qui ont une importante régularité, notamment de Mistral, tendent à faire disparaître cette thermocline. Les eaux superficielles sont chassées vers le sud et sont remplacées par les eaux profondes plus froides qui remontent à la surface.

La salinité des eaux est de l'ordre de 39 PSU. Celle-ci reste relativement constante car la zone ne subit pas l'influence de grands fleuves et très peu l'influence d'eaux de ruissellement. Seul de petits fleuves côtiers se jettent à proximité du site d'étude. De plus, la région varoise est sèche et présente un bilan hydrique déficient.

## **B.2.2. Les houles**

Les houles jouent un rôle important en milieu marin car elles participent à la remise en suspension des sédiments déposés sur les fonds.

Une étude de l'agitation réalisée en 2002 montre que les houles issues du large proviennent d'un secteur 230-320°. Toutefois la lagune et la partie nord des Embiez sont protégées des houles provenant d'un secteur 230-270° par les îles et îlots de l'archipel (BCEOM, 2002). Les houles provenant du large sont modifiées en approche de la zone d'étude du fait des faibles profondeurs, de la présence de l'archipel des Embiez et des herbiers de posidonie.

L'amplitude des houles varie entre 0,5 m et 2 m. Les plus fréquentes montrent des périodes significatives comprises entre 6 et 9 s (BCEOM, 2002).

## **B.2.3. Les courants**

### *B.2.3.1. Le courant général*

Le courant général de la région de la Méditerranée occidentale et donc de notre zone d'étude est le courant géostrophique "Liguro-Provençal". Ce courant résulte de la convergence au nord de la Corse des courants circulant de part et d'autre de l'île (Madec et Crepon, 1991). Il circule de l'Italie vers l'Espagne en suivant la côte provençale avant de traverser le Golfe du Lion en direction de la Catalogne. La vitesse de ce courant est de l'ordre de quelques cm/s.

La circulation générale est relativement stable. Le courant géostrophique s'écoule vers l'ouest sur une largeur de plusieurs dizaines de kilomètres et subit l'influence des saisons et des vents. En hiver, il devient plus profond, se rétrécit et se rapproche de la côte. Les vents de terre entraînent un élargissement du courant vers le large tandis que les vents provenant du large concentrent le courant près des côtes.

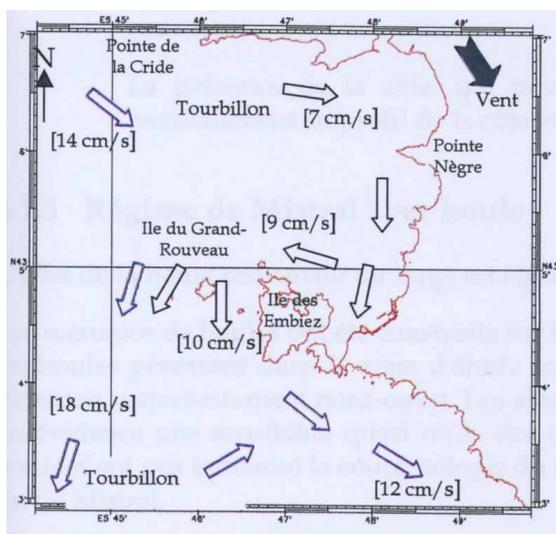
La présence d'un régime de Mistral particulièrement actif dans la région marseillaise participe à la formation d'upwelling. Les eaux superficielles sont chassées vers le sud par le vent et ce sont les eaux froides et profondes qui remontent à la surface.

### B.2.3.2. Les courants induits par les vents

Les régimes des vents sont reconnus pour influencer la circulation des masses d'eau. D'après les données météorologiques, deux directions de courants de vent dominant dans la région, il s'agit du vent de secteur ouest appelé le Mistral et le vent de secteur est.

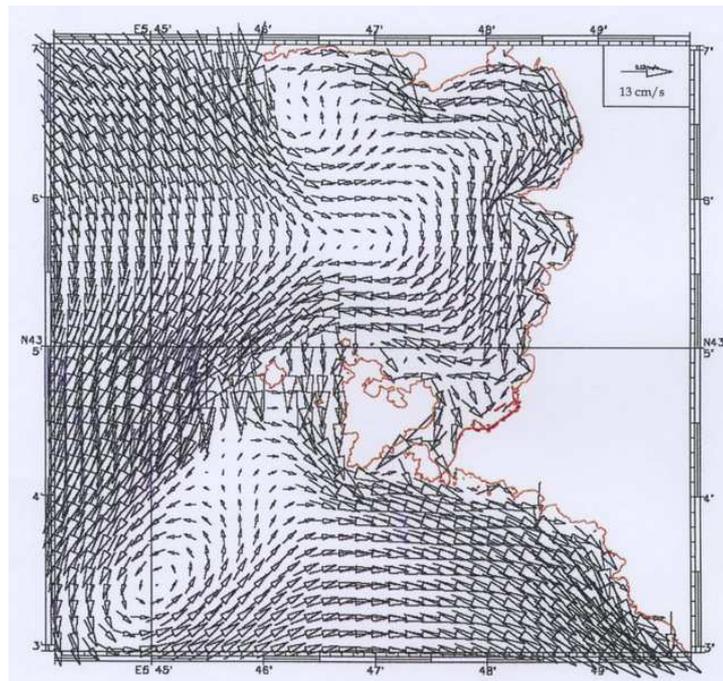
Les courants de secteur ouest ont une influence majeure sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusc". Le site est en effet très exposé. Les courants de secteur est se font moins sentir sur le site de la lagune du Brusc du fait de la protection qu'offre le massif de Sicié. Par contre les courants de secteur sud-est se font nettement plus sentir sur l'ensemble de la zone y compris dans la lagune.

Les courants générés lors de vents de secteur ouest (régime de Mistral) sont plus intenses que ceux générés par vents d'est, d'une intensité plus faible. Par situation de Mistral, le courant Liguro-Provençal n'est plus discernable du fait de l'opposition entre l'effet de ce faible courant (3 cm/s) dirigé vers le nord-ouest, et celui du vent entraînant les masses d'eau dans la direction opposée, vers le sud-est de manière plus forte (18 cm/s) (SAFEGE – CETIS, 2003) (fig. 6).



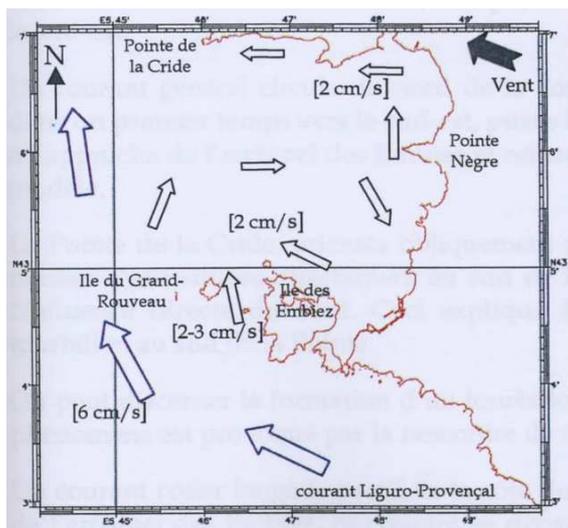
**Figure 6** – Principaux courants et phénomènes par régime de Mistral établi (d'après SAFEGE CETIIS, 2003).

Un courant général circule du nord vers le sud. A l'approche de l'archipel des Embiez, ce courant se divise en deux et circule de part et d'autre de l'île. Une partie de ce courant longe la partie est de l'île des Embiez en direction de la lagune. L'autre partie de ce courant longe la partie nord de l'île des Embiez et passe de part et d'autre de l'île du Grand Rouveau. Il circule ensuite au sud des îles des Embiez, du Grand Gaou et du Petit Gaou suivant l'action du courant général et longe la côte située au sud des îles vers le sud-est (SAFEGE – CETIS, 2003). Les effets de la côte et des faibles fonds marins engendrent des vitesses de courants plus importantes en bordure de la côte. Les courants s'intensifient aussi au niveau des passes et entre les différentes îles. Ce phénomène est dû au rétrécissement de la section de passage des masses d'eau. En outre, on peut discerner la formation d'un tourbillon au sud-ouest de l'île du Grand Rouveau. Ce phénomène est provoqué par la rencontre de deux courants de directions opposées (fig. 7).

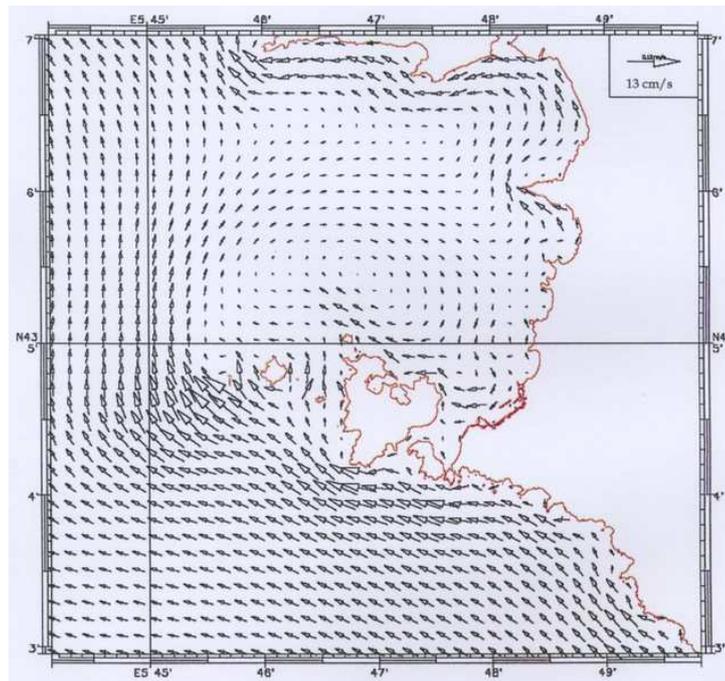


**Figure 7** – Régime de courants par situation de fort Mistral (15 m/s) (d'après SAFEGE CETIIS, 2003).

Lorsqu'un vent de secteur est / sud-est est établi, le courant Liguro-Provençal est amplifié (vitesse de 6 cm/s) (fig. 8). Le vent souffle exactement dans la même direction que le courant général et amplifie donc celui-ci. Une étude de la courantologie de la baie de Six-Fours-les-Plages / Sanary-sur-Mer révèle que l'influence de la variation de direction pour un vent d'est est discernable au bord de la côte et dans les zones autour des îles. Les courants littoraux s'orientent parallèlement au profil de la côte et suivent la direction du vent. Les courants entre les îles des Embiez et du Grand Rouveau alternent selon un axe nord-sud ou sud-nord suivant la direction du vent vers le sud ou vers le nord, respectivement (fig. 9). De la même façon la présence de vent entraîne une hausse de la vitesse des courants longeant les côtes orientées selon le sens du vent (SAFEGE – CETIS, 2003).



**Figure 8** – Principaux courants et phénomènes par régime de vent d'est / sud-est établi (d'après SAFEGE CETIIS, 2003).



**Figure 9** – Régime de courants par situation de vent d'est / sud-est (d'après SAFEGE CETIIS, 2003).

#### B.2.3.3. Les courants induits par la houle

Deux scénarii pour l'étude de la courantologie induite par la houle ont été bâtis au cours d'une étude réalisée par SAFEGE CETIIS (2003). Ces deux scénarii ont été effectués dans le cadre d'un régime de Mistral.

Le premier scénario a été mené pour une houle d'une amplitude de 1 m au large et de direction majoritairement nord-ouest. Les résultats n'ont pas révélé d'influence des courants de houle lors d'une situation de vent établi.

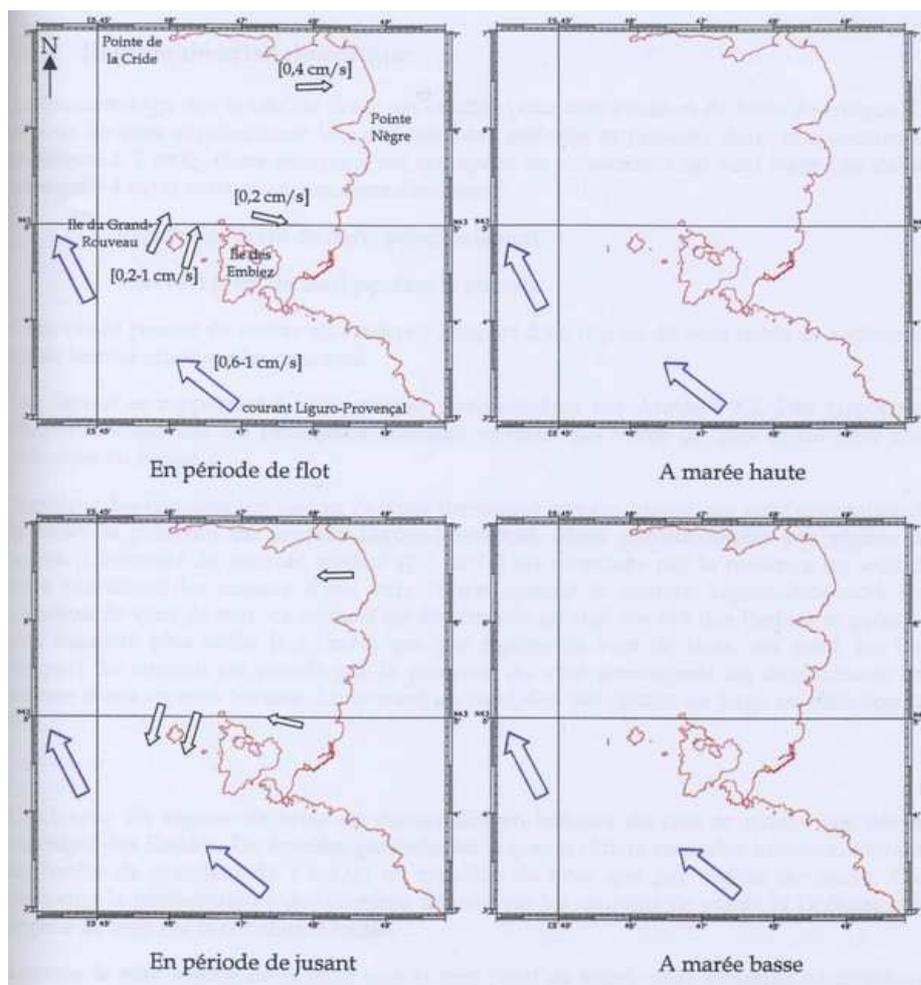
Le deuxième scénario a été mené pour une houle d'une amplitude de 2 m. Les caractéristiques de ce type de houle, qui reste exceptionnelle, sont une période de 7 s et une direction de 300°. Les résultats ne montrent pas de différences significatives dans la courantologie au large du Brusç. Le régime de houle associé au Mistral n'engendre pas de modifications ou de phénomènes particuliers par rapport à un scénario de Mistral sans houle.

#### B.2.3.4. Les courants induits par la marée

Les marées en mer Méditerranée sont peu discernables, elles présentent un marnage de faible amplitude, de l'ordre du centimètre. Les variations de niveau d'eau sont principalement dues aux conditions climatiques (élévation du niveau de la mer lors d'un phénomène de dépression ou baisse du niveau d'eau lors d'un anticyclone, actions des vents, courants ou vagues provoquant une accumulation ou non des eaux). Dans la lagune, la concordance des marées barométriques et lunaires peut provoquer des différences de niveau de 60 cm. Compte tenu de la faible profondeur, certaines parties de la lagune, principalement en bordure sud et ouest, peuvent se trouver à sec.

L'impact du régime de marée sur la zone d'étude est faible. Durant les périodes de pleine et de basse mer, les courants littoraux présentent de faibles vitesses (0,2 cm/s). Pendant les cycles de flot (passage entre la marée basse et la pleine mer) et de jusant (période suivant la pleine mer), les courants en bordure de la côte et des îles de l'archipel des Embiez changent de direction et sont plus intenses (SAFEGE – CETIS, 2003) (fig. 10).

Le faible impact des renversements de courants au cours d'un cycle et les faibles vitesses des courants engendrées par la marée apparaissent négligeables par rapport aux courants de vent.



**Figure 10** – Principaux courants et phénomènes par régime de marée (d'après SAFEGE CETIIS, 2003).

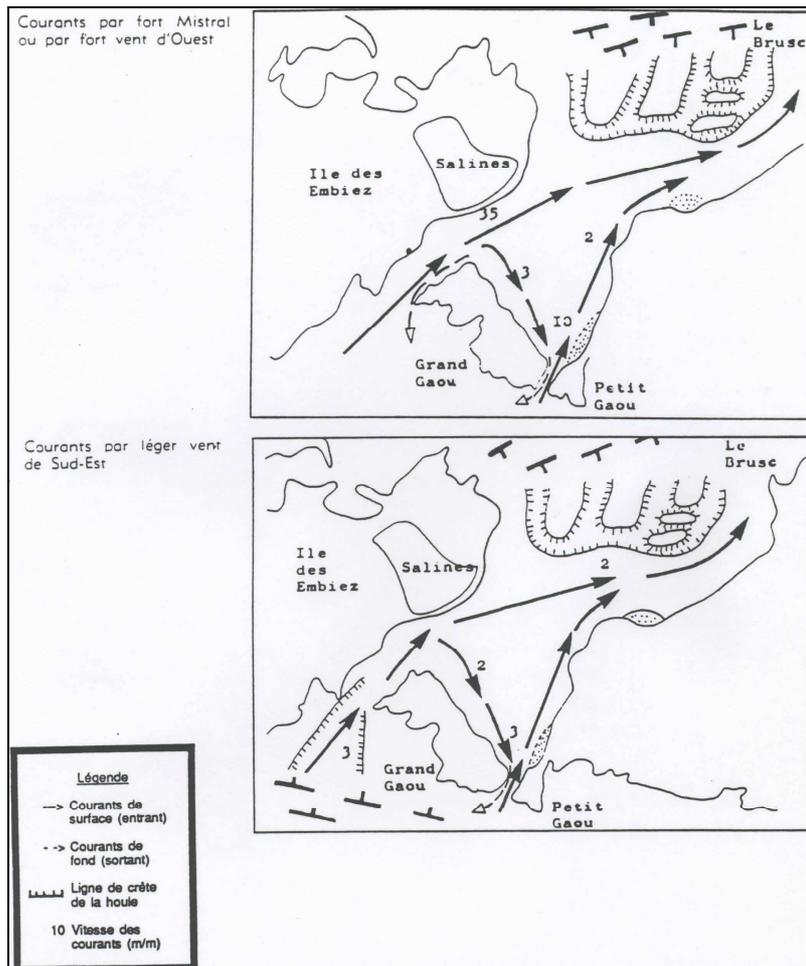
#### B.2.3.5. Le courant de la lagune du Brusc

La lagune du Brusc est protégée de ce courant général et de manière générale des courants de secteur est du fait de la présence du cap Sicié. Néanmoins les houles de sud-est parviennent facilement sur les côtes sud de l'île du Gaou. Dans tous les cas, quelque soit le régime de vent, les courants dans la lagune restent identiques (fig. 11).

Deux courants principaux de surface pénètrent par le sud : le premier entre par la passe des Embiez (34 m/min dans la passe par mistral et 2.5 à 4 m/min par léger vent d'est), le second entre par la passe du grand Gaou (10 m/min dans la passe par mistral et 3 m/min par léger vent d'est). Deux courants de fond (courants de décharge) ressortent par les même passes (Blanc, 1975 ; Vicente, 1975 ; Thomas, 1983).

Au nord de la lagune, un léger courant superficiel entre, par régime de mistral, au travers du récif-barrière de posidonie. Les mattes de posidonie, souvent émergées, favorise le freinage des courants de surface et leur déviation : la dérive superficielle peut diminuer, dans le cas de fortes vagues de mistral, de 30 m/min à 4 ou 5 m/min. En arrière du front de matte, la houle est considérablement amortie. Un courant permanent ressort en longeant le coté ouest en direction du port du Brusc, ou en empruntant le réseau complexe de chenaux et d'intermatte qui entaillent le récif-barrière et se prolongent au nord (Blanc, 1958 ; Vicente, 1975). Par régime de tempête d'ouest et nord-ouest, les courants de décharge érodent ainsi les mattes sous la forme

de sillons et chenaux orientés généralement nord-sud, créant d'importants ravinements et altérant les herbiers (Blanc et Jeudy de Grissac, 1978).



**Figure 11** - Courantologie de la lagune du Brusc. Courants entrants et sortants par vents de secteurs ouest et de secteur est (d'après Blanc, 1958, modifié in Francour et Sartoretto, 1991).

#### B.2.4. La qualité des eaux

La qualité des eaux de la baie de Six-Fours-les-Plages / Sanary-sur-Mer est essentiellement liée aux rejets des eaux usées et des eaux de ruissellement qui drainent les résidus des traitements agricoles notamment.

On compte deux émissaires urbains à proximité du site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusc" :

- l'émissaire urbain de l'agglomération de Toulon Provence Méditerranée situé au niveau du massif de Sicié. L'émissaire Amphitria rejette les eaux au niveau de la côte ;
- l'émissaire urbain de la Cride qui traite les eaux usées des communes de Sanary-sur-Mer et de Bandol. Cet émissaire rejette ces eaux en profondeur.

Les eaux de ruissellement sont essentiellement drainées par la Reppe et le Grand Vallat. Une étude de 1995 qualifiait la qualité des eaux de la Reppe de médiocre et ayant une pollution nette. Cette étude révélait une eutrophisation importante et régulière (Comité de Bassin RMC, 1995). Néanmoins, une volonté d'aménagement est à l'ordre du jour et une enquête publique a été menée sur les communes de Sanary-sur-Mer, de Six-Fours-les-Plages, de Bandol et d'Ollioules du 18 septembre au 19 octobre 2007 (arrêté du 23 août 2007).

La qualité des eaux de baignade mesurée sur les plages donnant sur la baie présente de très bons résultats (Ministère de la Santé). A Six-Fours-les-Plages, huit plages se sont vues décerner le "Pavillon Bleu 2007" ainsi que le port des Embiez.

Les niveaux et tendances de contamination chimique sont très peu suivis sur la baie. Cette zone ne recense pas d'activités pouvant engendrer des contaminations aux métaux lourds ou aux composés organochlorés. La baie semble être relativement protégée de ces sources de pollution. Néanmoins, elle se situe entre deux grands pôles urbains et portuaires que sont Marseille et Toulon. Ces deux pôles présentent des concentrations élevées notamment en plomb et mercure, et à un degré moindre en zinc. Les eaux de la rade de Toulon présentent également de fortes teneurs en composés organochlorés (CB153) et en hydrocarbures (fluoranthène) (Ifremer, 2006).

### B.2.5. Les espèces invasives

Depuis octobre 1992, l'algue invasive *Caulerpa taxifolia* s'est installée et progresse dans la lagune. Le nombre de colonies est passé de 1 en 1992 à plus de 100 en 2001, pour une surface concernée de près de 17,9 ha (Meinesz *et al.*, 2002). La colonisation de *C. taxifolia* dans la lagune du Brusc semble être fluctuante depuis son implantation puisque des périodes de "disparition" et des périodes de brusque accélération ont été observées (Vicente *et al.*, 1993 ; Vicente *et al.*, 2001). Actuellement, aucune colonie de *C. taxifolia* n'a été observée sur le site d'étude (obs. pers.).

*C. racemosa* a été introduite en Méditerranée en 1990 et son apparition sur les côtes françaises date de 1997 (à Marseille) ; son expansion a été rapide (Ruitton *et al.*, 2005a ; Klein et Verlaque, 2008). En 2004, elle était présente sur un linéaire côtier de 83 km, soit sur 4 014 ha (Ruitton *et al.*, 2005a). Elle est très souvent observée à des profondeurs comprises entre 10 et 35 m, et plus rarement dans les profondeurs superficielles et les grandes profondeurs. Elle colonise rapidement les zones de mattes mortes de posidonie mais n'envahit pas les zones où la posidonie est dense (Ruitton *et al.*, 2005a). Par contre, son installation et sa prolifération sont rapides puisqu'elle peut envahir les macro algues locales en 4 mois et entraîner de profonds changements dans la structure de ces communautés (diminution des taux de couverture des espèces, baisse de la diversité) (Piazzi *et al.*, 2001). On observe des fluctuations saisonnières avec un taux de couverture maximal et une forte biomasse en été-automne (Piazzi *et al.*, 2001 ; Ruitton *et al.*, 2005a). Durant le printemps 2008, nous avons recensé sa présence dans la lagune du Brusc sur de la matte morte de posidonie au niveau du récif barrière nord (obs. pers.).

### B.3. BATHYMETRIE ET TOPOGRAPHIE SOUS MARINE

La bathymétrie générale de la zone marine autour de l'archipel des Embiez peut être appréciée à partir de la carte 6610S au 1:20 000<sup>ème</sup> du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Par ailleurs un relevé détaillé des courbes isobathiques a été réalisé en 2006 par la Société Sémantic TS et l'Institut Océanographique Paul Ricard (fig. 12). Le relevé a été effectué jusqu'à 49 m de profondeur.

De façon générale, on constate que les isobathes se profilent de façon identique à l'archipel puisqu'ils s'étendent vers l'ouest au-delà des rochers des Magnons. Ces isobathes sont proches les uns des autres dans la partie sud de l'archipel et au contraire sont éloignés entre eux dans la partie nord de l'archipel. L'isobathe -20 m se situe à 100 m de la côte au niveau de la Pointe du Cougoussa alors qu'il se situe à un peu plus de 800 m de la Pointe du Canoubier. L'isobathe -50 m se situe à peine à 580 m de la Pointe du Cougoussa. Par contre, au nord de l'archipel, on le trouve uniquement dans la zone nord des rochers des Magnons.

Le massif de Sicié tombe de façon abrupte dans la mer entraînant la présence de fonds sous

marins relativement profonds très près des côtes. L'archipel des Embiez, à l'ouest de ce Massif, se situe dans cette continuité. Par ailleurs le sud de l'île des Embiez présente un relief accidenté avec une falaise plongeant directement dans la mer.

La faible variation entre les isobathes dans la partie nord est due à la présence de la baie peu profonde de Six-Fours-les-Plages / Sanary-sur-Mer. Cette baie compte de nombreuses plages dont le dénivelé reste faible. On trouve également très peu de falaises qui pourraient entraîner la présence de fonds sous marins profonds.

L'analyse de cette carte bathymétrique nous permet également d'apprécier la très faible profondeur de la lagune du Brusc. Celle-ci ne dépasse pas 1,5 m de profondeur et les variations se font au niveau du centimètre.



## C. CARACTERISATION ET DESCRIPTION BIOLOGIQUE

### C.1. CARACTERISATION DES HABITATS NATURELS

#### C.1.1. Herbiers à Posidonie (1120\* - habitat prioritaire)

La posidonie - *Posidonia oceanica* – est une magnoliophyte endémique de la mer Méditerranée. Il s'agit d'une angiosperme monocotylédone de la famille des Posidoniacées. Elle fait partie des 54 espèces de plantes strictement marines réparties dans le monde (Hartog, 1970).

- *Biologie et écologie*

La posidonie 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 (fig. 13). 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... (Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque et Meinesz, 1982). La posidonie peut supporter des écarts de température relativement importants (de 9°C à 29°C) mais craint la dessalure (Ben Alaya, 1972 ; Augier et al., 1980 ; Robert, 1988).



**Figure 13** – Photographie d'un herbier de posidonie (Photographie © P. Lelong).

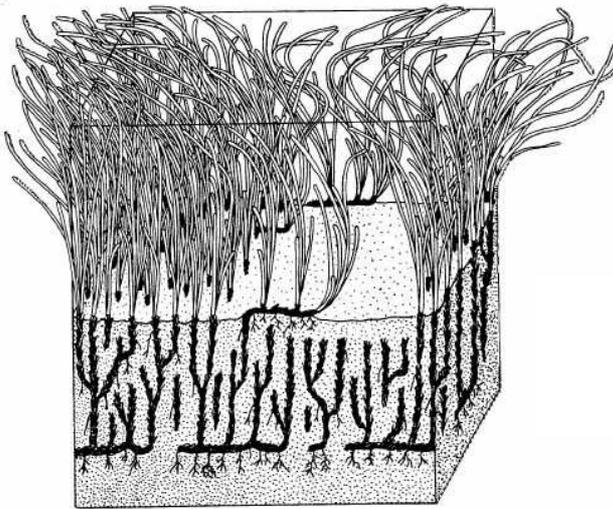
Le type de croissance est fonction de l'espace disponible, de la lumière et de l'importance des apports sédimentaires. La vitesse de croissance de l'herbier est très lente, en moyenne de l'ordre de 3 à 6 cm par an pour les rhizomes plagiotropes et environ 1 m par siècle pour les rhizomes orthotropes (Caye, 1989).

Au cours du temps, l'herbier de posidonie édifie la matre, 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 (Molinier et Picard, 1952). Lors de la mort de l'herbier, 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 édifier des paysages aux reliefs particuliers comme les récifs barrières. Lorsque l'hydrodynamisme est élevé, les mattes d'herbiers forment des reliefs complexes, comme les "herbiers de colline", les "herbiers en escalier" et les "herbiers ondoyants". Des structures érosives se constituent alors (tombants de matre), pouvant atteindre plusieurs mètres de hauteur dans certains cas. A l'inverse, lorsque l'hydrodynamisme s'atténue, les herbiers présentent très peu de relief et sont subhorizontaux, comme pour un "herbier de plaine".

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 de rhizomes (tiges souterraines) prolongeant les racines. Ces rhizomes peuvent croître horizontalement (rhizome plagiotrope) ou verticalement (rhizome orthotrope) (fig. 14).



**Figure 14** – Bloc diagramme schématique de l'herbier à *Posidonia oceanica*. Dans la matée, on reconnaît les rhizomes plagiotropes (rampants) et orthotropes (verticaux) (d'après Boudouresque et Meinesz, 1982).

A cause des surfaces qu'il occupe et de son rôle écologique essentiel, 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 (Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque et Meinesz, 1982). En effet, il est le reflet d'un équilibre écologique essentiel des fonds littoraux méditerranéens :

- l'herbier de posidonie présente une diversité biologique importante puisque 20 à 25 % des espèces animales et végétales connues en Méditerranée y sont observées, soit plusieurs centaines d'espèces (Boudouresque *et al.*, 1994). L'herbier est une zone de nutrition et de reproduction. Il joue aussi un rôle de nurserie et de protection (Harmelin-Vivien, 1983 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 1995). Ainsi, les différentes espèces peuvent y être observées de façon définitive ou simplement occasionnelle. Par ailleurs, le degré de complexité structural de l'herbier joue un rôle majeur dans la diversité spécifique ;

- la production primaire de biomasse végétale, y compris celle de ses épiphytes, est d'environ 20 tonnes/ha/an, c'est-à-dire du même ordre qu'une forêt tropicale ombrophile (Libes, 1984). Cependant, près de 40 % de cette production est exportée vers d'autres milieux (côtiers et profonds) sous forme de litière (Boudouresque *et al.*, 1994 ; Rico-Raimondino, 1995). La production de biomasse animale est également très importante dans l'herbier (Francour, 1990). Ainsi, cette impressionnante productivité fait que l'herbier de posidonie est une zone d'intérêt économique majeure (Bell et Harmelin-Vivien, 1982 ; Francour, 1990) ;

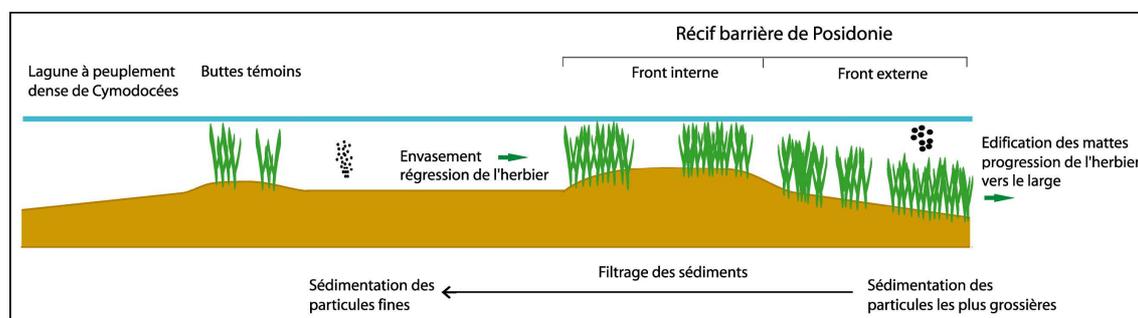
- l'herbier joue un rôle dans la qualité des eaux littorales grâce à l'importante production d'oxygène (jusqu'à 14 L/j/m<sup>2</sup>) et au piégeage des particules en suspension (Bay, 1978 ; Blanc et Jeudy de Grissac, 1984). C'est un excellent bio-indicateur de la qualité des eaux littorales. En effet, la posidonie est sensible à la pollution, à la turbidité, à la dessalure des eaux ainsi qu'aux impacts qu'engendrent les aménagements littoraux ;

- l'herbier joue un rôle fondamental dans la protection de la frange littorale contre l'érosion due aux vagues, houles et courants. Sans cette protection, la structure des rivages sableux serait modifiée (Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985).

- *Cas particulier du récif barrière*

Un récif barrière est une formation particulière de l'herbier de posidonie qui se caractérise par l'émergence de l'extrémité des feuilles de posidonie, du moins à marée basse. Ce récif se développe à très faible profondeur dans le fond des baies en mode calme. Ainsi, l'herbier de posidonie est protégé de l'influence des vagues et de la houle, et l'élévation de la matée peut donc se poursuivre jusqu'à ce que l'extrémité des feuilles vienne s'étaler à la surface de l'eau donnant un "récif barrière".

Le récif joue un rôle de brise lame et assure également un rôle de filtration car seuls les sédiments fins le traversent et envasent la zone comprise entre le rivage et l'herbier. Cette zone peu profonde est généralement colonisée par des cymodocées, des zostères et quelques mattes de posidonie. Au cours du temps, le récif barrière s'élargit en direction du large et dépérit en arrière du fait de la faible circulation d'eau et de l'envasement. La lagune s'accroît progressivement à partir de la zone proximale du récif barrière ((Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque et Meinesz, 1982 ; fig. 15).



**Figure 15** - Schéma général de la formation et de l'évolution temporelle d'un récif barrière de posidonie (Bernard *et al.*, 2002).

L'édification d'un récif barrière et de sa lagune adjacente est un phénomène nécessitant un à plusieurs millénaires. A l'échelle humaine, sa disparition est irréversible. Ce type de formation est donc considéré à la fois comme un véritable paysage remarquable et comme une formation relique. De ce fait, cette formation a été inscrite dans le "Livre Rouge" des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de Méditerranée (Boudouresque *et al.*, 1990).

La plupart des récifs barrières méditerranéens ont été détruits suite à des aménagements urbains et portuaires. En outre, une fréquentation plaisancière excessive concourt à sa dégradation à cause de la pollution, des ancrages et des piétinements. Il n'en subsiste plus que quelques uns le long des côtes françaises, dont les plus spectaculaires sont ceux du Brusç et de Port-Cros. Il en subsiste également à la Madrague de Giens (Var), aux îles de Lérins (Alpes-Maritimes) et à Saint-Florent (Corse).

- *Répartition de l'herbier de posidonie*

#### En Méditerranée :

Parmi les 6 espèces de magnoliophytes répertoriées en Méditerranée, la posidonie est la plus développée (Procaccini *et al.*, 2003). Les herbiers de posidonie forment une ceinture quasi-continue tout autour de la Méditerranée, interrompue localement au niveau des estuaires des grands fleuves et de leur zone d'influence. Sur l'ensemble du bassin méditerranéen, la posidonie colonise entre 2,5 et 5 millions d'hectares (Pergent-Martini *et al.*, 2005).

#### En région Provence-Alpes-Côte d'Azur :

Sur l'ensemble de la région, les herbiers occupaient en 1993 une surface de 255 km<sup>2</sup>, soit un carré de 16 km de côté (Paillard *et al.*, 1993) et en Corse une surface de 624 km<sup>2</sup>, soit un carré de 25 km de côté (Pasqualini *et al.*, 1997).

Au cours des dernières décennies, une régression quasi-généralisée de l'herbier de posidonie sur le littoral nord occidental de la Méditerranée a été constatée. Son recul a été essentiellement observé aux abords des agglomérations et des grands centres industriels et portuaires. Ainsi, à Marseille et à Toulon c'est près de 90% de l'herbier qui a disparu (Boudouresque, 1996). On remarque que plus on s'éloigne de ces centres urbains, plus le taux

de recouvrement et l'état de vitalité de l'herbier deviennent élevés (Bernard *et al.*, 2001). Néanmoins, on note une régression de l'herbier, notamment en limite de ce dernier (Bonhomme *et al.*, 2002 ; Belsher *et al.*, 2005). Dans le périmètre du Parc national de Port-Cros, zone très protégée, l'herbier est en très bonne santé (Belsher *et al.*, 2005). Cependant on note la présence importante de traces d'ancrage probablement causées par des navires de fort tonnage, compte tenu des dégâts observés (Belsher *et al.*, 2005). Le Réseau de Surveillance Posidonie a caractérisé les tendances évolutives sur 33 sites à travers la région. Il a pu ainsi estimer que 45,4% des sites prospectés présentaient des herbiers de posidonie en régression, 27,3% étaient stables et 27,3% étaient en progression (Cadiou *et al.*, 2004).

Les aménagements littoraux, les rejets urbains et industriels, les actions érosives des ancrages des plaisanciers, l'eutrophisation ou la turbidité, mais aussi l'hydrodynamisme ou l'introduction d'espèces comme *Caulerpa taxifolia* sont autant de facteurs qui affectent de façon négative l'équilibre des herbiers de posidonie. L'importance écologique des herbiers renforce l'inquiétude de leur régression.

#### Au Brusc :

En 2002, Bernard *et al.* ont réalisé une cartographie et un état de la vitalité des peuplements marins de la lagune et de l'avant-port du Brusc. L'étude a mis l'accent sur l'importance du récif barrière de posidonie qualifié de "monument naturel". L'étude a également montré que l'herbier de posidonie avait subi d'importantes dégradations au voisinage des aménagements portuaires existants et du terre-plein de la base nautique. Dans ces deux secteurs, la vitalité de l'herbier apparaît être réduite. Par contre, la zone du récif barrière faisant face au large, au droit de la lagune, ainsi que l'herbier qui se prolonge en profondeur semblent préservés des impacts dus aux aménagements. L'étude met en garde contre les menaces principalement causées par la fréquentation et la circulation des navires à proximité et parfois au travers du récif barrière. Cela va de pair avec l'impact qu'ont les nombreux mouillages forains (ancrage des bateaux, pollution aux hydrocarbures, détergents ou peintures antifouling) et le piétinement. En 2004, la municipalité de Six-Fours-les-Plages a mis en place un balisage délimitant l'interdiction de navigation et de mouillage dans la lagune du Brusc. Malheureusement, à l'heure actuelle le câble et les bouées ont été endommagés.

Le Réseau de Surveillance Posidonie suit les limites inférieure et supérieure de l'herbier du Brusc. Le balisage de la limite inférieure est situé au nord de la balise cardinale nord de la Casserlane à une profondeur de 30,9 m (Latitude nord : 43°05'32" – Longitude est : 5°46'55"). Il s'agit d'un site de référence mais la turbidité est importante certainement à cause des embouchures de la Reppe et du Grand Vallat et du rejet de l'émissaire urbain de la Cride. Douze balises ont été mises en place en 1998. Les résultats du suivi de 2003 montrent une régression de cet herbier qui se poursuit depuis 1998 mais de façon moins importante par rapport au suivi de 2000 (Cadiou *et al.*, 2004 ; tab. V). L'herbier est morcelé et on note une diminution du taux de recouvrement et des densités, mais elles restent "normales" d'après la classification de Pergent *et al.* (1995) qui tient compte de la profondeur. Si l'on se base sur la classification de Giraud (1977), cet herbier est qualifié de "semi-herbier".

**Tableau V** – Densité moyenne (nombre de faisceaux par m<sup>2</sup>) et taux de recouvrement moyen (en pourcentage) le long du balisage de la limite inférieure de l'herbier de posidonie du Brusc : résultats du suivi de 2003 du Réseau de Surveillance Posidonie en PACA (d'après Cadiou *et al.* 2004).

Balisés	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
Densité (nb faisceaux/m <sup>2</sup> ) 1998	58	125	125	100	83	108	92	75	100	83	92	50
Densité (nb faisceaux/m <sup>2</sup> ) 2000	108	158	158	158	133	175	158	158	142	142	158	108
Densité (nb faisceaux/m <sup>2</sup> ) 2003	67	133	108	100	67	133	100	42	58	58	92	50
Recouvrement (%) 1998	5	26	3	5	12	32	8	6	10	44	7	6
Recouvrement (%) 2000	18	56	15	41	22	37	41	11	19	22	33	22
Recouvrement (%) 2003 estimé	25	50	20	15	15	25	10	5	10	15	10	5
Recouvrement (%) 2003 mesuré	22	33	15	7	11	30	15	4	11	37	15	4

Le balisage du suivi de la limite supérieure de l'herbier est localisé au nord des Embiez, dans le secteur du Canoubier à une profondeur moyenne de -4 m (Latitude nord : 43°04'46" – Longitude est : 5°47'34"). Il s'agit d'une zone de référence mais sous l'influence de l'hydrodynamisme et du port des Embiez. La zone de suivi est à proximité du récif barrière de posidonie. Dix balises ont été positionnées en 1994. Les résultats du suivi de 2003 montrent une progression de l'herbier au niveau du balisage (Cadiou *et al.*, 2004 ; tab. VI). D'après la classification de Pergent *et al.* (1995), l'herbier présente une densité "normale" ; selon celle de Giraud (1977), l'herbier est qualifié de "dense".

**Tableau VI** – Densité moyenne (nombre de faisceaux par m<sup>2</sup>) et taux de recouvrement moyen (en pourcentage) le long du balisage de la limite supérieure de l'herbier de posidonie du Brusc : résultats du suivi de 2003 du Réseau de Surveillance Posidonie en PACA (d'après Cadiou *et al.* 2004).

Balisés	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Densité (nb faisceaux/m <sup>2</sup> ) 2000	867	767	783	692	750	683	825	558	500	-
Densité (nb faisceaux/m <sup>2</sup> ) 2003	558	600	617	625	633	708	592	700	600	725
Recouvrement (%) 2000	96	100	74	70	85	89	96	89	93	81
Recouvrement (%) 2003	91	93	98	93	98	72	70	98	76	91

- *Evolution du récif barrière depuis un demi-siècle*

Au cours des cinquante dernières années, les contours du récif barrière de posidonie ont régressé. La plus forte régression semble se situer entre 1972 et 1978, périodes durant laquelle la portion de récif barrière de posidonie situé devant la base nautique a disparu. En 1986, le récif barrière de posidonie ne représente que 35% de sa surface de 1944. Un morcellement progressif a été observé sur le front interne et au niveau des infrastructures portuaires. Le taux de régression s'est ralenti ces quinze dernières années et les contours de l'herbier de posidonie actuellement visibles semblent proches de ceux relevés en 1991.

### C.1.2. Lagunes méditerranéennes (1150-2\* - habitat prioritaire)

- *Biologie et écologie*

Cet habitat est présent au niveau des étangs littoraux salés, mais aussi dans certaines zones marines estuariennes, où l'eau est irrégulièrement dessalée et la température variable. Ces fluctuations se produisent dans des intervalles de temps allant de la journée à l'année. L'évolution de ces paramètres se poursuit également à plus long terme. Les organismes vivant dans cet habitat sont donc soumis à de fortes variations de salinité et de température d'où la présence d'espèces euryhalines et eurythermes. Le sédiment est généralement de type vaseux ou sablo-vaseux.

Les variations sont liées aux conditions climatiques, avec de très grands écarts de température entre l'hiver et l'été, et de salinité (les eaux sont parfois très dessalées), ainsi qu'à l'action anthropique à laquelle est soumis, pratiquement sans exception, l'ensemble des milieux lagunaires.

On recense différents faciès dans la lagune du Brusç (Institut Océanographique Paul Ricard, 2004) :

- le faciès à *Cymodocea nodosa* ;
- le faciès à *Zostera noltii* ;
- le faciès à *Upogebia sp.*

#### *Cymodocea nodosa* :

*Cymodocea nodosa* est une magnoliophyte. Par sa fréquence et son étendue, elle est la seconde magnoliophyte de Méditerranée, après la posidonie. Cependant, elle a une taille plus petite et elle constitue des herbiers moins denses que ceux de la posidonie (fig. 16). En outre, la diversité spécifique liée aux herbiers de cymodocée est plus faible, puisque 110 espèces de la faune vagile dont 26 à 46 espèces de poissons y ont été recensées. *C. nodosa* n'édifie pas de véritable matrice mais forme plutôt des prairies souvent situées sur des fonds meubles ou des matras de posidonie (Peres et Picard, 1964). Son système végétatif présente des rhizomes, roses, cassants, noueux et cerclés. Ils sont cylindriques et minces (quelques millimètres de diamètre) et ont une croissance horizontale. Ses feuilles sont étroites (3 mm) et allongées (jusqu'à 30 cm), à fines nervures parallèles, à bords dentelés (*Zostera noltii* ayant des bords lisses) et dont l'extrémité du limbe porte de petites dents visibles à la loupe. C'est une espèce vivace, qui perd ses feuilles en hiver. Sa croissance est maximale durant la saison la plus chaude et l'évolution spatiale peut être importante, forte croissance sur une année et disparition l'année suivante (Caye, 1989 ; Terrados et Ros, 1992).

Les cymodocées jouent un rôle majeur dans la stabilité des fonds et contribuent à maintenir les sédiments fins. Elle est généralement bien développée dans les criques et baies peu profondes et en arrière des récifs barrières de posidonie, comme c'est le cas pour la lagune du Brusç.

Les cymodocées sont protégées par un Arrêté de protection du 19 juillet 1988. Au niveau international, cette espèce figure dans la convention de Berne, et au niveau du Plan d'Action pour la Méditerranée, elle est inscrite dans l'annexe III des Aires Spécialement Protégées et dans l'annexe IV des Espèces Menacées.



**Figure 16** – Photographies d'herbiers de *Cymodocea nodosa*. Cette magnoliophyte est plus petite que la posidonie, ses feuilles sont longues et étroites. *C. nodosa* n'édifie pas de véritable matte (Photographies © P. Lelong).

### *Zostera noltii* :

*Zostera noltii* est une magnoliophyte de petite taille (environ 10 cm dans la lagune du Brusc ; fig. 17). Elle supporte des conditions très fluctuantes, puisqu'elle tolère des dessalures jusqu'à 9 PSU. Tout comme *C. nodosa*, cette magnoliophyte n'édifie pas de matte, mais piège les sédiments et contribue à la stabilisation des fonds vaseux. Son appareil végétatif est formé d'un rhizome de couleur blanc verdâtre. Il est cassant et noueux mais ne présente pas de cercles de cicatrices, comme c'est le cas chez *C. nodosa*. Les rhizomes sont cylindriques et minces (2 à 5 mm de diamètre) et ont une croissance horizontale. A chaque nœud, des rameaux courts dressés portent un faisceau de quelques feuilles alternes disposées sur 2 rangs opposés et donc situées dans un même plan. Les feuilles, vert clair, sont plus étroites que chez *C. nodosa* et présentent des bords lisses.



**Figure 17** – Photographie de *Zostera noltii* (Photographie © [www.guiamarina.com](http://www.guiamarina.com)).

*Z. noltii* est largement répandue dans l'Atlantique nord, de la Suède jusqu'à la Mauritanie, et notamment dans la zone intertidale. En Méditerranée, elle se rencontre essentiellement dans les biocénoses euryhalines et eurythermes et dans les biocénoses de sables vaseux en mode calme (Peres et Picard, 1964). En somme, elle est principalement présente dans les lagunes et baies peu profondes.

### *Upogebia sp.* :

*Upogebia sp.* est un crustacé décapode de couleur blanc rosé ou bleu verdâtre, d'une longueur d'environ 4 cm (fig. 18). C'est une espèce endogée, qui creuse des terriers à nombreux orifices dans des biocénoses sableux vaseux. Son régime alimentaire est microphage zoophage, mais peut aussi bien être détritivore ou nécrophage. Ce crustacé fait l'objet d'une surpêche puisqu'il est utilisé comme appât.



**Figure 18** – Photographie d'*Upogebia* sp. (Photographie © [www.marinbi.com](http://www.marinbi.com)).

- *Répartition*

Au niveau de la France continentale, l'habitat Lagunes méditerranéennes est présent au niveau des étangs salés (étang de Berre, étang de Thau). Il est très fréquent en Languedoc Roussillon et en Corse, mais rare en Provence-Alpes-Côte-d'Azur.

- *Importance de cet écosystème et nécessité d'une protection*

Cet habitat subit de nombreuses perturbations compte tenu, en partie, de sa facile accessibilité :

- il est très convoité par diverses activités socio-économiques. De nombreux remblais ou digues sont construits et participent donc à la destruction de cet habitat. En outre, il s'agit de sites fortement utilisés pour la conchyliculture et les activités de pêche aux appâts provoquant des remaniements anarchiques du fond sédimentaire ;

- il s'agit d'un milieu nourricier pour la faune avicole et très productif, en raison notamment de développements phytoplanctoniques très intenses. La faune vagile y est également très diversifiée, comme c'est le cas dans la lagune du Brusç (Ledoyer, 1962) ;

- il est sous l'influence des activités menées sur le bassin versant (apports de nutriments et de contaminants), et présente naturellement des risques d'hypoxie ou d'anoxie étant donné le faible renouvellement des eaux. Périodiquement, cet habitat peut être le siège de crises dystrophiques, c'est-à-dire d'explosions massives et brutales de populations phytoplanctoniques, dont certaines peuvent être toxiques. Notons que les eaux de la lagune du Brusç sont oligotrophes et qu'il n'y a jamais eu de crise dystrophique (obs. pers.) ;

- c'est aussi à ce niveau que certaines espèces invasives trouvent de bonnes conditions de développement.

- *Evolution de la lagune du Brusç depuis un demi-siècle*

Bon nombre d'études portent sur les biocénoses de la lagune, en particulier les magnoliophytes (Deguen et Molinier, 1961 ; Molinier, 1961 ; Ledoyer, 1962, Molinier et Zevaco, 1962 ; True-Schlenz, 1965). Des travaux axés sur les paramètres physico-chimiques (Crouzet, 1969), chimiques (Chabert et Vicente, 1982), sur la pédologie (Dufour et Molinier, 1961), sur des espèces ou peuplements (Bellan-Santini, 1969 ; Riva et Vicente, 1978) ou des habitats (Molinier et Vidal, 1963) sont également disponibles.

Il existe de plus un certain nombre de réflexions sur la protection de la lagune face aux aménagements côtiers qui s'y sont succédés (Vicente, 1975 ; Vicente, 1977 ; Astier *et al.* 1983). Les travaux plus récents concernent le suivi d'espèces invasives (Vicente *et al.*, 2001) ou constituent des études préalables au projet de réaménagement de port du Brusç (Francour et Sartoretto, 1991 ; BCEOM, 2002 ; Bernard *et al.*, 2002 ; SAFEGE – CETIS, 2003 ; Bernard *et al.*, 2004).

Il existe également sur et au voisinage du site Natura 2000 deux stations du Réseau de Surveillance Posidonie présentées ci-dessus.

Les premières études menées à l'échelle du site de la lagune du Brusç et de l'archipel des Embiez sont les inventaires du Patrimoine Naturel de Provence-Alpes Côte d'Azur dans le cadre des ZNIEFF marines (1987, puis 2001).

Il ressort de ces travaux que la concurrence des phénomènes d'origine biologique ou sédimentologique a conduit à l'édification de types de sols différents constituant autant de biotopes traduits par l'installation de biocénoses distinctes. Cela a amené Molinier (1961) à distinguer cinq types de sols correspondant à autant de types de peuplement au sein de la formation lagunaire :

- en premier lieu l'herbier de posidonie constituant la barrière d'émersion au nord de la lagune.

- à l'opposé, en bordure de l'île du Grand-Gaou, une pelouse clairsemée de cymodocée installée sur un sol de sables grossiers (il s'agit du premier classement des apports sédimentaires venus par les passes de part et d'autre du Grand-Gaou).

- au centre de la lagune, un sol constitué par un sable fortement envasé où se développe une pelouse de cymodocée en réseau très serré.

- en bordure du littoral continental limitant la lagune à l'est, une pelouse dense de zostère naine. Habituellement rencontrées en Méditerranée en zone d'estuaire la présence de zostère est ici en rapport avec l'arrivée d'une nappe phréatique d'eau douce. Ce peuplement est localisé sur une étroite bande (5 à 10 mètres) en bordure du rivage.

- immédiatement en arrière du récif immergé de posidonie, on observait la présence de poches de vase fluide.

Ces travaux, pour la plupart déjà anciens, constituent de fait un état de "référence" à comparer avec la situation actuelle. En particulier la répartition de certains habitats a connu une évolution liée essentiellement aux travaux d'aménagements côtiers des bordures continentales de la lagune.

Globalement les magnoliophytes dans leur ensemble ont été affectées gravement dans les zones correspondant aux mouillages sauvages et aux pontons installés par les plaisanciers (cymodocée et zostère). En particulier dans cette zone il n'existe plus d'herbier sur une bande de 30 m à partir du littoral. Il faut également rappeler que la fermeture de la passe du Petit-Gaou (1956) lors de l'édification de la route littorale avait provoqué l'ensablement progressif de la partie nord orientale de la lagune, entraînant un déséquilibre biologique des divers biotopes. Le déversement de sédiments continentaux dans cette zone a contribué également à l'envasement progressif et à la mort des biotopes voisins par la modification des conditions hydrologiques et physico-chimiques. Dans cette zone un herbier de zostère a pratiquement disparu. Plus généralement les herbiers à zostère sont en forte régression et il n'en subsiste que quelques faisceaux occupant une surface de quelques mètres carrés.

Les zones à zostère signalées en bordure du Grand-Gaou ont également disparu.

La pelouse de cymodocée au centre de la lagune constitue encore un herbier continu à fort recouvrement.

Les observations actuelles concernant la présence de l'algue invasive *Caulerpa taxifolia* indiquent une très forte régression par rapport à celles faites en 2001. Il n'en va pas de même pour *Caulerpa racemosa*, présente de façon importante dans la lagune.

### C.1.3. Sédiments détritiques médiolittoraux (1140-10)

La posidonie est une source importante de matière primaire. Le flux de cette matière primaire suit deux voies :

- les feuilles de posidonie tombent et peuvent participer à la formation d'une litière (Francour, 1990) ;
- la base des feuilles reste attachée aux rhizomes dans la matte où les processus de décomposition sont très lents (Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque, 1986 ; Francour, 1990). Cette production primaire reste soit dans l'herbier, soit elle est exportée vers d'autres écosystèmes où elle représente un apport trophique d'une importance considérable (Pergent *et al.*, 1994 ; Mateo et Romero, 1997). Une étude réalisée à proximité de Naples en Italie montre qu'une grande part de cette production primaire est dégradée *in situ* dans la litière (42%), que 29% est exportée vers d'autres écosystèmes et que 29% est enfouie dans la matte (Pergent *et al.*, 1994).

La production primaire est exportée soit vers les fonds abyssaux, soit vers le littoral. Dans ce dernier cas, on assiste à la formation d'une banquette de posidonie due à l'accumulation de ces feuilles et débris (fig. 19). Ces banquettes sont classées dans l'habitat "Replats boueux ou sableux exondés à marée basse" et qui correspond aux sédiments détritiques médiolittoraux.



**Figure 19** – Photographie d'une banquette de posidonie (*Posidonia oceanica*) sur une plage de l'île des Embiez (Photographie © E. Rouanet).

Les espaces littoraux, les plages et les criques constituent une ressource économique et touristique importante. Les pressions touristiques et récréatives qu'ils supportent, concentrées en été, génèrent d'importants impacts. Il est indispensable de considérer les plages en trois espaces étroitement liés : la partie immergée, la partie émergée et la dune adjacente. Mais les plages sont trop souvent considérées comme un espace indépendant et les facteurs qui agissent en amont, sur les zones immergées, sont souvent occultés.

Depuis plusieurs décennies, on assiste à une dégradation de cet habitat. Une des causes de dégradation est l'extraction systématique des banquettes de posidonie sur les plages. Ces extractions sont motivées par la grande affluence touristique et la volonté de leur offrir des plages "propres" dignes des cartes postales. Cependant ces extractions systématiques génèrent des impacts à court et moyen terme (Roig i Munar et Prieto, 2005). Elles modifient le profil des plages et accélèrent l'érosion de celles-ci. Le trait de côte est ainsi modifié. Elles entraînent également des pertes de sédiment. L'accélération de l'érosion conjuguée à la perte sédimentaire concourent à une diminution du volume et de la superficie des plages (Roig i Munar et Prieto, 2005). A ceci, il faut ajouter une destruction de l'habitat et une perte de matière primaire indispensable à la biocénose qui dépend des banquettes de posidonie.

#### **C.1.4. Sables vaseux de mode calme (1160-3)**

- *Biologie et écologie*

Cet habitat, situé en milieu calme, est caractérisé par une sédimentation fine donnant un sédiment sablo-vaseux parfois mêlé d'une faible proportion de graviers. Le faible hydrodynamisme ne permet pas le brassage des eaux et il existe une stabilité thermique sur l'échelle verticale. Les grandes criques ou baies peu profondes ont une profondeur n'excédant généralement pas les 3 m.

Sur le site Natura 2000 de la lagune du Brusç, cet habitat est présent au niveau de l'avant port de St Pierre des Embiez. Il est constitué d'une étendue de sable vaseux ne présentant pas de faciès particulier au sens du cahier habitat.

- *Répartition*

Au niveau de la France continentale, l'habitat Sables vaseux de mode calme est présent dans certains étangs salés (étang de Berre, étang de Thau), dans des petits ports peu pollués et dans des criques protégées. Il est très fréquent en Corse.

- *Importance de cet écosystème et nécessité d'une protection*

Cet habitat subit de nombreuses perturbations compte tenu, en partie, de sa facile accessibilité :

- il est très convoité par diverses activités socio-économiques. De nombreux remblais ou digues sont construits et participent donc à la destruction de cet habitat.
- il présente des caractéristiques physiques favorables aux herbiers de posidonie et aux prairies de cymodocée ;
- il est sous l'influence des activités menées sur le bassin versant (apports de nutriments et de contaminants) ;
- c'est aussi à ce niveau que certaines espèces invasives trouvent de bonnes conditions de développement.

#### **C.1.5. La roche médiolittorale inférieure (1170-12)**

Dans la zone de déferlement des vagues se trouvent des ceintures étroites d'algues et d'invertébrés dont la répartition est limitée à ce niveau marin, le médiolittoral. Leur présence dans ce milieu est conditionnée par un hydrodynamisme particulièrement violent (houle et vagues), des fluctuations importantes de températures (parfois inférieure à 0°C l'hiver ou voisine de 40°C l'été en plein soleil), de lumière (toutes les longueurs d'onde du soleil avec de très fortes irradiances l'été) et de salinité (élevée suite à des phénomènes d'évaporation ou faible suite à des apports en eaux douces après des épisodes pluvieux) (Cottalorda *et al.*, 2004). Les peuplements de cet étage sont particulièrement exposés aux pollutions de surface (hydrocarbures, rejets d'émissaires urbains) (Belsher, 1974 ; Belsher, 1979).

L'étude de la répartition géographique, ainsi que le suivi dans le temps, peut permettre de caractériser la qualité du milieu littoral grâce à des indicateurs biologiques et plus particulièrement grâce à des espèces sentinelles (Pergent, 1991 ; Bellan, 1993 ; Boudouresque, 1996). Un indicateur biologique est défini comme un "détecteur révélant l'existence de conditions complexes à interpréter et résultant, le plus souvent, d'un ensemble de facteurs biotiques et abiotiques difficiles à mesurer isolément. Il est utile d'employer des variables (ici des espèces ou des taxons) qui peuvent être mesurées (dénombrées) et qui "révéleront" la présence de processus dynamiques qu'il serait difficile ou impossible de mesurer directement" (Bellan, 1993). A partir de bases simples à caractère synthétique, les indicateurs biologiques permettent une approche globalisante conduisant à une interprétation correcte d'un

phénomène et à la prévision de son évolution. Ainsi, différents peuplements algaux indicateurs de chaque habitat peuvent être décrits.

- *Biologie et écologie de Lithophyllum lichenoides (= L. byssoides)*

Un des peuplements caractéristique de la roche médiolittorale inférieure est *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*) (fig. 20). Cette algue calcaire est plutôt sciaphile et se développe sur les substrats durs du sous étage inférieur de l'étage médiolittoral et affectionne particulièrement les biotopes en mode battu (Molinier, 1960 ; Peres et Picard, 1964 ; Blacher *et al.*, 1998). Sa croissance, dans de bonnes conditions, est relativement lente, de l'ordre de 3 cm par an. La coalescence des thalles, de forme plus ou moins hémisphérique, forme des édifices bioconstruits comme des placages sur substrat en pente faible (Bianconi *et al.*, 1987). Très localement, et en Méditerranée seulement, dans les biotopes légèrement ombragés et très battus, cette algue édifie des "encorbellements" (Laborel, 1987 ; Laborel *et al.*, 1993 ; Laborel *et al.*, 1994). Il s'agit de corniches ou trottoirs pouvant atteindre jusqu'à 2 m de largeur (Sicsic, 1967).



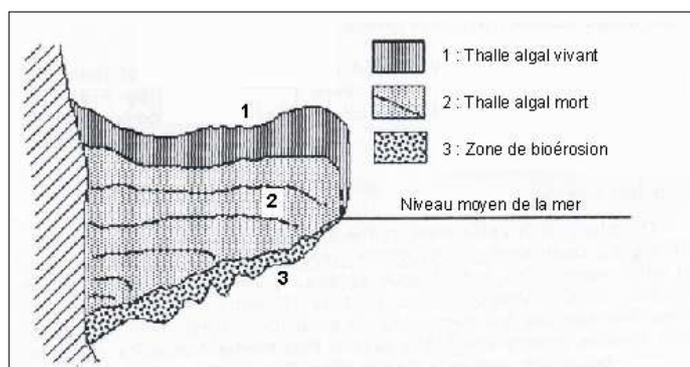
**Figure 20** – Photographies de thalle calcaire de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*) (à droite.). La coalescence de ces thalles peut édifier des "bourrelets" appelés aussi encorbellements (à gauche) (Photographies © P. Lelong et E. Rouanet).

Du point de vue de la structure, la corniche est monospécifique, entièrement formée par l'empilement des thalles calcaires de *L. lichenoides* (= *L. byssoides*). La structure interne va du plus simple (thalles juxtaposés sans cimentation) au plus complexe, auquel cas on observe trois couches successives (fig. 21) :

- une couche externe poreuse de couleur rose violacée, formée de coussinets algaux vivants, ne mesurant en général que quelques centimètres d'épaisseur. Elle est surtout développée sur la partie la plus externe de la corniche et sur sa surface supérieure ;

- sous la couche vivante on observe une zone compacte d'épaisseur variable, résultat d'une évolution complexe qui comprend le dépôt de sédiments fins entre les branches des coussinets algaux, après leur mort, puis la formation d'un ciment calcaire microcristallin très dur (micrite). Cette partie dure est souvent divisée en couches concentriques reposant l'une sur l'autre de façon assez lâche. Cette structure très spéciale n'est pas encore bien comprise mais elle est sans doute due à l'enregistrement de périodes de fortes pressions atmosphériques (Laborel *et al.*, 1983) ;

- la surface inférieure de la corniche est morte et est recouverte de communautés sciaphiles. On observe divers types d'organismes bioérodeurs et perforants (éponges du genre *Cliona*, datte de mer, *etc.*). La partie inférieure est donc une zone de destruction accélérée sous l'effet de facteurs biologiques et qui peut d'ailleurs s'amplifier en cas de pollution organique.



**Figure 21** – Bloc diagramme schématique d'un encorbellement à *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*) (d'après Laborel *et al.*, 1983).

L'édification d'un encorbellement est relativement longue (plusieurs siècles), sa destruction est donc irréversible à l'échelle humaine (Laborel *et al.*, 1983). Par ailleurs, sa structure poreuse le rend vulnérable face aux diverses pollutions (Laborel *et al.*, 1994). De plus, ces encorbellements constituent des zones pratiques de débarquement et sont donc fortement exposés aux chocs, accostages et piétinements (Boudouresque, 1996 ; Verlaque, 1996).

- Répartition de *L. lichenoides* (= *L. byssoides*)

*L. lichenoides* (= *L. byssoides*) est une espèce commune dans le bassin occidental de la Méditerranée et dans l'Adriatique. Elle ne se développe que dans un intervalle bathymétrique très restreint, sur les substrats durs du sous étage inférieur de l'étage médiolittoral et affectionne particulièrement les biotopes en mode battu (Molinier, 1960 ; Peres et Picard, 1964). Les encorbellements de grande largeur sont relativement rares. En France, les plus spectaculaires ont été observés dans les Pyrénées-Orientales, dans les calanques marseillaises (Bonhomme *et al.*, 2001), dans les Iles d'Hyères (Sicsic, 1967 ; Laborel *et al.*, 1983) mais surtout en Corse dans la réserve naturelle de Scandola et aux îles Lavezzi (Bianconi *et al.*, 1987 ; Verlaque, 1996 ; Blacher *et al.*, 1998 ; Mari *et al.*, 1998).

A proximité de notre zone d'étude, de la pointe de l'Eperon au Cap Sicié, la présence de *L. lichenoides* (= *L. byssoides*) est essentiellement observée sous forme de bourrelets non coalescents. On recense onze encorbellements le long de ce linéaire côtier (Bernard *et al.*, 2001).

A La Ciotat et autour de l'île Verte, le peuplement à *L. lichenoides* (= *L. byssoides*) est relativement bien représenté puisqu'il est présent sur 88% de la zone étudiée (Bonhomme *et al.*, 2001). Sur plus de la moitié du linéaire côtier étudié, on observe des thalles non coalescents (*L. lichenoides* (= *L. byssoides*) de type I) dont les densités sont majoritairement faibles. Ce développement se rencontre dans les secteurs relativement abrités, c'est-à-dire au niveau de la face nord de l'île Verte, de l'anse du Sec et de la calanque de Figuerolles. On observe au sein de ce type de développement un gradient de densité entre les zones les plus calmes (fond de calanque) et les zones plus agitées (les pointes, les caps), notamment de part et d'autre de l'anse du Sec, ainsi que sur les deux parois de la calanque de Figuerolles. Dans les zones soumises à une forte agitation, on note la présence de thalles coalescents formant un placage épais (*L. lichenoides* (= *L. byssoides*) de type II). Ces zones correspondent aux falaises du Bec de l'Aigle et à la face sud de l'île Verte. Enfin les encorbellements (*L. lichenoides* (= *L. byssoides*) de type III) ont été observés dans les secteurs soumis à un très fort hydrodynamisme.

### C.1.6. La roche infralittorale à algues photophiles (1170-13)

L'étage de l'infralittoral est défini comme la zone côtière toujours immergée. Sa limite inférieure correspond à la profondeur à laquelle les algues photophiles et les phanérogames marines ne peuvent plus survivre (Peres et Picard, 1964). Cette limite inférieure est donc conditionnée par la pénétration de la lumière. Elle est donc extrêmement variable selon la topographie et la qualité des eaux. Les conditions de vie sont nettement moins variables que dans l'étage médiolittoral. Les peuplements de cet étage présentent de fortes variabilités spatiales et temporelles, aussi bien au niveau qualitatif que quantitatif (Menconi *et al.*, 1999). Ces variabilités sont le reflet de facteurs abiotiques (courantologie, topographie du substrat...) mais aussi biotiques (compétition, prédation, traits d'histoire de vie) (Benedetti-Cecchi *et al.*, 2000). Une étude réalisée en 1969 par Bellan-Santini nous renseigne sur l'état des peuplements sur les substrats rocheux des Embiez (Bellan-Santini, 1969).

- *Biologie et écologie de Cystoseira amentacea variété stricta*

Un des peuplements caractéristiques de l'étage infralittoral à algues photophiles est *Cystoseira amentacea* var. *stricta* (fig. 22). Cette algue brune est photophile et se rencontre le plus souvent en mode battu (Verlaque et Tine, 1979 ; Blacher *et al.*, 1998). De grande taille et de couleur brun-rouge, elle est constituée d'un tronc unique à base large, portant de nombreuses ramifications. C'est une espèce très longévive (plusieurs dizaines d'années). Les plus grandes des cystoseires méditerranéennes peuvent dépasser 1 m de hauteur, et constituent des refuges pour de nombreux invertébrés. La reproduction se fait de façon sexuée et la dissémination est locale. De ce fait, la colonisation est majoritairement allochtone (Soltan, 2001). Les cystoseires sont des espèces très vulnérables, incapables de supporter de trop fortes perturbations du milieu. Elles sont très sensibles à la pollution et à la turbidité des eaux, ainsi qu'au surpâturage, comme en témoigne leur régression dans toute la Méditerranée (Boudouresque *et al.*, 1990 ; Thibaut *et al.*, 2005). Ainsi, leur présence peut témoigner de la bonne qualité des eaux littorales. En outre, compte tenu de leur mode de reproduction et de dissémination, la restauration des zones détruites est extrêmement lente.



**Figure 22** – Photographie de *Cystoseira amentacea* var. *stricta* (Photographie © E. Rouanet).

- *Répartition de Cystoseira amentacea var. stricta*

De nombreuses espèces de cystoseires sont observées en Méditerranée occidentale et près de 2/3 des espèces sont endémiques à la Méditerranée. Ces algues ont donc une forte valeur patrimoniale (Delepine *et al.*, 1987).

Une étude de la répartition et de la densité de *C. amentacea* var. *stricta* a été réalisée à proximité de La Ciotat et autour de l'île Verte (Bonhomme *et al.*, 2001). Les résultats montrent une présence de cette algue sur tout le pourtour de l'île Verte. Néanmoins elle disparaît et

devient clairsemée en fond de calanque, notamment dans les deux calanques les plus fréquentées : la calanque St Pierre et la calanque de Seynerolles. Le long des falaises du Bec de l'aigle, les résultats révèlent une forte densité de cette algue hormis au fond de l'anse du Sec, derrière les Pierres de Nègue Foux et au fond de la calanque de Figuerolles, où elle devient clairsemée. A noter que l'absence ou la rareté de cystoseires au niveau de la faille de l'anse Gaméou et de grande Calanque semblent être liée aux caractéristiques géomorphologiques (pente trop forte) ne permettant pas l'installation. Au niveau de la calanque du Capucin, où est situé l'exutoire des eaux usées de La Ciotat, il ne semble pas y avoir de cystoseires. Le peuplement de cystoseire est clairsemé autour de la calanque et redevient dense à environ 100-200 m de la sortie de la calanque. L'impact de l'émissaire urbain sur le peuplement de cystoseire apparaît donc très localisé.

Dans le cadre du contrat de baie de Toulon, Bernard *et al.* (2001) ont réalisé une cartographie et un diagnostic écologique de *Cystoseira amentacea* var. *stricta*. Ils n'ont pas observé de peuplement de cystoseire dans la petite rade et dans la baie du Lazaret. Par contre, plus on s'éloigne de ce secteur, subissant une intense pollution et présentant un faible hydrodynamisme, plus les peuplements de cystoseire sont denses. Au niveau de la station d'épuration Amphitria sur le cap Sicié, on observe le même phénomène avec une absence de cystoseire à proximité des bouches d'évacuation.

### C.1.7. Le coralligène (1170-14)

- *Ecologie*

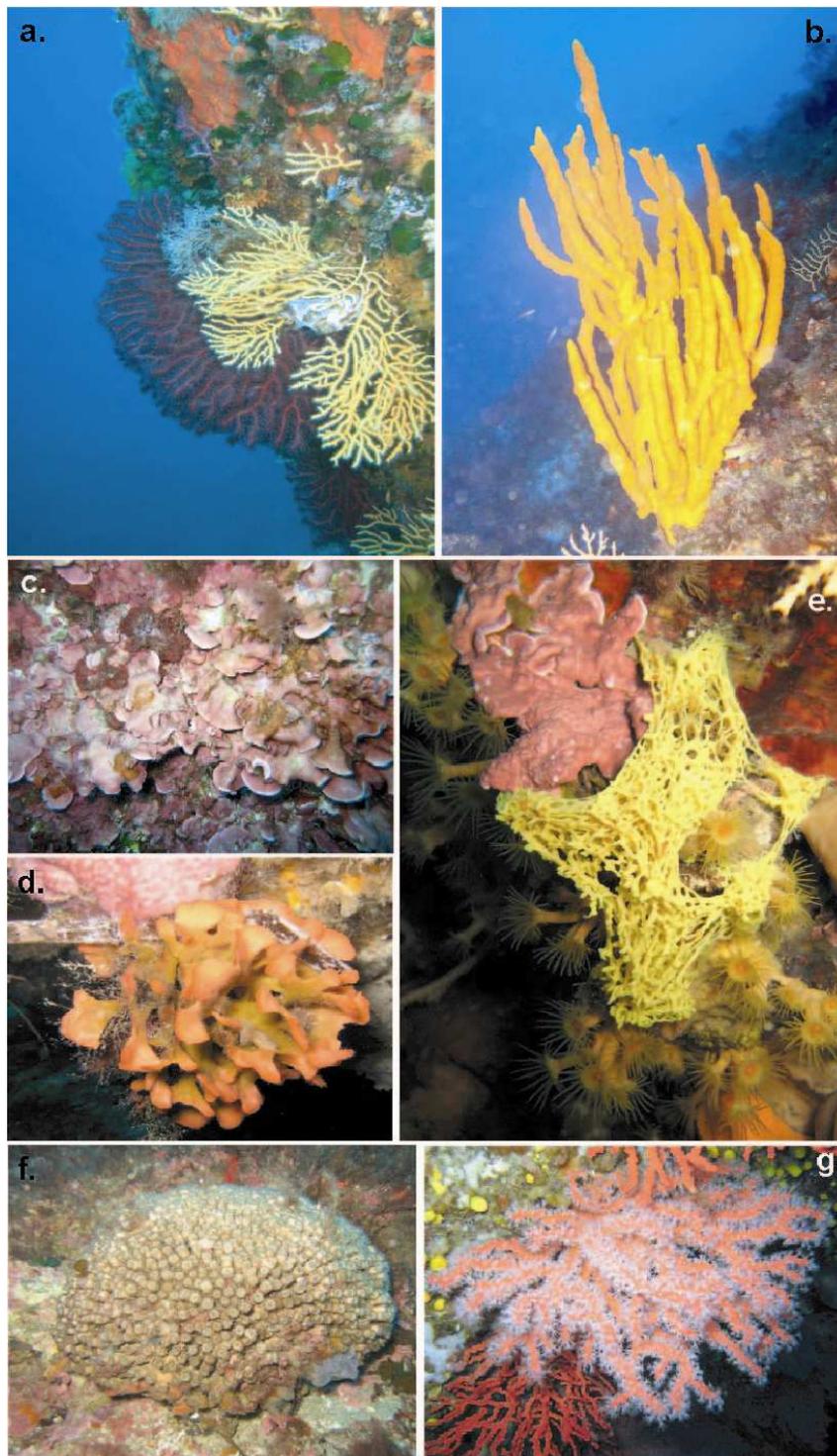
Le terme de "coralligène" fut employé pour la première fois en 1883 par A.F. Marion et signifie "producteur de corail" en référence à l'abondance de corail rouge qui s'y développe. Le coralligène est une concrétion biogénique de Méditerranée, construit par accumulation d'algues calcaires qui croissent dans des conditions de faible luminosité (Ballesteros, 2006). Le coralligène fait partie de la biocénose du circalittoral (Peres et Picard, 1964) et peut constituer une strate de plusieurs mètres d'épaisseur (Sartoretto *et al.*, 1996 ; fig. 23).



**Figure 23** - Aspect morphologique d'un encoorbement de Corallinacées dans le coralligène (d'après Müller, 1993 in Sartoretto, 1996).

Toutefois, on peut retrouver ce coralligène dans l'infralittoral lorsque la luminosité est faible et que les algues corallines peuvent se développer et croître. Ces organismes ont un squelette calcaire et participent ainsi à la bioconstruction. Cette dernière est assurée principalement par des algues calcaires (Laborel, 1961 ; Laubier, 1966 ; Sartoretto *et al.*, 1996 ; Ballesteros, 2006). D'autres organismes participent également à la bioconstruction comme les bryozoaires, les serpulidés, les cnidaires, les mollusques, les éponges, les crustacés et les foraminifères (Hong, 1980 ; Ros *et al.*, 1985). Enfin, des organismes non bioconstructeurs sont aussi présents dans ce coralligène, comme des éponges, des gorgones, des annélides ou des crustacés (Laborel, 1987). Ces organismes présentent, pour la plupart, une longévité assez importante et une faible dynamique des populations (Garrabou, 1999 ; Garrabou et Harmelin, 2002 ; Linares *et al.*, 2007). En outre, des organismes endolithiques et brouteurs constituent et façonnent la structure

tridimensionnelle du coralligène. La diversité et la richesse des communautés du coralligène méditerranéen (près de 1700 espèces dont 300 algues, 1200 invertébrés et plus d'une centaine de poissons) ont souvent été comparées à celles des récifs coralliens (Ros *et al.*, 1985 ; fig. 24).



**Figure 24** – Quelques paysages et espèces caractéristiques du coralligène : (a.) un tombant colonisé par des gorgones jaunes (*Eunicella cavolinii*) et pourpres (*Paramuricea clavata*), (b.) l'éponge grande Axinelle (*Axinella polypoides*), (c.) les thalles de l'algue calcaire *Mesophyllum lichenoides*, (d.) le bryzoaire *Pentapora fascialis*, (e.) l'éponge *Clathrina clathrus* entourée de *Parazoanthus axinellae*, (f.) une colonie du madrépore *Cladocora cespitosa*, (g.) le corail rouge (*Corallium rubrum*) (Photographies © P. Lelong).

La morphologie et la structure du coralligène dépendent fortement de la profondeur, de la topographie et de la nature des algues corallines (Laborel, 1961). Deux morphologies principales peuvent être distinguées (Peres et Picard, 1964) :

- le coralligène de plateau est principalement situé sur des substrats horizontaux et possède une structure très cavernueuse, qui a souvent été comparé à du "gruyère" ;

- le coralligène de paroi se développe sur la partie extérieure des grottes marines et sur les falaises, et est généralement présent dans des eaux moins profondes que les plateaux de 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 (Peres et Picard, 1964).

Les algues colonisent les surfaces horizontales mais aussi verticales, mais leur abondance diminue avec la baisse de l'irradiance. Ainsi, deux assemblages algaux principaux peuvent être caractérisés (Ballesteros, 2006) :

- l'assemblage dominé par *Halimeda tuna* et *Mesophyllum alternans* (*Lithophyllo-Halimedetum tunae*) présent dans des aires relativement éclairées ;

- l'assemblage dominé des corallinacées encroûtantes (*Lithophyllum frondosum*, *L. cabiochae*, *Neogoniolithon mamillosum*) et *Peyssonnelia rosa-marina* (*Rodriguezellium strafforello*) dans des aires présentant un faible éclairage.

Les assemblages faunistiques diffèrent parmi les sites. Ainsi, dans des aires eutrophiques on trouve des assemblages mixtes avec des algues et dominés par des cnidaires, principalement des gorgones (*Eunicella singularis*, *E. cavolinii*, *Paramuricea clavata*). Par contre, dans des eaux oligotrophes, ce sont des spongiaires et des bryozoaires (*Myriapora truncata*, *Pentapora fascialis*) qui dominent. Dans les cavités ou sur les surplombs, ce sont des communautés de suspensivores qui sont dominantes : anthozoaires, spongiaires et bryozoaires (Ballesteros, 2006). En outre, au sein de ces différentes aires, on trouve des communautés minoritaires comme des annélides, des ascidies, des hydriaires et des coraux solitaires.

La caractéristique majeure du coralligène méditerranéen est sa morphologie qui dépend de la croissance différentielle et hétérogène des différentes espèces formant le biotope (Sartoretto *et al.*, 1996). Les processus de bioconstruction et de bioérosion, engendrés par de nombreux organismes endolithiques et brouteurs, contribuent à la formation de crevasses et de surplombs qui confèrent une forte structure tridimensionnelle (Ros *et al.*, 1985 ; Ferdeghini *et al.*, 2000). Cette hétérogénéité et cette complexité d'habitat jouent un rôle majeur dans l'influence de la composition et de la distribution des taxons dans les assemblages coralligènes (Peres et Picard, 1964 ; Ros *et al.*, 1985 ; Harmelin, 1994 ; Ferdeghini *et al.*, 2000). Le coralligène est également le siège de relations d'épibioses, d'endobioses, de commensalismes, de symbioses et de parasitismes entre espèces, ce qui complexifie son fonctionnement écologique (Laubier, 1966 ; Ballesteros, 2006).

Au sein du coralligène, on trouve de nombreux organismes coloniaux (gorgones, bryozoaires, ascidies, scléactiniaires) susceptibles de subir une mortalité partielle (lorsque certains polypes meurent par exemple), des phénomènes de fission ou de fusion de colonies, ce qui compliquent la dynamique de ces populations (Hughes et Jackson, 1980 ; Hughes, 1984 ; Cocito *et al.*, 1998 ; Garrabou, 1999). Ainsi, la taille de ces organismes n'est pas forcément corrélée à leur âge (Hughes et Jackson, 1980 ; Hughes et Connell, 1987). Ces caractéristiques rendent très difficiles les études et les estimations de cohortes basées sur la taille ou l'âge.

De nombreux travaux décrivent les communautés du coralligène (Hong, 1980 ; Ros *et al.*, 1985 ; Gili *et al.*, 1989 ; Abbiati *et al.*, 1996 ; Sartoretto *et al.*, 1996 ; Airoldi et Cinelli, 1997 ; Garrabou *et al.*, 1998a ; Ferdeghini *et al.*, 2000 ; Garrabou et Ballesteros, 2000 ; Cocito *et al.*, 2002 ; Garrabou et Harmelin, 2002 ; Piazzini *et al.*, 2004 ; Balata *et al.*, 2005 ; Linares *et al.*, 2005 ; Ballesteros, 2006 ; Virgilio *et al.*, 2006). Ces derniers ont montré que la distribution des espèces est influencée à la fois par des variabilités spatiales et temporelles. Plusieurs études ont montré que des variations spatiales dans les assemblages du coralligène sont à mettre en relation avec l'orientation de la surface de fixation (Abbiati *et al.*, 1996 ; Glasby, 1999 ; Irving et Connell, 2002

; Virgilio *et al.*, 2006). Les auteurs constatent que les algues (gazon algal et algues calcaires encroûtantes) sont plus abondantes sur les surfaces horizontales, ce qui peut s'expliquer par une meilleure exposition à la lumière. Par contre, les invertébrés sont plus abondants sur les surfaces des crevasses, où le recrutement et la survie sont plus élevés et la compétition avec les algues moindre. Les schémas de distribution des espèces indiquent que la variabilité de l'abondance des taxons est également déterminée par la profondeur (Ferdeghini *et al.*, 2000). Ainsi, selon la profondeur et l'orientation de la surface de fixation considérées, on observera différents faciès (Cocito *et al.*, 2002). Peu d'observations saisonnières sont notées dans les assemblages de coralligène (Garrabou et Harmelin, 2002 ; Virgilio *et al.*, 2006). Les derniers auteurs émettent comme hypothèse que les assemblages peuvent être caractérisés par des variations temporelles à long terme. Ceci dit, des variations saisonnières peuvent être observées notamment en fonction du développement des thalles des algues et du cycle annuel des différents taxons (Ballesteros, 2006). Enfin, la distribution des communautés est également le reflet de l'influence de facteurs abiotiques (courantologie, disponibilité en nourriture pour les suspensivores, exposition à la lumière, sédimentation, complexité du substrat...) et biotiques (pressions de prédation, de compétition, comportement larvaire, traits d'histoire de vie, réponse phototropique...) (Gili *et al.*, 1989 ; Ferdeghini *et al.*, 2000 ; Balata *et al.*, 2005 ; Virgilio *et al.*, 2006).

- *Importance de cet écosystème et nécessité d'une protection*

Le coralligène est difficile d'accès, aussi certains aspects biologiques et écologiques sont encore mal connus voire méconnus. En outre, plusieurs autres points renforcent l'importance de cet écosystème :

- les peuplements du coralligène procurent nourriture et habitat pour une faune vagile diversifiée (poissons, crustacés, mollusques, *etc.*) qui se regroupe ainsi le long des tombants rocheux ;

- les gorgones jouent un rôle clé dans la structuration tridimensionnelle du coralligène. Par ailleurs, ces organismes ont une dynamique des populations très lente (taux de croissance, dispersion larvaire et recrutement le plus souvent faible) (Perez *et al.*, 2000). La gorgone pourpre (*Paramuricea clavata*), qui peut atteindre 1,5 m de haut, a un taux moyen d'accroissement estimé à environ 3 cm/an (Mistri et Ceccherelli, 1994). Le corail rouge (*Corallium rubrum*), endémique de Méditerranée, présente un taux d'accroissement très lent et un taux de recrutement relativement faible (Garrabou et Harmelin, 2002). De plus, cette espèce est très convoitée pour la joaillerie, et sa collecte a bien souvent été outrancière ;

- un épisode de mortalité massive a affecté des invertébrés sessiles filtreurs inféodés au coralligène durant les étés 1999 et 2003 (Perez *et al.*, 2000 ; Garrabou *et al.*, 2001 ; Perez et Capo, 2001 ; Perez *et al.*, 2004 ; Cerrano *et al.*, 2005 ; Harmelin et Garrabou, 2005 ; Linares *et al.*, 2005). Celui-ci semble être corrélé avec le réchauffement planétaire. Ces successions d'événements et la lente dynamique de ces populations fragilisent la structure démographique de ces espèces et concourent à leur menace ;

- le coralligène est très convoité par les plongeurs en scaphandre autonome pour sa richesse et son esthétisme. Néanmoins, face à cet engouement, l'impact de cette activité est bien visible sur cet écosystème (Sala *et al.*, 1996 ; Garrabou *et al.*, 1998b ; Francour et Koukouras, 2000). Des études ont montré que sur les sites de plongée des colonies du bryzoaire *Pentapora fascialis* étaient abrasées (diminution de la densité et de la taille moyenne des colonies). En outre, des changements dans la distribution de colonies en fonction du degré d'exposition étaient observés, avec une tendance vers les zones cryptiques (Sala *et al.*, 1996 ; Garrabou *et al.*, 1998b).

- *Répartition*

Le coralligène se rencontre sur les parois rocheuses ou sur les roches où les algues calcaires peuvent constituer des constructions biogènes. Du fait de leur sensibilité à la lumière, ces algues voient leur extension limitée vers le haut par les forts éclaircissements et vers le bas par la

quantité d'énergie lumineuse nécessaire à leur photosynthèse. Les profondeurs moyennes se situent entre -30 m et -90 m. Lorsque les eaux sont très claires, le coralligène débute et s'arrête très profondément, de -60 à -130 m. A l'inverse, lorsque les eaux sont turbides, on assiste à une remontée vers des profondeurs plus faibles, de -15/20 à - 40 m. Sa difficile accessibilité ne permet pas d'avoir d'idée précise sur sa répartition.

Au niveau du Cap Sicié et des Deux Frères, on note la présence d'un coralligène bien développé qui regroupe de nombreuses espèces remarquables dont certaines sont protégées ou d'intérêt patrimonial (Bernard *et al.*, 2001). Sur les deux sites prospectés, la Sèche de Sicié et le tombant des Deux Frères, les auteurs ont observé une forte pression de la pêche aussi bien professionnelle que de loisir.

Dans le secteur de La Ciotat – l'île Verte, le coralligène est très abondant et les peuplements associés à cette biocénose (grandes éponges dressées, gorgones) sont très développés (Bonhomme *et al.*, 2001). Certains sites prospectés lors de cette étude semblent être affectés par l'importante fréquentation des plongeurs en scaphandre autonome. C'est le cas sur le site des Rosiers où les effets sont visibles sur l'éponge *Axinella polypoides* (la grande Axinelle) et sur le bryzoaire *Pentapora fascialis*. A l'inverse, d'autres sites comme la Pierre du Levant sont moins marqués par les effets de la fréquentation des plongeurs. L'épisode de mortalité massive de 1999 a affecté de façon différentielle les colonies de gorgones. Sur le site du Grand Moure, les gorgones y ont été peu affectées (Bonhomme *et al.*, 2001).

Autour des Embiez, principalement dans les parties ouest et sud, on dénombre de nombreux sites abritant du coralligène. On y recense de nombreuses espèces remarquables et d'intérêts patrimoniaux. Les pressions anthropiques sont modérées en rapport à d'autres zones de la côte provençale (obs. pers.).

### C.1.8. Grottes semi-obscuras (8330-3)

Les grottes sous marines sont caractérisées par un appauvrissement marqué des peuplements. On y observe un gradient de la diminution des apports extérieurs depuis l'extérieur vers l'intérieur de ces grottes. Les facteurs tels la lumière ou l'hydrodynamisme sont réduits, ce qui entraîne une forte stabilité du milieu, une sélection taxonomique, une diminution de la biomasse et du recouvrement (Harmelin, 1985). On distingue deux biocénoses :

- les grottes semi-obscuras constituées de peuplements animaux denses et dépourvues de macrophytes benthiques à l'exception de certaines algues calcifiées ;
- Les grottes obscuras constituées de peuplements appauvris d'hétérotrophes dont le pourcentage de recouvrement peut descendre sous les 10%.

Sur notre zone d'étude, cet habitat est essentiellement représenté par la biocénose des grottes semi-obscuras (8330-3), elle-même présente sous forme de surplombs, fissures, parois rocheuses et arches. Cette biocénose des grottes semi-obscuras, dépourvue d'algues, ne possède pas d'herbivores. Une étude sur la concentration de pigments chlorophylliens et notamment de la chlorophylle *a* montre que dans la partie semi-obscuras des grottes, les concentrations de ce pigment sont proches de celles de l'entrée, ce qui laisse supposer un renouvellement rapide de la masse d'eau (Fichez, 1990). A cette richesse relative en chlorophylle correspond un peuplement de filtreurs encore dense (Harmelin *et al.*, 1985). Le réseau trophique est également constitué de détritivores et de carnivores.

Les tombants, surplombs ou fissures sont le siège d'organismes foreurs et surtout d'organismes peu érigés comme le corail rouge (*Corallium rubrum*), les zoanthaires (*Parazoanthus*), les scléactiniaires solitaires ou coloniaux (*Caryophyllia*, *Leptopsammia*, *Hoplanguia*, *Madracis*), les bryozoaires (*Celleporina*, *Celleporaria*, *Sertella*) et surtout les spongiaires (Harmelin, 1985 ; Harmelin, 2000). Les microhabitats ainsi créés sont colonisés par des espèces de petites tailles tels des foraminifères, des hydriaires, des serpulidés, des bryozoaires qui y trouvent refuge (Harmelin, 1985).

La dynamique de ces populations est caractérisée par une durée de vie très longue, une

croissance très lente et par une succession écologique tardive. La communauté sessile de ces grottes semi-obscuras semble très peu affectée par des perturbations biotiques et abiotiques. Pourtant ces perturbations jouent un rôle dans le maintien d'une diversité élevée en réduisant les populations des espèces dominantes au profit d'autres espèces. Dans les grottes semi-obscuras, il semblerait que ces perturbations aient des conséquences au niveau des individus eux-mêmes plutôt qu'au niveau du peuplement. Les mortalités partielles ou totales des organismes semblent être de cause naturelle (Harmelin, 1985).

Les grottes sont fréquemment visitées par les plongeurs car elles offrent des paysages d'une haute valeur esthétique. L'importante fréquentation modifie la circulation de l'eau qui est stratifiée, entraîne une accumulation de bulles d'air qui provoque une anoxie pour les organismes benthiques, et des dégâts suite aux contacts et chocs avec les organismes et une remise en suspension du sédiment. Les conséquences des destructions peuvent être graves car les taux de croissance et de renouvellement semblent être variables et mal connus. Une bonne gestion de cet habitat doit passer par une gestion de la fréquentation et une éducation des plongeurs, mais aussi par une surveillance de la qualité des eaux et de la pollution car il s'agit d'un environnement relativement confiné.

## C.2. CARACTERISATION DES ESPECES NATURELLES

### C.2.1. Les habitats d'espèces de l'annexe 2 de la directive Habitats

#### C.2.1.1. La tortue caouanne (*Caretta caretta* ; 1224\* espèce prioritaire)

La tortue caouanne est une espèce pélagique pouvant atteindre 1,20 m de long pour un poids de 150 kg (fig. 25). Son régime alimentaire est carnivore, elle s'alimente de méduses, mollusques, crustacés et poissons. Elle se reproduit sur les côtes sableuses (de l'Atlantique et de la Méditerranée orientale) et son taux de reproduction est faible (conditions de nidification et de développement des œufs sont souvent insuffisantes) ce qui concourt à sa menace. De plus, la pollution par les macro-déchets, les collisions et blessures provoquées par la navigation et les filets de pêche font que les populations de tortue caouanne sont en déclin. L'Institut Océanographique Paul Ricard travaille à la protection de cette espèce à travers l'action et la participation en tant que centre d'accueil et de soin.

La tortue caouanne est protégée en France par l'arrêté du 17 juillet 1991 ; elle est citée dans l'annexe II de la Convention de Berne, dans l'annexe I de la Convention de Bonn, dans les livres rouges de la faune menacée de France (éteint) et du monde (menacé d'extinction).



Figure 25 – *Caretta caretta* (Photographie © P. Lelong).

### C.2.1.2. Le grand dauphin (*Tursiops truncatus* ; 1349)

Le grand dauphin (*Tursiops truncatus*) a un corps robuste, un rostre court et trapu et mesure en moyenne 3 m de long à l'âge adulte (fig. 26). En Méditerranée, seul l'écotype côtier semble exister.

Cette espèce fait l'objet d'un suivi dans le cadre du Sanctuaire PELAGOS pour les Mammifères Marins en Méditerranée. Notre zone d'étude se situe à proximité de ce sanctuaire.

Le grand dauphin est protégé en France depuis 1970 (arrêté du 20 octobre 1970), il est cité dans l'annexe II de la Convention de Berne, dans l'annexe II de la Convention de Bonn, dans l'annexe II de la Convention de Washington et dans l'annexe I de la CITES (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction).



**Figure 26** – *Tursiops truncatus* (Photographie © J.M. Bompar).

### C.2.1.3. Le phoque moine (*Monachus monachus*)

Le phoque moine est un mammifère marin du groupe des Pinnipèdes (fig. 27). Autrefois présent dans toute la Méditerranée et en mer Noire, les populations ont fortement déclinées et cette espèce a totalement disparu de plusieurs côtes (France, Espagne, Italie, Tunisie, Egypte, Liban et Israël). En France, les derniers individus ont été tués à Scandola en Corse vers 1975. Aujourd'hui on ne compte plus que 200 à 300 individus répartis en groupes isolés en Grèce et en Turquie.



**Figure 27** – *Monachus monachus* (Photographie © [www.marmoo.com](http://www.marmoo.com)).

## C.2.2. Les habitats d'espèces de l'annexe 4 de la directive Habitats

### C.2.2.1. La grande nacre (*Pinna nobilis*)

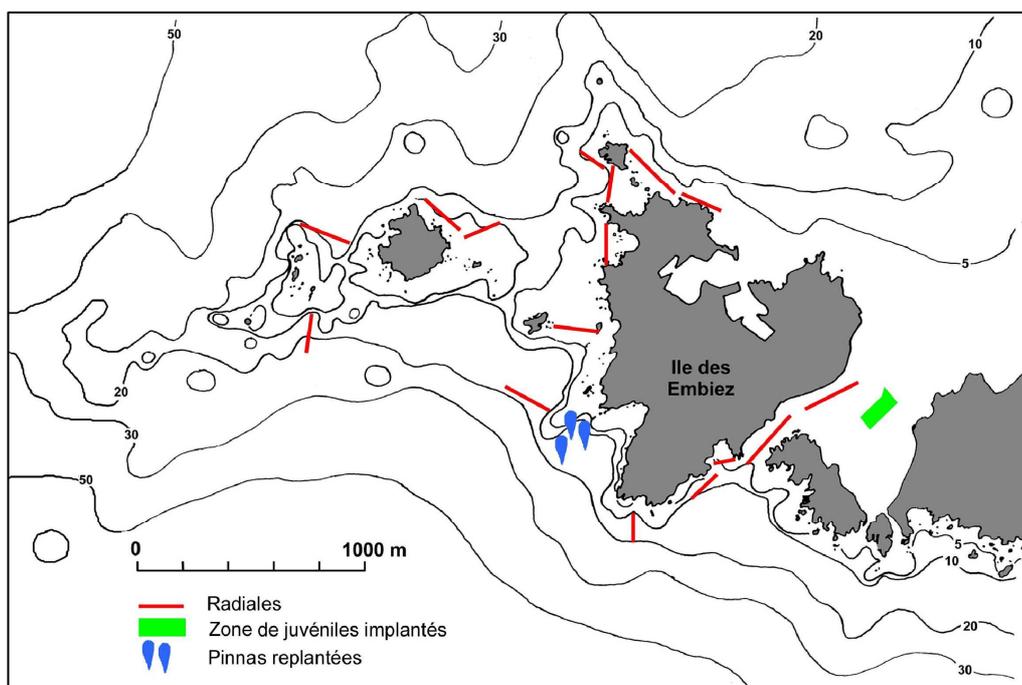
La grande nacre est un des plus grands mollusques bivalves existant dans le monde ; sa longueur est parfois supérieure à 1 m (fig. 28). Endémique de Méditerranée, souvent décrite dans l'infralittoral entre 0,5 et 50 m, cette espèce a grossièrement la forme d'un triangle. Elle vit enfoncée dans le sédiment sur environ le tiers de sa longueur. Inféodée à l'herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*), elle peut vivre également dans la pelouse de cymodocée (*Cymodocea nodosa*).



**Figure 28** – *Pinna nobilis* (Photographie © P. Lelong).

Longtemps exploitée par les romains qui tissaient des vêtements à l'aide de son byssus et fabriquaient des boutons avec sa nacre, elle est aujourd'hui menacée par la régression des herbiers de magnoliophytes, par les ancrages des bateaux qui brisent sa coquille ou prélevée par les plongeurs amateurs de souvenirs. Les effectifs régressent également à cause des aménagements littoraux qui détruisent les herbiers et recouvrent les lieux de reproduction par petits fonds. La pollution due aux rejets d'eaux usées tue les larves et limite le recrutement annuel des jeunes (Vicente et Moreteau, 1991 ; Vicente et de Gaulejac, 1993).

Autour de l'archipel des Embiez, la grande nacre fait l'objet d'un suivi par l'Institut Océanographique Paul Ricard. En 2006, une quinzaine de radiales ont été effectuées autour des Embiez, du Grand et du Petit Rousseau (données non publiées; fig. 29). La densité moyenne sur l'ensemble des radiales est de 0,85 individus/100 m<sup>2</sup>, ce qui est proche des données recueillies par Medioni et Vicente en 2002. Les individus ont surtout été recensés dans le sud et le sud-ouest de l'île des Embiez où la densité était égale à 1 individu/100 m<sup>2</sup>. Sur le site de la Bomasse, la densité était 4 fois plus élevée pour atteindre 4 individus/100 m<sup>2</sup> (tab. VII).



**Figure 29** – Carte du recensement de *Pinna nobilis* réalisé en 2006 autour de l'archipel des Embiez.

**Tableau VII** – Densité de *Pinna nobilis* autour de l'archipel des Embiez (Institut Océanographique Paul Ricard, données non publ.).

Site	Nb ind.	Nb radiales	Surface (m <sup>2</sup> )	Densité (ind./100m <sup>2</sup> )
Poite Cougoussa	2	2	200	1
Bomasse	4	1	100	4
Pointe du Grand Gaou	0	1	100	0
Passe du Grand Gaou	2	2	200	1
sud-est passe du Petit Rouveau	1	2	200	0,5
Petit Rouveau - Pointe St Pierre	0	1	100	0
Pointe St Pierre - Gabrielle	0	1	100	0
Grand Rouveau	1	2	200	0,5
Cauvelle	0	1	100	0
Magnons	6	4	400	1,5

La grande nacre est une espèce protégée sur le territoire national (arrêté du 26 novembre 1992), elle est inscrite en annexes II des Conventions de Berne et de Barcelone et dans le Livre Rouge de la faune menacée de France (V).

#### C.2.2.2. La patelle géante (*Patella ferruginea*)

La patelle géante est un mollusque gastéropode endémique de Méditerranée. Ce mollusque est facilement reconnaissable par sa taille (jusqu'à 100 mm) et sa coquille portant des côtes très marquées (fig. 30). La patelle géante est une espèce brouteuse qui ne se trouve que dans une bande très étroite du littoral rocheux (le médiolittoral) et dans les zones plutôt battues. Les individus sont plutôt solitaires et ne forment jamais de population dense. Le période de reproduction s'étend de la fin de l'été au début de l'automne.

La patelle géante a été victime d'une surpêche intensive et est donc devenue rare sur les côtes françaises. Actuellement, on ne trouve des populations suffisamment établies qu'en Corse.



Figure 30 – *Patella ferruginea* (Photographie © P. Lelong).

L'espèce est protégée en France grâce à une interdiction de sa pêche (arrêté du 26 novembre 1992), elle est inscrite en annexes II des Conventions de Berne et de Barcelone et dans le Livre Rouge de la faune menacée de France (V).

#### C.2.2.3. La datte de mer (*Lithophaga lithophaga*)

La datte de mer est un mollusque bivalve à coquille relativement grande, allongée, en forme de datte, d'où son nom. Les deux extrémités sont arrondies et la surface présente des faibles stries concentriques et des côtes transversales épaisses. La coquille est blanche mais le périostracum (couche organique externe recouvrant la coquille) est d'un brun caractéristique. Sa taille est comprise entre 5 et 8 cm (fig. 31).



Figure 31 – *Lithophaga lithophaga* (Photographie © P. Lelong).

*L. lithophaga* vit jusqu'à 30 m de profondeur mais on l'observe le plus souvent dans les premiers mètres. Elle s'incruste dans la pierre jusqu'à 20 cm de profondeur (lithophage signifie "qui mange la pierre"). Elle colonise exclusivement les rochers calcaires qu'elle perfore en sécrétant des substances acides. Elle s'installe sur des substrats vierges et dans des cavités laissées vacantes. Elle se nourrit de matière organique en suspension. La reproduction débute en juillet-août et la période de frai se situe en fin d'été. Les larves semblent se fixer sur le substrat en automne. Le taux de croissance est très faible puisque 3 ans après la fixation, les individus atteignent une longueur de seulement 1 cm. L'âge des plus grands individus a été évalué à 80 ans.

La datte de mer se rencontre dans toute la Méditerranée mais elle est très rare dans plusieurs régions de Méditerranée à cause de la surpêche et de la destruction de son habitat (elles étaient pêchées soit à la dynamite, soit par un marteau piqueur sous-marin).

Cette espèce est protégée en France grâce à une interdiction de sa pêche (arrêté du 26 novembre 1992), elle est inscrite en annexes II des Conventions de Berne et de Barcelone et dans le Livre Rouge de la faune menacée de France (V).

#### C.2.2.4. L'oursin diadème (*Centrostephanus longispinus*)

L'oursin diadème est caractéristique car il possède de très longs piquants pouvant atteindre 10 cm ou plus, pour un test de 6 cm de diamètre (fig. 32). La reproduction, la nutrition et la biologie de cette espèce restent mal connues. Il est signalé le plus souvent sur la roche, à partir de 15 ou 20 m de profondeur, mais on peut aussi bien l'observer dans l'herbier de posidonie que dans les grandes profondeurs, vers 200 m.

L'oursin diadème est une espèce commune des mers chaudes que l'on peut observer parfois en Méditerranée. Cette espèce est rare dans le nord de la Méditerranée, qui est sa limite d'aire de répartition. En outre, elle fait l'objet de prélèvements par des plongeurs (pour la décoration), de captures accidentelles par des chaluts et elle est sensible à la baisse de la qualité des eaux. Cette espèce est protégée en France par l'arrêté du 26 novembre 1992, elle est inscrite en annexes II des Conventions de Berne et de Barcelone et dans le Livre Rouge de la faune menacée de France (V).



**Figure 32** – *Centrostephanus longispinus*  
(Photographie © P. Lelong).

### C.2.3. Les habitats d'espèces de l'annexe 5 de la directive Habitats

#### C.2.3.1. Le corail rouge (*Corallium rubrum*)

Le corail rouge est un animal colonial formé de polypes qui édifient un squelette arborescent fixé sur un substrat dur. Les polypes, rétractiles, sont de couleur blanche. Ils possèdent huit tentacules portant les cellules urticantes caractéristiques de l'embranchement des cnidaires. Les polypes de la colonie communiquent entre eux grâce à un réseau de canaux parcourant le tissu qui recouvre le squelette. Ce squelette, formé par la fusion de spicules calcaires, est très résistant et d'une belle couleur rouge (parfois rose ou blanche). Les plus grandes branches peuvent dépasser 50 cm (fig. 33). Dans certaines conditions limites, lumière excessive, courant trop fort, le corail peut pousser en plaque.



**Figure 33** – *Corallium rubrum* (Photographie © P. Lelong).

Les exigences strictes du corail rouge vis à vis de la lumière et des courants conditionnent sa présence dans des lieux bien précis : plafonds de grottes et de failles, surplombs rocheux, parois verticales profondes. Cette espèce, sciaphile, ne se développe que dans les zones où la quantité de lumière est inférieure à 1% de la lumière incidente de surface, mais pas totalement obscure (fond de grotte, grande profondeur). Rare à moins de 10 m de profondeur et à plus de 200 m, le corail rouge trouve des conditions de vie idéales vers 80 – 100 m.

Le corail rouge capture des proies planctoniques avec les cellules urticantes (cnidocystes) portées par les tentacules des polypes. Il peut également absorber de la matière organique dissoute.

Les sexes sont séparés. La reproduction a lieu au début de l'été : les mâles libèrent dans l'eau les spermatozoïdes qui nagent jusqu'aux polypes femelles où ils fécondent les ovules. Après environ un mois d'incubation, une larve ciliée, appelée planula, sort par l'orifice unique du polype. Cette larve nage une à deux semaines à la recherche d'un substrat favorable où elle se fixe. La croissance de la colonie est très lente, de l'ordre de quelques millimètres par an (Garrabou et Harmelin, 2002).

Cette espèce est présente en Méditerranée occidentale, en Adriatique, mais est très rare dans le bassin oriental.

Le corail rouge est exploité par la joaillerie. Autrefois récolté grâce à un engin très destructeur, la croix de Saint André, il est maintenant exploité essentiellement en scaphandre autonome. Sa collecte est réglementée.

Le corail rouge a subi une mortalité massive durant l'été 1999. Les causes sont encore mal connues mais elles semblent être liées à une hausse des températures et à une stabilité de la colonne d'eau durant plusieurs semaines (Garrabou *et al.*, 2001).

Le corail rouge est inscrit dans les annexes III des Conventions de Berne et de Barcelone

#### C.2.3.2. La grande cigale de mer (*Scyllarides latus*)

Moins connue et moins commune que la petite cigale (*Scyllarus arctus*), la grande cigale peut atteindre 45 cm de long. Son activité est nocturne ; le jour, elle se tient à l'abri de la lumière dans les cavités des fonds rocheux et les grottes. Les cigales de mer sont carnivores, elles se nourrissent de mollusques et de cadavres divers (fig. 34).

On peut l'observer dans toute la Méditerranée jusqu'à 100 m de profondeur. Cette espèce est en forte régression essentiellement à cause de la surpêche dont elle a fait l'objet.

La grande cigale est protégée en France par l'arrêté du 26 novembre 1992, elle est inscrite dans l'annexe III de la Convention de Barcelone, dans l'annexe I de la Convention d'Alghéro et dans le Livre Rouge de la faune menacée de France (E).



**Figure 34** – *Scyllarides latus* (Photographie © P. Lelong).

## D. METHODOLOGIE D'ETUDE

---

La méthodologie utilisée pour réaliser cette étude est présentée ci-après. Elle se décline en deux grandes parties :

- cartographie des habitats ;
- analyse écologique des habitats.

### D.1. CARTOGRAPHIE DES HABITATS

La cartographie des différents habitats présents sur le site d'étude a été réalisée sur le logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) MapInfo Professionnel version 8.5. Le système de projection utilisé est le Lambert III SUD, conformément au dossier de consultation.

L'interprétation de photographies aériennes permet de localiser les limites des principales biocénoses marines littorales, à faible profondeur (de 0 à 15 m au maximum). A partir des clichés numérisés et géoréférencés, on délimite les zones immergées qui apparaissent de manière plus ou moins contrastées. L'interprétation des photographies peut soit être réalisée par traitement d'image soit manuellement en délimitant les limites des peuplements par des changements de couleur ou d'intensité lumineuse. Au-delà de 15 m de profondeur, la couche d'eau est trop importante pour pouvoir déterminer les limites des différentes biocénoses à partir des photographies aériennes. Aussi, nous avons eu recours à des données provenant du sonar latéral et de la méthode de Détection et d'Inspection Verticale Acoustique (DIVA) (Viala *et al.*, 2007). Néanmoins, les méthodes actuelles d'imagerie acoustique ne sont pas suffisamment développées pour déterminer et qualifier certaines biocénoses entre elles. Les ondes réceptionnées ne permettent pas de discriminer les roches colonisées par les algues photophiles et celles colonisées par le coralligène. Des plongées de vérité terrain sont donc indispensables pour justifier ces zones d'ombre.

- Les orthophotographies aériennes

Les photographies aériennes utilisées pour cette étude proviennent de la plate forme de données du programme CRIGE (Comité Régional de l'Information Géographique) mise à disposition suite à la convention signée avec l'IGN dans le cadre du contrat plan Etat/Région. Nous avons utilisé des photographies aériennes datant de 2003 et géoréférencées en Lambert III SUD (numéro de licence : IGN/PFAR-PACA-\*004522). Le géoréférencement a été effectué par l'IGN. Nous les avons reçues sur support cédérom en format TIFF. Afin de couvrir notre zone d'étude, nous avons travaillé sur 21 dalles géoréférencées dont chacune a une superficie de 1 km<sup>2</sup>. La résolution est de 50 cm. Ces photographies sont en couleur et sont codées sur 3 octets (16 millions de couleurs).

Ces photographies aériennes en couleur naturelle enregistrent les rayonnements dans le domaine du visible. Les radiations bleues nous permettent une meilleure visualisation des peuplements en profondeur car elles sont favorisées par leur importante pénétration dans l'eau. Les radiations vertes accentuent le contraste de l'herbier de posidonie par rapport à son environnement, et selon la profondeur on note des variations (Lefevre *et al.*, 1984). Les radiations rouges ne pénètrent quasiment pas dans l'eau, elles fournissent des informations concernant les peuplements et types de fonds superficiels (Pasqualini *et al.*, 1997).

L'étude des techniques de photographie aérienne, appliquée à la cartographie des biocénoses marines, a permis de définir les contraintes techniques de ce type de données. Les caractéristiques de prise de vue (format de négatif, focale, altitude de vol et saison de prise de vue) sont décisives car elles caractérisent plus ou moins bien la visualisation et la distinction colorimétrique des peuplements. Les conditions météorologiques sont également

déterminantes car la présence de vagues et les ombres portées masquent les différentes structures benthiques. L'heure de prise de vue est aussi à prendre en compte car il est important d'éviter les zones de réflexion spéculaire causé par le soleil (Lefevre *et al.*, 1984). La précision et la fiabilité du rendu cartographique dépendent de la qualité d'exécution de géoréférencement. Cette dernière est directement liée à la quantité des points de calage et leur répartition à travers la photographie. Les photographies y compris aériennes comprennent une déformation géographique imputée aux caractéristiques de l'objectif : plus on s'éloigne du centre de la photographie, plus la déformation est accentuée. De ce fait, une répartition optimale des points de calage dans les quatre directions de l'image minimise cet effet (Pasqualini *et al.*, 1997). Or, en milieu marin, le linéaire côtier est globalement rectiligne ce qui complique l'exécution de cette tâche.

L'interprétation des photographies aériennes a été réalisée par polygonisation manuellement. Les limites des biocénoses concordent aux brusques changements de teinte ou de densité lumineuse. Néanmoins certaines limites peuvent être source de confusions : une zone claire équivaut généralement à une étendue de sable mais une zone foncée peut correspondre à différents types de fonds comme l'herbier de posidonie, la matre morte, des algues photophiles ou de l'accumulation de feuilles mortes de posidonie (litière). La carte ainsi réalisée représente le positionnement supposé des différents peuplements et types de fonds et doit donc être couplée par des plongées de vérités terrain.

- Le sonar latéral

Le sonar latéral réalise à l'aide d'ondes sonores des images acoustiques détaillées de la réflectivité des fonds marins. Ces images sont obtenues en balayant un faisceau sonore étroit, en incidence rasante sur le fond. L'écho recueilli au cours du temps est une représentation de la réflectivité du fond et surtout de la présence d'irrégularités ou de petits obstacles. Ce signal enregistré latéralement à la direction d'avancée du sonar (d'où son nom : side scan sonar) constitue ligne après ligne une image acoustique du fond.

Pour que les images soient de bonne qualité, l'incidence doit être très rasante, et donc le poisson doit être à une altitude proche du fond, typiquement 10 m, au maximum 15 m. Pour des profondeurs supérieures à 15 m, le poisson doit donc obligatoirement être remorqué (fig. 35) :

- par petits fonds (inférieurs à 15 m), le poisson peut être fixé sous la coque du navire : dans ce cas le géo référencement admet la précision du GPS, c'est-à-dire centimétrique avec le D-GPS différentiel RTK LEICA GX1230.

- par grands fonds : le poisson est maintenu à une altitude de 10 à 15 m. La position du poisson remorqué par rapport au navire est calculée à partir de la longueur de câble filé et de l'altitude du poisson au dessus du fond.

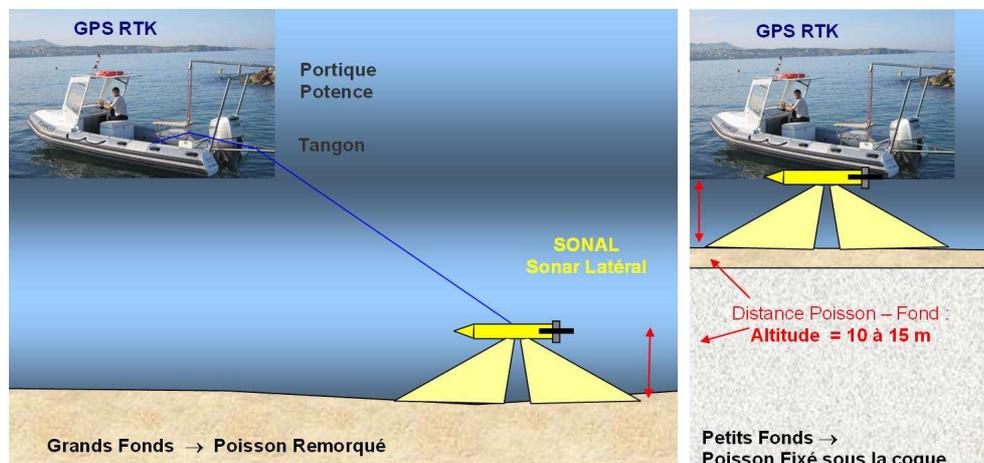


Figure 35 - Schéma de principe simplifié de l'acquisition sonar latéral (d'après Semantic-TS).

Compte tenu du fait que la profondeur des zones à lever au sonar est supérieure à 15 m, il est nécessaire d'utiliser un sonar tracté. En effet un système de coque ne présente pas pour ces profondeurs la rasance correcte pour obtenir une mosaïque sonar de qualité suffisante pour la délimitation des végétations sous-marines.

Pour cela le sonar digital de GEOACOUSTICS (DSSS : GeoAcoustics Digital Side Scan Sonar) a été utilisé (fig. 36). Il s'agit d'un sonar latéral de conception très récente et qui présente l'avantage d'être bi-fréquences, c'est-à-dire qu'il réalise des mesures simultanément pour les deux fréquences suivantes : 114 / 410 kHz. Plus la fréquence est haute plus le sonar a une capacité à détecter des petits objets, plus elle est basse plus sa portée est grande. Ce sonar présente ainsi ce double avantage.

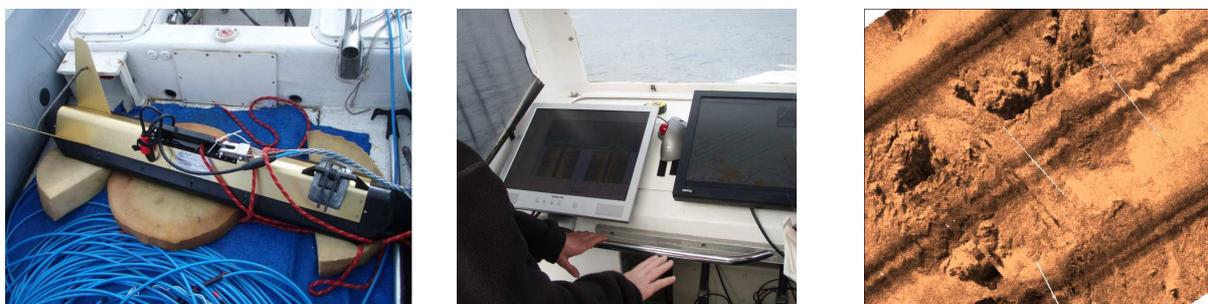
Afin de bien détecter la végétation le sonar doit fonctionner à une fréquence au moins supérieure à 200 kHz. Ce sonar latéral fonctionne à 410 kHz et permet la réalisation de vraies images de réflectivité qui à cette fréquence permettent bien de cerner les contours des végétations sous-marines.

Ce sonar a été tracté à une vitesse moyenne de 5 nd.

Poids: 30 kg dans l'air.

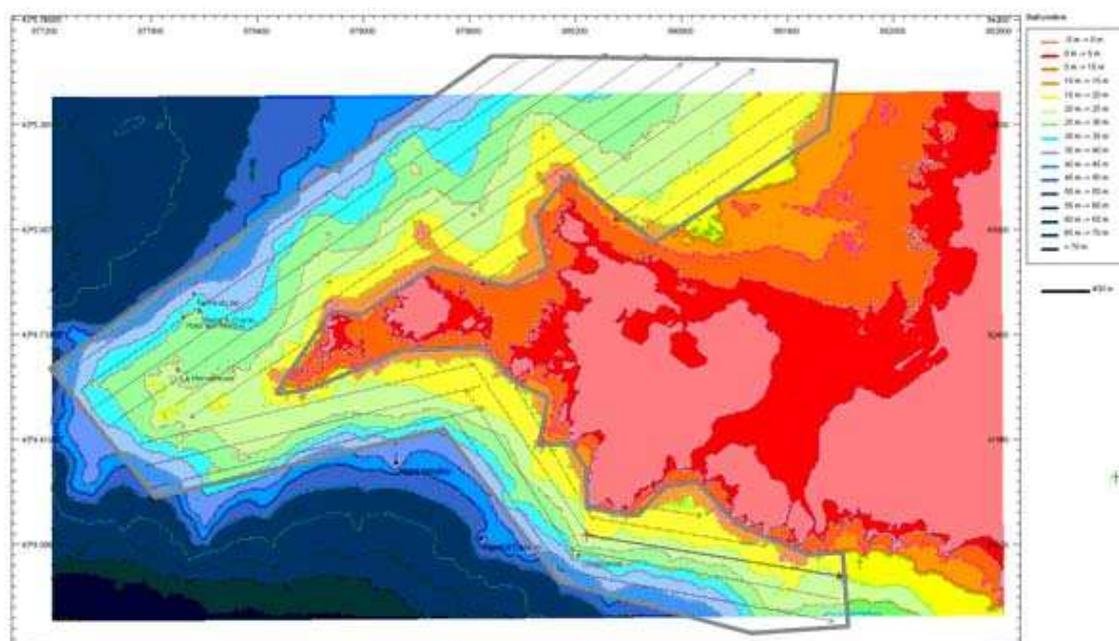
Dimensions: 20 cm H x 22,6 cm W x 127 cm L - 2 ailes latérales de 22 cm.

Composition: Aluminium



**Figure 36** - Sonar DSSS, station d'acquisition, rendu sur SIG (Photographies © J-L Bonnefont et E. Rouanet).

Les mesures ont été effectuées du 26 au 28 février 2008 (fig. 37).



**Figure 37** - Réalisation des mesures au sonar latéral sur la zone d'étude en février 2008 (d'après Semantic-TS).

Les données acoustiques mesurées latéralement sont géo-référencées au moment de l'acquisition. Les profils acquis ont été ajoutés les uns aux autres, par superposition ou par fusion, afin de constituer l'image acoustique appelée « mosaïque sonal ». Elle représente la valeur de la réflectivité du fond en niveaux de gris.

SEMANTIC TS a réalisé et livré les mosaïques en HF (410kHz) et BF (114 kHz). Afin de faciliter le traitement, les images ont été scindées en 4 sous images (zones nord, nord ouest, ouest et sud est), et ceci pour les deux fréquences.

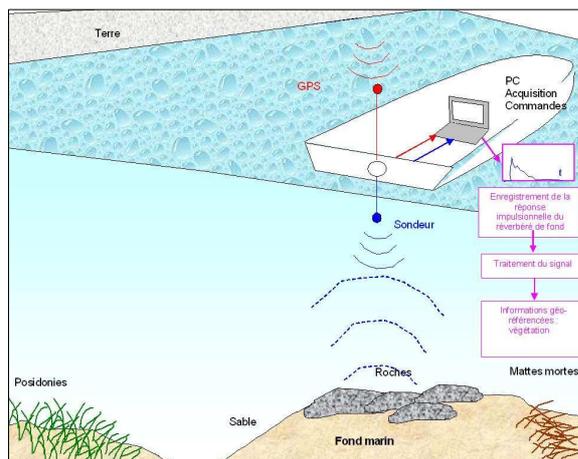
Les données ont été fournies en coordonnées Lambert III SUD sur support numérique.

- La Détection et l'Inspection Verticale Acoustique (DIVA).

Le principe de la méthode DIVA est le suivant : le navire instrumenté se déplace sur la zone à lever (fig. 38). Un PC installé à bord, récupère les informations en provenance de divers instruments de mesure, c'est-à-dire :

- la position (latitude, longitude et élévation de la mer) indiquée par un GPS différentiel,
- la réponse impulsionnelle du signal sonore réverbéré par le fond fournie par le sondeur.

Le système analyse et traite la réponse impulsionnelle et en déduit les caractéristiques de la végétation fixée sur le fond sous-marin. L'ordinateur traite les informations et, à une latitude et une longitude, il associe les informations caractéristiques de la végétation.

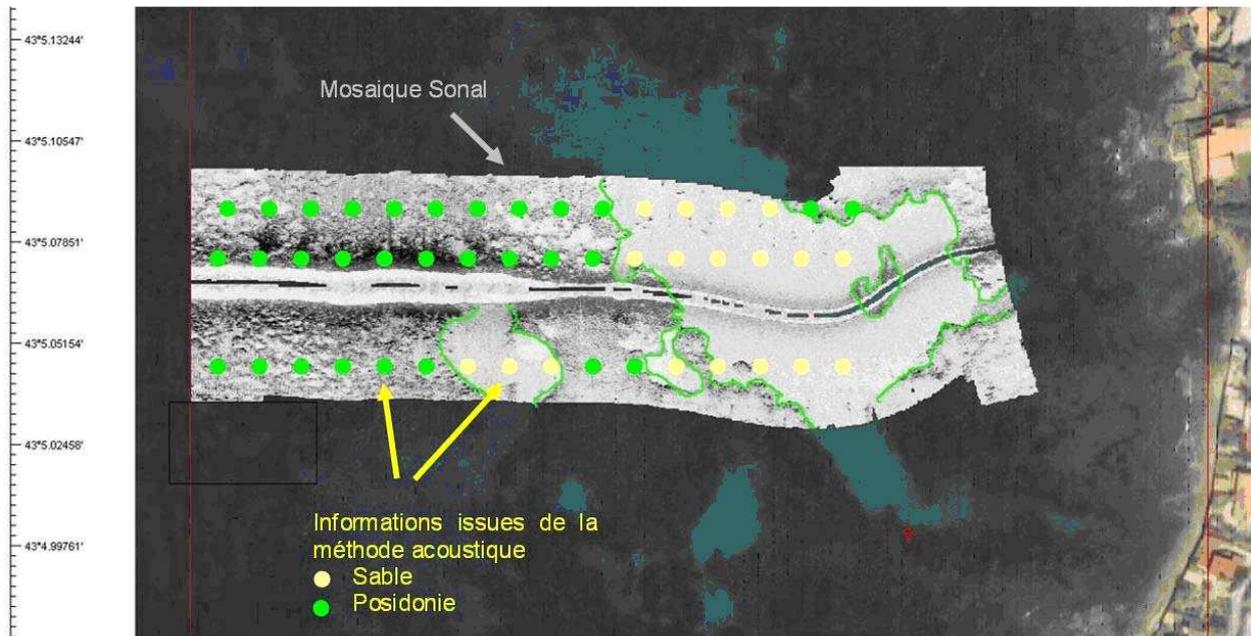


**Figure 38** – Principe de la méthode de DIVA de Détection et Inspection Verticale Acoustique (d'après Semantic TS).

La première étape consiste à extraire du signal reçu par le sondeur le premier écho du fond<sup>4</sup>. Puis une méthode d'analyse discriminante permet ensuite d'affecter à cet écho une classe de biocénose préexistante (par exemple : roche, sable, posidonie...). Cette affectation se fait par l'intermédiaire de fonctions discriminantes calculées à partir de fichiers d'apprentissage pour chacune des classes définies (phase d'apprentissage). Enfin, le résultat de la classification de l'écho est associé à la latitude et la longitude fournies par le GPS, ce qui en assure le géo-référencement.

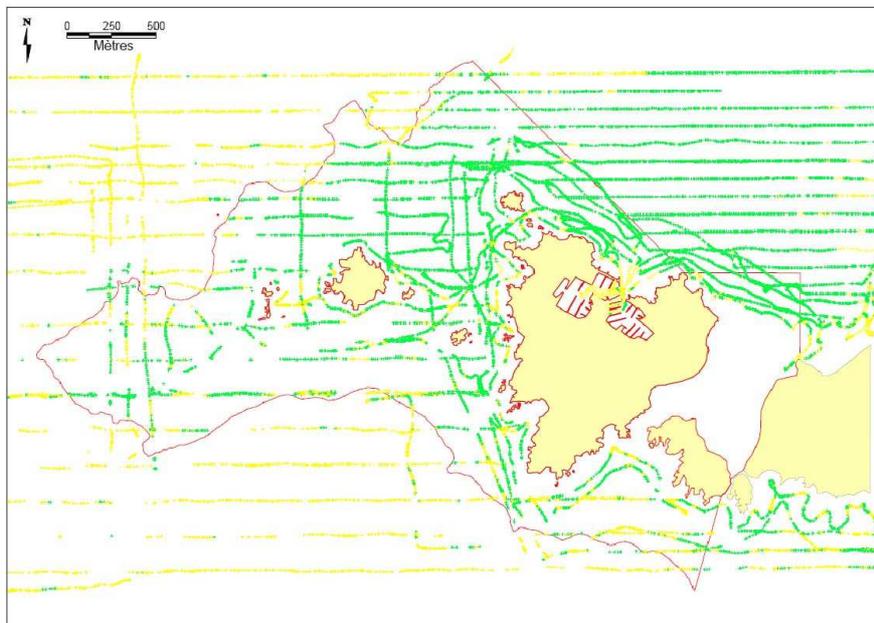
Cette cartographie sera ensuite superposée à la mosaïque sonal (fig. 39). Elle apporte des éléments complémentaires d'aide à l'interprétation qui sont à la fois nombreux et très précisément géo-référencés.

<sup>4</sup> La précision de la caractérisation de la couverture du fond dépend directement de la profondeur et correspond à la surface insonifiée par le sondeur. Ainsi, à une profondeur de 15 m, la résolution spatiale des mesures est d'environ 1,8 m × 1,8 m. La récurrence des impulsions donc des mesures est de 0,5 seconde. La distance entre deux pastilles consécutives le long d'une radiale de mesure est donc très faible. Typiquement, par 15 m de fond et pour une vitesse du navire de 8 Nd les pastilles sont adjacentes. En dessous de cette vitesse les pastilles se recouvrent.



**Figure 39** – Illustration de la superposition des données sonar et méthode de détection acoustique.

Les données de DIVA ont été acquises en même temps que celles obtenues par sonar latéral. Le navire était équipé d'un sondeur multifaisceaux GEOSWATH (fréquence = 250 kHz), d'un sondeur monofaisceau Simrad ES60 (résolution : 18/4 cm ; profondeur 0-200 m), d'un D-GPS différentiel RTK LEICA GX1230 et d'une station d'acquisition et de traitement des données. Plusieurs radiales ont été effectuées autour de l'archipel de manière à couvrir entièrement la zone. Les zones couvertes par l'herbier de posidonie ont pu être détectées (fig. 40).



**Figure 40** – Résultat de l'application de DIVA autour des Embiez. Les croix vertes symbolisent l'herbier de posidonie, les croix jaunes les autres biocénoses (la méthode ne permet pas encore de faire la distinction). Les traits rouges matérialisent la limite du site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç".

Des campagnes de plongées de vérité terrain ont été menées afin de lever les zones de doutes

sur la nature du fond. Quatre agents de l'Institut Océanographique Paul Ricard ont participé à cette campagne en 2008.

- Cartographie de la lagune du Brusc

La lagune du Brusc a été cartographiée en 2004 dans le cadre du réaménagement du port du Brusc (Bernard *et al.*, 2004). Nous avons actualisé ces données. Des vérifications *in situ* en apnée et en scaphandre autonome ont été effectuées.

Dans le cas d'identification des zones à *Caulerpa racemosa*, des relevés et des mesures ont été effectués. Quelques patchs très épars de *C. taxifolia* ont été observés dans la lagune, ils étaient de très petite taille.

Ces relevés ont été effectués au cours du mois d'avril 2008 par deux agents de l'Institut Océanographique Paul Ricard. Un retour sur site a été réalisé en juillet afin de mieux localiser et quantifier les zones à caulerpes.

- Cartographie de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*), de *Cystoseira amantacea* var. *stricta* et des banquettes de posidonie

A partir de photographies aériennes, et de zooms sur un écran d'ordinateur, à l'échelle du 1/250<sup>ème</sup>, le linéaire côtier a été découpé en secteurs selon la présence des peuplements et de leur densité. Des déplacements en bateau pneumatique, en apnée et à pied le long des côtes du secteur d'étude ont permis de localiser ces différents peuplements. Grâce au positionnement GPS, les présences et absences de ces peuplements ont été enregistrées et retranscrites dans le logiciel de cartographie.

Compte tenu de la localisation dans la zone de déferlement des vagues, les cartographies des encorbellements à *Lithophyllum* et des forêts de cystoseire ont été réalisées lors de conditions météorologiques favorables avec une agitation de surface minimale. Une forte houle peut perturber les conditions de travail et donc introduire des biais lors des observations (distance d'approche à la côte variable, écume des vagues masquant une partie des peuplements...).

Les relevés ont été effectués les 13 et 14 novembre 2007 par deux agents de l'Institut Océanographique Paul Ricard.

## D.2. ANALYSES ECOLOGIQUES DES HABITATS

Les analyses écologiques sont réalisées grâce à des descripteurs spécifiques pour chaque habitat conformément à la littérature scientifique et au cahier des charges.

### D.2.1. Herbiers à posidonie (1120\*)

L'analyse écologique de l'herbier de posidonie a été effectuée au niveau de la limite inférieure de l'herbier, sur trois stations, et au niveau des deux récifs barrière bordant la lagune du Brusc.

Les descripteurs de caractérisation des herbiers à *Posidonia oceanica* se situent à deux échelles spatiales :

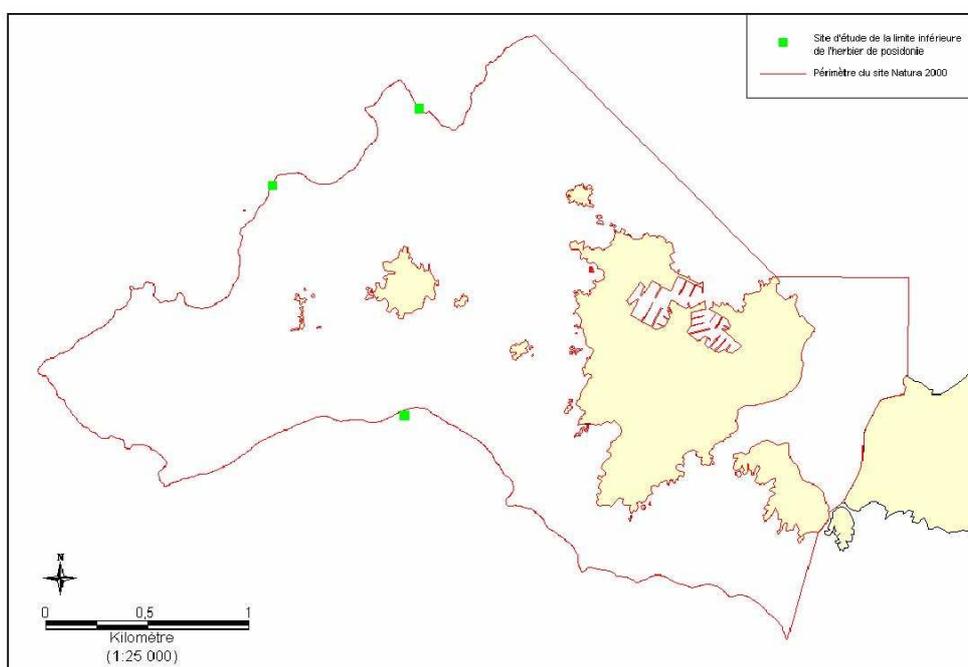
- l'échelle de la station : cartographie, description générale de l'herbier, nature du fond, présence ou absence de structures érosives, type de limite, mesure du recouvrement ;

- la micro-échelle : densité de l'herbier, taux de recouvrement.

- Localisation des stations d'étude

Les mesures en limite inférieure de l'herbier de posidonie ont été effectuées sur des zooms linéaires longs de 100 m. A la réception des données du sonar latéral et de DIVA, acquises par Semantic TS, nous avons désigné, en concertation avec le responsable CSRPN et le chargé de mission Natura 2000, trois stations d'étude en limite inférieure d'herbier (fig. 41, tab. VIII). Ces stations sont géoréférencées afin de faciliter le retour aisé sur site pour une actualisation des données. La méthodologie de mise en place de repères fixes, fiables et géoréférencés est présentée ci-après.

Les mesures ainsi que la pose des repères fixes sur ces trois stations ont été effectuées en scaphandre automne par cinq agents de l'Institut Océanographique Paul Ricard. Elles ont été menées les 3, 11, 16, 17, 24 et 25 juillet 2008.



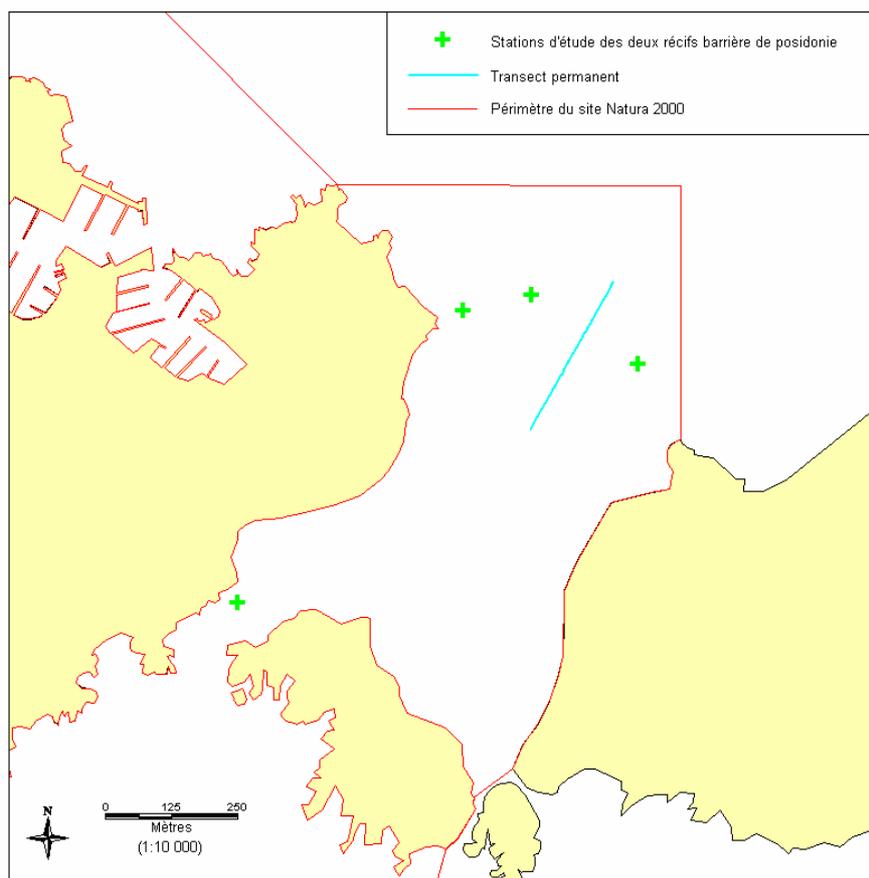
**Figure 41** - Localisation des stations étudiées pour l'évaluation de l'état écologique de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica*.

**Tableau VIII** – Points GPS des stations étudiées pour l'évaluation de l'état écologique de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica*.

Station	Latitude	Longitude
nord	43°05'302"	5°45'978"
ouest	43°04'614"	5°46'100"
sud	43°04'476"	5°45'724"

La caractérisation des deux récifs barrière de posidonie a été réalisée sur quatre stations, dont trois sur le récif barrière nord (S1, S2 et S3) et une sur le récif barrière sud (S4) (fig. 42, tab. IX). Un carré permanent mesurant 6 x 6 m a été matérialisé par des balises (fig. 43). Il correspond à la station S2.

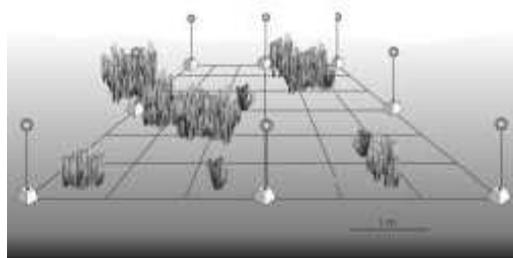
Ces mesures ont été effectuées par trois agents de l'Institut Océanographique Paul Ricard les 1, 2 et 9 et avril 2008.



**Figure 42** - Localisation des quatre stations étudiées et du transect permanent suivi pour l'évaluation de l'état écologique des deux récifs barrière de *Posidonia oceanica*.

**Tableau IX** – Points GPS des quatre stations étudiées pour l'évaluation de l'état écologique des deux récifs barrière de *Posidonia oceanica*.

Station	Latitude	Longitude
S1	43°04'667"	5°47'563"
S2	43°04'680"	5°47'658"
S3	43°04'605"	5°47'803"
S4	43°04'369"	5°47'221"



**Figure 43** - Schéma du carré permanent de 6 m de côté, mis en place à la station S2 sur le récif barrière nord de *Posidonia oceanica*. Le quadrillage en petits carrés de 1m<sup>2</sup>, au moyen de cordes, destiné à la cartographie, est en place. Ces cordes seront retirées à l'issue de la cartographie. D'après S. Ruitton.

- Description générale de l'herbier

Pour chaque station, nous avons noté la morphologie générale de l'herbier : herbier de plaine, de colline, herbier continu, discontinu en mosaïque (alternance herbier/matte morte). Dans ce dernier cas, le pourcentage de matte morte a été estimé.

La nature du fond a également été notée : matte morte, sable coquillier, grossier ou vaseux.

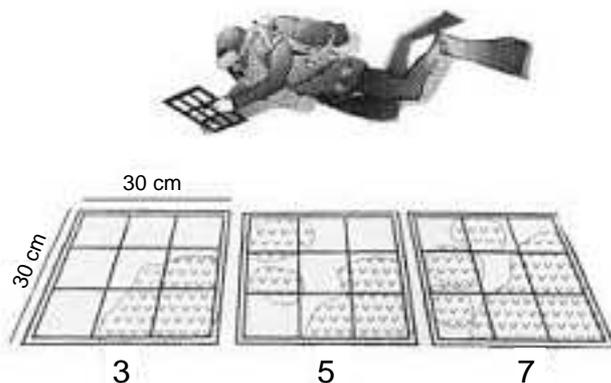
La présence de structures érosives a été relevée : tombants de matte, inter-mattes de sable, chenaux, marmites *etc.* Une description de l'orientation et des mesures de la dimension de ces structures ont été effectuées.

Les espèces de valeur patrimoniale et invasives associées à l'herbier ont été répertoriées (*Pinna nobilis*, *Caulerpa taxifolia* et *C. racemosa*).

- Mesure du recouvrement

Le recouvrement correspond au pourcentage de couverture du substrat par les feuilles de posidonie, par rapport aux zones non couvertes (sable, matte morte, roche). Les valeurs diminuent selon la profondeur. Ainsi, dans les herbiers peu profonds et sains, le taux de recouvrement peut être élevé (80-100%). Au contraire, en limite inférieure de l'herbier sain et dans les herbiers soumis à un fort impact humain, le recouvrement est habituellement faible (entre 5 et 40%) (Pergent *et al.*, 1995 ; Charbonnel *et al.*, 2000a). Le recouvrement varie également de manière naturelle, selon la saison d'observation (du fait de la variation de la longueur des feuilles), ou par exemple, dans des secteurs soumis à un fort hydrodynamisme ou à une hyper-sédimentation.

Actuellement, la méthode décrite par Gravez *et al.* (1995) semble être la mieux adaptée. Le recouvrement est mesuré au moyen d'un quadrat de 30 x 30 cm, divisée en 9 carrés de 10 cm de côté. Le plongeur nage à 3 m au dessus du fond et compte le nombre de carrés occupés (plus ou moins complètement) par *P. oceanica* (fig. 44). Les valeurs sont ensuite exprimées en pourcentage. Les auteurs ont montré qu'avec 30 mesures, à intervalle régulier, la reproductibilité était correcte<sup>5</sup>. Un plongeur peut ainsi effectuer une trentaine de mesures en 15 minutes, le long du balisage. Les points d'échantillonnage ont été déterminés de manière aléatoire au sein des stations situées en limite inférieure d'herbier mentionnées ci-dessus.

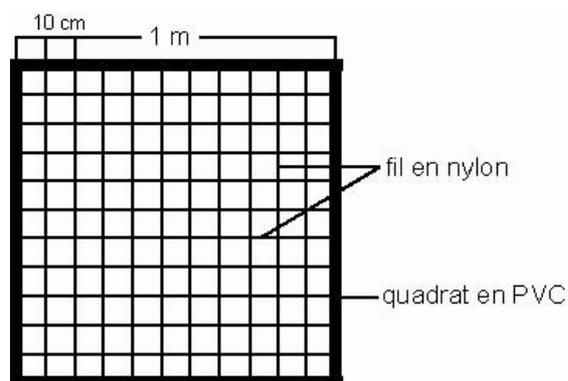


**Figure 44** - Mesure du recouvrement de l'herbier à *Posidonia oceanica* par un plongeur nageant à 3 m au-dessus du fond. Trois exemples de comptage du nombre de carrés occupés (plus ou moins complètement) par l'herbier (en bas) (Gravez *et al.*, 1995).

Par contre pour les stations localisées au niveau des récifs barrière se situent dans des zones de faible couverture d'eau (environ 1 m). Le taux de recouvrement ne peut donc pas être mesuré avec la méthode présentée ci-dessus (*cf.* Gravez *et al.* 1995). De ce fait nous avons utilisé un quadrat de 1 x 1 m, divisé tous les 10 cm par un fil en nylon (fig. 45). La présence des peuplements sous chaque intersection a été comptée, ce qui représente un taux de recouvrement de 1% par intersection. Le nombre total d'intersection dans le quadrat représente donc le recouvrement sur 1 m<sup>2</sup>. Une série de 10 mesures a été effectuée sur chaque station

<sup>5</sup> Un test non-paramétrique de Kruskal-Wallis n'a décelé aucune différence significative entre plongeurs.

d'échantillonnage. Par contre sur S2, où nous avons matérialisé un carré permanent par des balises, nous avons effectué 36 mesures ; une carte précise et complète de la localisation des patches de posidonie sur ce carré a été effectuée.



**Figure 45** – Schéma du quadrat utilisé pour la mesure des taux de recouvrement aux stations de la lagune.

Une échelle d'évaluation du recouvrement (faible, moyen, fort) caractérisant le taux de recouvrement a ensuite été appliquée (tab. X). Le recouvrement étant différentiel selon la profondeur considérée, les valeurs seuils considérées par cette échelle sont différentes selon la position de la limite supérieure ou inférieure de l'herbier.

**Tableau X** – Echelle d'interprétation du recouvrement (faible, moyen, fort) en fonction des pourcentages moyens mesurés le long des limites supérieures et inférieures de l'herbier (Charbonnel *et al.*, 2000b).

Pourcentage de recouvrement (valeur seuils)		
Limite supérieur	Limite inférieure	Interprétation
Inférieur à 40%	Inférieur à 20%	Faible recouvrement
40% à 80%	20% à 50%	Recouvrement moyen
Supérieur à 80%	Supérieur à 50%	Fort recouvrement

- Mesure de la densité de l'herbier

La densité correspond au nombre de faisceaux vivants de *P. oceanica* présents par unité de surface, généralement le mètre carré (Giraud, 1977 ; Romero, 1986 ; Buia *et al.*, 2004). Il est important de noter que la profondeur explique 54% de la variabilité de la densité des faisceaux : celle-ci diminue naturellement avec la profondeur<sup>6</sup> (Pergent *et al.*, 1995). La densité des faisceaux ne dépend pas de la période de mesure, puisque l'on observe une constante tout au long de l'année.

La densité est mesurée, au moyen d'un quadrat de 20 x 20 cm (fig. 46). La taille de ce quadrat est la surface minimale garantissant une bonne représentativité de la mesure (Panayotidis *et al.*, 1981). Un total de 25 mesures par station a été réalisé. Ces mesures de densité permettent ensuite de classer l'herbier grâce à l'échelle d'interprétation de Giraud (1977 ; tab. XI). Une deuxième échelle d'interprétation établit par Pergent *et al.* (1995) intégrant la profondeur a été également appliquée (tab. XII).

<sup>6</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.



**Figure 46** – Mesure de la densité de l'herbier à l'aide d'un quadrat de 20 cm de côté (Photographie © P. Lelong).

**Tableau XI** - Classification de l'herbier de *Posidonia* selon la densité de faisceaux au m<sup>2</sup>, d'après Giraud (1977).

Densité par m <sup>2</sup>	Type d'herbier
- plus de 700 faisceaux/m <sup>2</sup>	Type I, herbier très dense
- de 400 à 700 faisceaux/m <sup>2</sup>	Type II, herbier dense
- de 300 à 400 faisceaux/m <sup>2</sup>	Type III, herbier clairsemé
- de 150 à 300 faisceaux/m <sup>2</sup>	Type IV, herbier très clairsemé
- de 50 à 150 faisceaux/m <sup>2</sup>	Type V, semi herbier
- moins de 50 faisceaux/m <sup>2</sup>	Faisceaux isolés

**Tableau XII** - Densité moyenne anormale, presque normale et normale des faisceaux de feuilles de *Posidonia oceanica*, en fonction de la profondeur, d'après Pergent *et al.* (1995), modifié.

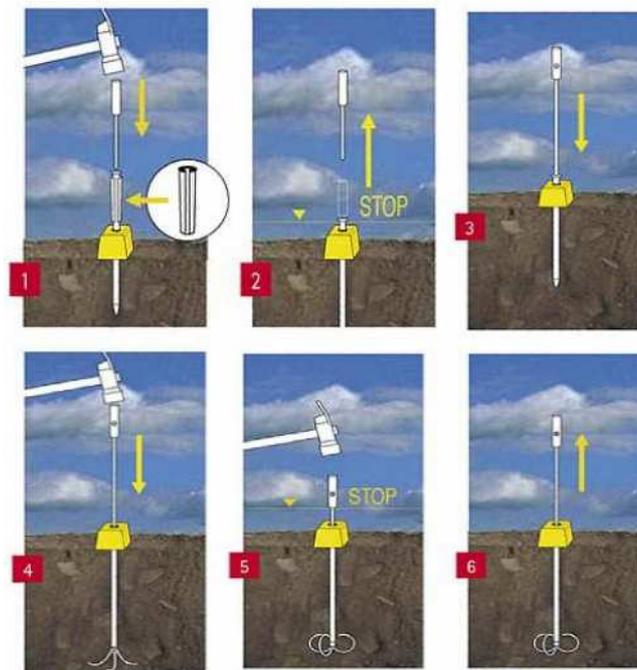
Profondeur (m)	Densité anormale	Densité presque normale	Densité normale
1	< 822	822 - 934	> 934
5	< 413	413 - 525	> 525
10	< 237	237 - 573	> 573
15	< 134	134 - 246	> 246
20	< 61	61 - 173	> 173
25	< 4	4 - 116	> 116
30	-	< 70	> 70
35	-	< 31	> 31
40	-	-	> 1

- Mise en place du protocole de suivi

#### Balisage de la limite inférieure de l'herbier

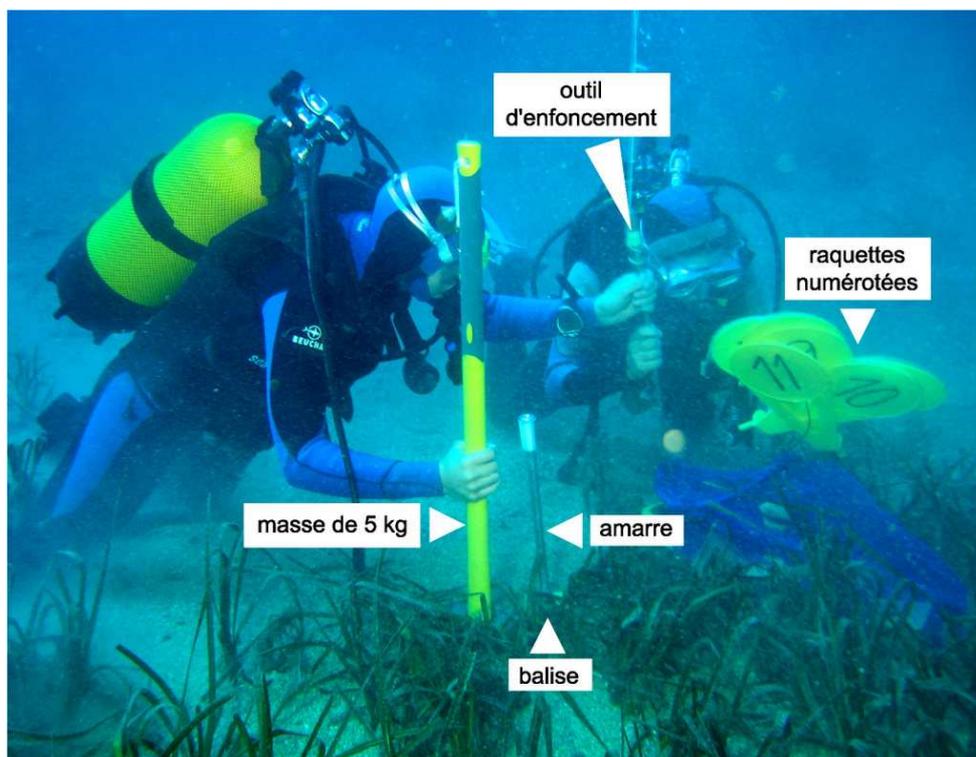
A chaque station de la limite inférieure de l'herbier, une série de petites balises de géomètre a été disposée tous les 10 m de distance, le long de la limite de l'herbier. Ce même procédé a été utilisé pour marquer le carré permanent situé dans la station S2 localisée au niveau du récif barrière de posidonie nord.

Les petites balises utilisées sont du type borne "Faynot polyroc", utilisées par les géomètres dans le domaine terrestre. Ces petites balises, de couleur jaune, sont constituées d'un corps-mort en béton spécial résiné de haute résistance, de 11 cm de côté et de 12 cm de hauteur, troué en son centre pour le passage d'une amarre en acier de 60 cm de longueur et protégée par une galvanisation à chaud (qualité marine). L'amarre est munie d'un verrouillage par trois tiges d'acier assurant un ancrage définitif dans le substrat (fig. 47). Elles sont surmontées d'une "raquette" de couleur jaune et évidée afin de les numérotter. Les balises sont placées au contact des derniers rhizomes de posidonies<sup>7</sup> et matérialisent la limite d'herbier (fig. 48).



**Figure 47** – Mise en place des balises (petites bornes de géomètre "Faynot") utilisées pour le suivi des limites d'herbier : (1) positionner la borne et clipser le manchon de blocage. Planter l'amarre à l'aide de l'outil d'enfoncement et du marteau ; (2) stopper l'enfoncement lorsque le bas de la poignée arrive à 1 cm de la tête de borne ; (3) remplacer l'outil d'enfoncement par le mandrin ; (4) frapper le mandrin avec le marteau pour enfoncer totalement l'amarre, assurer une assise parfaite à la borne et pour déclencher la sortie des trois tiges qui vont ancrer solidement et définitivement la borne ; (5) stopper l'enfoncement à quelques centimètres de la tête de borne ; (6) retirer le mandrin. D'après [www.bornes-feno.com](http://www.bornes-feno.com).

<sup>7</sup> Le positionnement d'un balisage ne pose généralement pas de problèmes particuliers dans le cas de limites franches, érosives ou progressives d'herbier. En revanche, dans le cas des limites régressives d'herbier le choix du lieu d'implantation des balises est plus difficile à déterminer. Si les repères sont positionnés trop bas, par exemple au contact de quelques faisceaux isolés, le risque est de conclure à moyen terme à une régression de l'herbier, alors qu'en réalité, ce phénomène ne concerne que quelques faisceaux, à vitalité réduite. *A contrario*, si la position du balisage est trop haute par rapport à la limite inférieure réelle, l'herbier ne présentera aucune évolution dans le temps. Généralement, ces balises sont donc placées au contact des dernières touffes ou groupes de faisceaux de posidonies et non pas au niveau de quelques faisceaux isolés.



**Figure 48** – Pose de balise de géomètre pour matérialiser la limite inférieure de l'herbier de posidonie et le carré permanent au niveau du récif barrière de posidonie nord (Photographie © P. Lelong).

La profondeur des limites de l'herbier a été mesurée le long du balisage pour chaque balise, à l'aide d'un profondimètre électronique<sup>8</sup> (précision évaluée à  $\pm 10$  cm). La mesure s'est effectuée au pied de chaque balise, elle devra être répétée systématiquement au cours des suivis successifs, afin de mettre en évidence d'éventuels mouvements sédimentaires, constatés par les changements de valeurs des profondeurs. Dans l'interprétation des éventuelles variations des profondeurs, il sera tenu compte des phénomènes de marée barométrique (30 à 50 cm d'amplitude au maximum).

- Réalisation de photographies

Une série de photographies a été réalisée le long des balisages. Ces prises de vues constituent des preuves visuelles de l'évolution de la dynamique de l'herbier (régression, stabilité ou progression) situé de part et d'autre de chaque balise et permettent également de faciliter l'interprétation des données relevées en plongée.

Chaque prise de vue, centrée sur la balise, a été effectuée depuis un piquet-photo, situé à 1,5 m en aval de chaque balise et qui dépasse de la ligne de base du sédiment de 50 cm.

Le matériel de prise de vue est un Nikon Power Shot S70. Les clichés ont été réalisés avec flash (ouverture diaphragme 2,8 et vitesse 1/40<sup>ème</sup>), avec une sensibilité de 50 asa. Par ailleurs, un repère mobile gradué a été utilisé. Ce repère est constitué de deux branches de 1 m, étalonnées tous les 10 cm. Chaque branche sera placée de part et d'autre de la balise et permettra de disposer d'un repère métrique linéaire sur la photographie.

<sup>8</sup> Compte tenu des variations entre les profondimètres disponibles sur le marché (jusqu'à 50 cm), le même profondimètre sera utilisé pour tous les suivis.

### D.2.2. Lagunes méditerranéennes (1150-2\*)

- Analyse écologique des peuplements de la lagune

L'état de conservation des peuplements de *Cymodocea nodosa* et d'*Upogebia sp* a été apprécié par des mesures de recouvrement à travers toute la zone colonisée par ces deux espèces.

Compte tenu de la faible profondeur de la lagune du Brusç (environ 1 – 1,5 m), nous avons utilisé le même quadrat que pour les stations d'étude des récifs barrière de posidonie (cf. ci-dessus).

Ces mesures ont été effectuées par trois agents de l'Institut Océanographique Paul Ricard le 9 avril 2008.

- Transects permanents

Bernard *et al.* (2002), dans leur étude, ont réalisé un relevé détaillé le long du transect n°19 qui parcourt la lagune en son centre sur un axe sud-ouest nord-ouest et sur une longueur de 300 m (fig. 42). Nous avons actualisé ces données et nous avons matérialisé ce transect à chaque extrémité grâce à des balises de type borne "Faynot polyroc" (tab. XII). Les relevés ainsi que la pose des deux balises de chaque extrémité du transect ont été effectués par deux agents de l'Institut Océanographique Paul Ricard le 28 mars 2008.

**Tableau XII** – Coordonnées GPS des deux extrémités du transect permanent qui traverse le récif barrière de part en part.

Extrémité du transect	Latitude	Longitude
Début	43°04'543"	5°47'649"
Fin	43°04'691"	5°47'773"

### D.2.3. Sédiments détritiques médiolittoraux (1140-10)

Les banquettes de posidonie sont une biocénose des sédiments détritiques médiolittoraux. Le long des plages de notre zone d'étude, les banquettes de posidonie ont été mesurées. La longueur ainsi que la hauteur maximale ont été notées. Les banquettes ôtées durant la période estivale sont mentionnées.

Des photographies ont été réalisées et un repère mobile gradué (voir ci-dessus) a été utilisé.

Le recensement ainsi que les mesures de ces banquettes ont été effectués par un agent de l'Institut Océanographique Paul Ricard le 26 novembre 2007.

#### D.2.4. Roche médiolittorale inférieure (1170-12) et roche infralittorale à algues photophiles (1170-13)

*Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*) est une espèce "indicatrice" type de l'habitat Roche médiolittorale inférieure (1170-12). *Cystoseira amantacea* var. *stricta* est quand à elle une espèce "indicatrice" type de l'habitat Roche infralittorale à algues photophiles (1170-13).

- Analyse écologique de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*)

*L. lichenoides* (= *L. byssoides*) est apprécié en rapport à l'état de développement de ses thalles. Nous avons distingué trois types (tab. XIII) :

**Tableau XIII** – Echelle d'évaluation de l'état de développement des thalles de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*).

Type	Interprétation
I	Thalles isolés formant un placage peu épais
II	Thalles coalescents formant un placage épais
III	Thalles coalescents formant un encorbellement

Nous avons également noté les abondances des différents types de développement algal rencontrés le long du linéaire côtier (tab. XIV) :

**Tableau XIV** – Echelle d'interprétation des classes d'abondance des différents type de développement de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*).

Classes d'abondance	Interprétation
0	absence
1-2	rare - épars
3	abondant
4-5	quasi-continue - continue

Concernant les encorbellements, la longueur et la largeur ont été mesurées.

Les relevés et les mesures ont été effectués en même temps que la cartographie par deux agents de l'Institut Océanographique Paul Ricard les 13, 14 et 15 novembre 2007.

- Analyse écologique de *Cystoseira amantacea* var. *stricta*

La densité de *Cystoseira amantacea* var. *stricta* est déterminée selon cinq classes (tableau XV).

**Tableau XV** – Echelle d'interprétation de la densité de *Cystoseira amantacea* var. *stricta*.

Classe	Interprétation
1	rare
2	épars
3	patch abondant
4	ceinture quasi-continue
5	ceinture continue

Les relevés et les mesures ont été effectués en même temps que la cartographie par deux agents de l'Institut Océanographique Paul Ricard les 13 et 14 et novembre 2007.

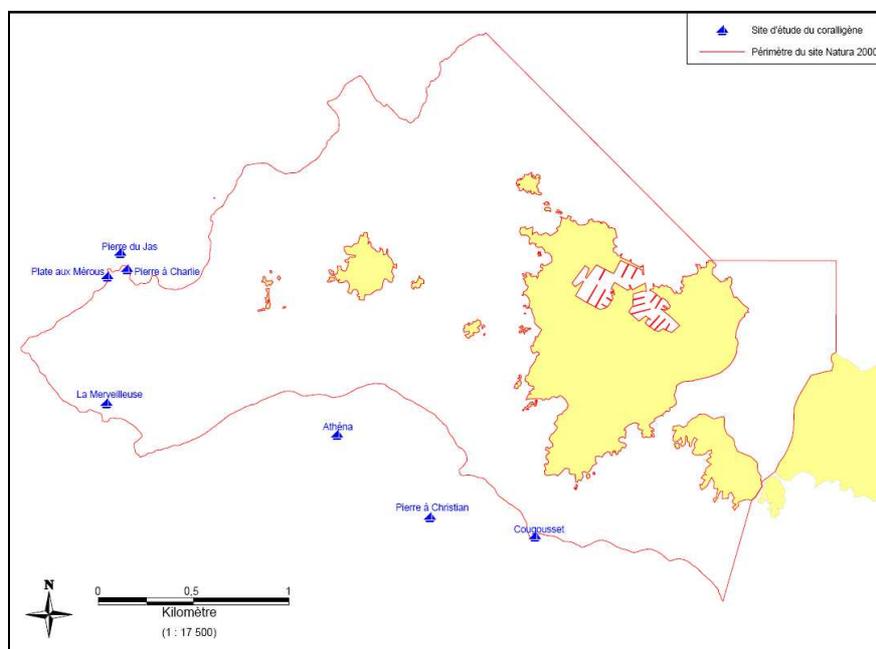
### D.2.5. Coralligène (1170-14)

Les peuplements du coralligène ont fait l'objet de nombreuses études scientifiques (Laborel, 1961 ; Laubier, 1966 ; Hong, 1980 ; Ros *et al.*, 1985 ; Laborel *et al.*, 1994 ; Abbiati *et al.*, 1996 ; Sala *et al.*, 1996 ; Sartoretto *et al.*, 1996 ; Airoidi et Cinelli, 1997 ; Garrabou *et al.*, 1998 ; Cerrano *et al.*, 2000 ; Coma *et al.*, 2000 ; Ferdeghini *et al.*, 2000 ; Francour et Koukouras, 2000 ; Garrabou *et al.*, 2001 ; Piazzini *et al.*, 2004 ; Balata *et al.*, 2005 ; Cerrano *et al.*, 2005 ; Harmelin et Garrabou, 2005 ; Linares *et al.*, 2005 ; Ballesteros, 2006 ; Virgilio *et al.*, 2006 ; Linares *et al.*, 2007 ; Linares *et al.*, 2008). Malgré tout, cette biocénose reste moins étudiée que l'herbier de posidonie par exemple, beaucoup plus accessible. Aussi, des interrogations demeurent, notamment sur la méthodologie à employer pour évaluer l'état de santé de cet habitat. Pour l'exécution de cette étude, nous avons sélectionné, suite à une analyse minutieuse de la bibliographie existante, des paramètres nous paraissant pertinents à mesurer.

- Echantillonnage

Pour évaluer l'état écologique du coralligène, nous proposons de travailler sur des "spots" répartis autour de l'archipel, et connu pour avoir un coralligène développé (fig. 49, tab. XVI). Quatre sites exploités par les clubs de plongée ont été choisis : la Merveilleuse, la Pierre à Christian, la Pierre du Jas et la Plate aux Mécous. A ceux-ci, trois autres sites "non plongés" ont été ajoutés : la Pierre à Charlie, la Pierre du Cougousset et la Pierre Athéna. Tous ces sites sont côtoyés par les pêcheurs.

A chacun de ces sept sites, les caractéristiques générales du site ont été notées. Puis, nous avons caractérisé la faune dressée ainsi que la faune et la flore non dressées.



**Figure 49** – Localisation des sites prospectés pour l'évaluation de l'état écologique du coralligène autour de l'archipel des Embiez.

**Tableau XVI** - Points GPS des sites "plongés" prospectées pour l'évaluation de l'état écologique du coralligène autour de l'archipel des Embiez.

Sites	Latitude	Longitude
Pierre du Jas	43°04'879"	5°45'109"
Merveilleuse	43°04'465"	5°45'029"
Plate aux Mérous	43°04'826"	5°45'060"
Pierre à Christian	43°04'107"	5°46'262"

Les coordonnées GPS des trois sites "non plongés" seront mises à la disposition des scientifiques.

- Caractérisation générale du site

La localisation et la topographie précise (profondeur, orientation) du site ont été réalisées grâce à des vues 3D et aux plongées en scaphandre autonome. L'exploitation ou non du site par les activités socioprofessionnelles comme la plongée sous-marine ou la pêche (présence de filets, palangres...) a été notée. Nous avons fait une description du site où nous avons renseigné sur sa qualité paysagère, sa richesse biologique et notamment la présence d'espèces patrimoniales (corail rouge, *Gerardia*, oursin diadème, mérou ...), sa difficulté d'accès et sa vulnérabilité.

- Caractérisation de la faune dressée

A chaque site, deux stations ont été échantillonnées, correspondant à du coralligène de paroi et de plateau. A chaque station trois transects de 3 x 1 m ont été analysés. Ainsi au total 6 transects ont été mesurés par site. Au sein de ces transects, toutes les espèces dressées (gorgones, spongiaires, bryozoaires) ont été recensées et mesurées.

#### Les gorgones (*Paramuricea clavata*, *Eunicella cavolinii*<sup>9</sup>)

Ces trois espèces de gorgones ont été recensées et leur état écologique diagnostiqué (fig. 50). Les gorgones participent à la structuration tridimensionnelle du coralligène et elles ont subi, par le passé, des épisodes de mortalité massive (Cerrano *et al.*, 2000 ; Coma *et al.*, 2000 ; Perez *et al.*, 2000 ; Sartoretto, 2002 ; Cerrano *et al.*, 2005 ; Harmelin et Garrabou, 2005 ; Linares *et al.*, 2005).



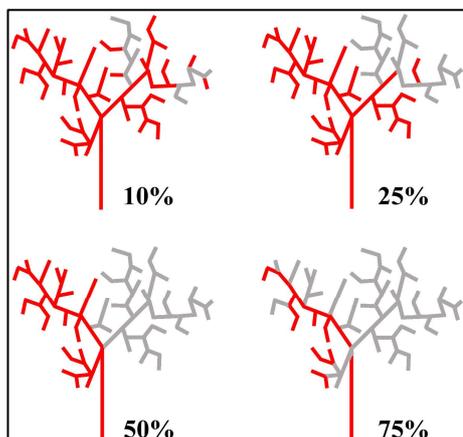
**Figure 50** – Mesure de la taille des gorgones le long d'un transect sur le coralligène de paroi (Photographie © D. Rebillard).

<sup>9</sup> *Eunicella singularis* est quasiment absente sur les roches à coralligène autour de l'archipel des Embiez

Lors des recensements le long des transects, trois paramètres ont été systématiquement notés sur chaque colonie (Perez *et al.*, 2000 ; Harmelin et Garrabou, 2005) :

(i) la structure de taille : l'ensemble des colonies ont été mesurées à 1 cm près, à l'aide d'un mètre ruban gradué tous les 1 cm. Ces données, plus précises, permettent de dresser les histogrammes de distribution des tailles de chaque peuplement étudié. Les séries de mesures ont été effectuées dans une tranche bathymétrique n'excédant pas 2 m d'amplitude verticale.

(ii) le taux de nécrose : les différents stades de nécrose sont représentés à l'aide d'un gabarit, utilisé en plongée lors des observations (fig. 51). Une échelle d'évaluation est ensuite utilisée (tab. XVII).



**Figure 51** – Représentation des stades de nécrose 10%, 25%, 50% et 75%. En rouge : partie vivante ; en gris : partie nécrosée (d'après Francour et Koukouras, 2000).

**Tableau XVII** – Echelle d'évaluation des taux de nécrose chez les gorgones.

Classe	Interprétation
0	100% de la colonie nécrosés = colonie entièrement morte
1	75 - 99% de la colonie nécrosés
2	50 - 74% de la colonie nécrosés
3	25 - 49% de la colonie nécrosés
4	10 - 24% de la colonie nécrosés
5	0 - 9% de la colonie nécrosés

(iii) la colonisation des axes dénudés des gorgones par des organismes vivants. Elle permet d'avoir une estimation de la date de la nécrose. L'échelle utilisée est la suivante :

N : le squelette est nu, la nécrose est récente.

C : le squelette est colonisé par des algues et des bryozoaires, la nécrose est alors plus ancienne.

N et C : on observe, sur une même colonie, une partie de l'axe nu et une autre partie colonisée, ceci peut être dû à une colonisation en plusieurs phases.

Les colonies cassées et arrachées ont également été recensées et mesurées.

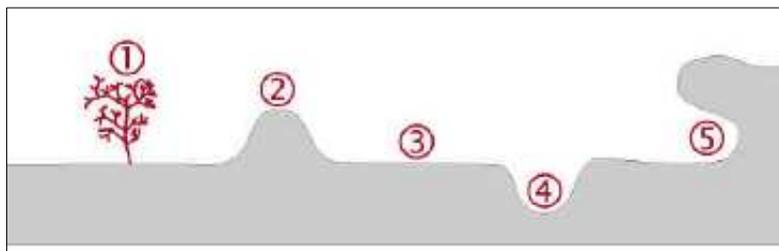
### Corallium rubrum

La hauteur maximale et le diamètre basal sont mesurés à l'aide d'un compas reporté sur un mètre ruban (Francour et Koukouras, 2000 ; Garrabou et Harmelin, 2002). Nous supposons que l'épaisseur du coenchyme est négligeable (Garrabou et Harmelin, 2002). Le nombre de branches sur chaque colonie sera compté (Garrabou et Harmelin, 2002).

*Pentapora fascialis*

Ce bryzoaire a la particularité d'être un bon indicateur de l'impact des activités de plongées subaquatiques (Sala *et al.*, 1996 ; Garrabou *et al.*, 1998).

La hauteur maximale ainsi que le diamètre de chaque colonie ont été mesurés (Francour et Koukouras, 2000). De plus, l'abrasion des colonies a été appréciée en fonction du degré d'exposition de celles-ci (Sala *et al.*, 1996 ; Garrabou *et al.*, 1998 ; Francour et Koukouras, 2000 ; fig. 52).



**Figure 52** – Degré d'exposition des colonies de bryzoaire comme épibiontes (1), sur des surfaces convexes (2), des surfaces planes (3), dans une cavité (4) et sous un surplomb (5) (d'après Sala *et al.* 1996).

Les éponges (*Axinella polypoides*, *Spongia agaricina*, *S. officinalis*)

La structure de taille de ces organismes a été étudiée grâce à des mesures à l'aide d'un mètre ruban gradué tous les 1 cm. Un histogramme de distribution des tailles de chaque peuplement étudié a été dressé. Les séries de mesures ont été effectuées dans une tranche bathymétrique n'excédant pas 2 m d'amplitude verticale.

Pour *A. polypoides*, on a mesuré la hauteur de chaque organisme ; pour *S. agaricina* on a mesuré la hauteur et le diamètre apical ; pour *S. officinalis* on a mesuré la longueur, la largeur et l'épaisseur. Pour cette dernière, on a évalué sa taille en 3 classes comme établi dans la littérature (Perez et Capo, 2001 ; Perez *et al.*, 2004 ; tab. XVIII).

**Tableau XVIII** – Echelle d'évaluation des classes de taille chez *Spongia officinalis* (d'après Perez *et al.* 2004).

Classe	Interprétation
0 à 100 cm <sup>3</sup>	petite
100 à 1000 cm <sup>3</sup>	moyenne
+ 1000 cm <sup>3</sup>	grande

- Caractérisation de la faune et flore non dressées

Au sein de chaque transect, on a choisi au hasard 9 quadrats de 0,2 x 0,3 m afin de recenser et de mesurer les espèces non dressées. Ces quadrats sont de petite taille afin d'apprécier correctement les différentes espèces et pour avoir une meilleure précision et une meilleure prise en compte des aspérités du substrat (Benedetti-Cecchi *et al.*, 1996 ; Perez et Capo, 2001). Quarante vingt un quadrats sont donc analysés sur chaque site.

L'échantillonnage des espèces non dressées a été réalisé par photo quadrat (boîte 1). Outre sa rapidité de mise en oeuvre, qui offre un avantage dans le cas d'utilisation sur les sites profonds, cette méthode est facilement reproductible (Meese et Tomich, 1992 ; Dethier *et al.*, 1993 ; Leonard et Clark, 1993 ; Benedetti-Cecchi *et al.*, 1996). Toutefois, la photo quadrat a tendance à sous estimer la diversité et le pourcentage de couverture des différents taxons (Foster *et al.*, 1991 ; Leonard et Clark, 1993). Aussi, une lumière artificielle a été utilisée afin d'obtenir une meilleure détection des taxons (Leonard et Clark, 1993). La méthode visuelle *in situ* a

l'avantage d'être plus précise que le photo quadrat, mais elle est sujette à des biais entre observateurs (Meese et Tomich, 1992 ; Dethier *et al.*, 1993 ; Leonard et Clark, 1993 ; Benedetti-Cecchi *et al.*, 1996). Compte tenu des profondeurs des sites et du temps imparti, cette méthode n'a pas été retenue.

**Boite 1** – Utilisation de la photographie sous-marine pour le suivi du benthos.

La photographie sous-marine est une technique d'échantillonnage non destructrice largement plébiscitée par les biologistes marins. Elle offre un complément aux prélèvements classiques et fournit un gain d'information considérable. En outre, elle permet un repérage spatial de la communauté échantillonnée, dont on souhaite suivre l'évolution dans le temps. L'emploi de cette technique est donc parfaitement adapté pour mettre en évidence les éventuels changements dans les assemblages benthiques sessiles. De plus en plus associée à l'utilisation de quadrats et de transects, la photographie est aujourd'hui largement utilisée pour estimer des recouvrements, des abondances ou des dénombrements (Ferdeghini *et al.*, 2000 ; Kollman et Stachowitsch, 2001), établir des inventaires exhaustifs (Pech *et al.*, 2004), diagnostiquer des impacts (Fanelli et Boero, 2001), étudier la croissance des organismes (Garrabou et Harmelin, 2002), et mettre en évidence des changements structurels sur du long terme (Kollman et Stachowitsch, 2001 ; Bianchi *et al.*, 2001).

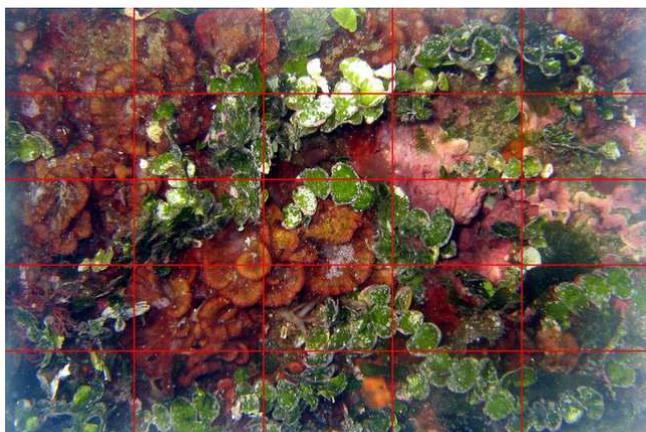
Les placettes de photo-quadrat ont une longueur de 30 cm pour une largeur de 20 cm, soit une superficie de 600 cm<sup>2</sup>. L'appareil photo est inséré sur un cadre en PVC distant de la roche de 55 cm. L'appareil utilisé est un Nikon Power Shot S70 équipé d'un objectif de 28 mm équipé d'un flash externe (fig. 53).



**Figure 53** – Echantillonnage des espèces non dressées par photo quadrat (Photographie © D. Rebillard).

Le recensement, le taux de recouvrement et la densité des différents taxons ont été estimés sur ordinateur grâce au logiciel Adobe Photoshop<sup>®</sup>. Une grille de 25 carrées de 6 x 4 cm de côté a été projetée sur chaque photographie (fig. 54). Puis grâce à l'échelle établie par Dethier *et al.* (1993), on a estimé le taux de recouvrement des organismes sessiles. Chaque petit carré de 24 cm<sup>2</sup> est comptabilisé pour 4% de recouvrement par les organismes. Ainsi, si le carré est totalement recouvert par un organisme alors celui-ci compte 4% de taux de recouvrement. De même si un autre carré est au  $\frac{3}{4}$  recouvert par un organisme alors celui-ci compte pour 3% de taux de recouvrement ; et ainsi de suite. Par contre, si un organisme est présent sur moins d' $\frac{1}{4}$  d'un petit carré alors il est considéré comme "rare" et arbitrairement on lui assigne la valeur 0,5% comme taux de recouvrement (Dethier *et al.*, 1993).

La richesse spécifique a été calculée grâce à l'indice de Shannon et l'indice de régularité par l'indice de Piéλου.



**Figure 54** – Analyse d'un photo-quadrat grâce à une grille de 25 carrées de 6 x 4 cm sur le logiciel Photoshop<sup>®</sup>.

- Mise en place du protocole de suivi

Les transects ont été localisés par des repères fixes, fiables et géoréférencés pour permettre un retour aisé sur site en vue d'une actualisation des données. Ils sont matérialisés par des fers à béton.

L'ensemble des mesures et des relevés a été effectué par cinq agents de l'Institut Océanographique Paul Ricard. En moyenne, trois plongées par site ont été nécessaires pour réaliser les inventaires et les données (tab. XIX).

**Tableau XIX** – Calendrier des plongées réalisées en scaphandre autonome pour l'évaluation de l'état écologique du coralligène.

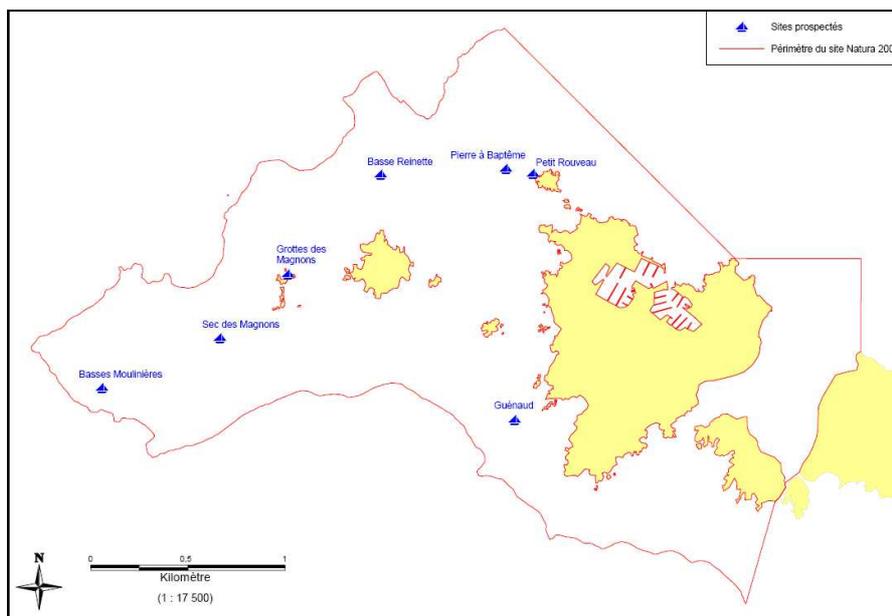
Sites	Dates des sorties terrain
Pierre du Jas	13, 14 et 15 novembre 2007
Merveilleuse	13, 14, 18 et 21 février 2008
Plate aux Mérours	22, 25 et 26 février 2008
Cougousset	19 mars, 8 avril et 13 mai 2008
Pierre à Charlie	24, 28 avril et 14 mai 2008
Pierre à Christian	29, 30 mai, 12 et 17 juin 2008
Pierre Athéna	24, 25 et 26 juin 2008

#### D.2.6. Grottes semi-obscuras (8330-3)

Nous avons évalué l'état de santé de sept sites répartis autour de l'archipel des Embiez (fig. 55, tab. XX). Ces sites sont connus pour abriter des biocénoses de l'habitat grottes semi-obscuras (8330), essentiellement sous forme de tombants et dans quelques cas de voûtes ou de petites grottes. Ils sont régulièrement visités par les clubs de plongée, les chasseurs sous-marins et soumis à la pêche professionnelle et de plaisance.

A chaque plongée, nous avons fait une description du site où nous avons indiqué le faciès dominant, la qualité paysagère, la richesse biologique, l'accessibilité et la vulnérabilité des grottes semi-obscuras.

Ces plongées ont été effectuées par quatre agents de l'Institut Océanographique Paul Ricard les 23, 24, 25, 28 et 29 février et le 1 mars 2008.



**Figure 55** – Localisation des sites prospectés pour l'évaluation de l'état écologique des grottes semi-obscures autour de l'archipel des Embiez.

**Tableau XX** - Points GPS des sites prospectés pour l'évaluation de l'état écologique des grottes semi-obscures autour de l'archipel des Embiez.

Sites	Latitude	Longitude
Basses Moulinières	43°04'512"	5°44'972"
Sec des Magnons	43°04'639"	5°45'427"
Sec de Guénaud	43°04'376"	5°46'532"
Pierre à Baptême	43°05'080"	5°46'539"
Basse Reinette	43°05'078"	5°46'063"
Grottes des Magnons	43°04'809"	5°45'696"
Petit Rouveau	43°05'064"	5°46'641"

### D.2.7. Traitements statistiques des données

L'ensemble des traitements statistiques a été effectué grâce au logiciel R 2.5.1. (R-Development-Core-Team, 2007).

La normalité (test de Shapiro-Wilks) et l'égalité des variances (test de Bartlett) ont tout d'abord été testées sur l'ensemble des données. Dans les cas où les données suivaient la loi normale et qu'il y avait une homogénéité des variances, nous avons appliqué des tests statistiques paramétriques. Nous avons appliqué une ANOVA (One-Way ANOVA) et le test *a posteriori* de Tukey. Par contre, dans les cas où les données ne suivaient pas la loi normale et qu'il n'y avait pas d'homogénéité des variances, même lorsque l'on applique les transformations préconisées  $\sqrt{x}$  et  $\log_{10}(x+1)$  (Legendre, 1979), nous avons appliqué des tests non paramétriques. Nous avons utilisé le test de Kruskal-Wallis (K.W.) et le test *a posteriori* de Wilcoxon-Mann-Whitney (W.M.W.).

Les indices de diversité de Shannon-Wiener  $H'$  d'équitabilité de Pielou  $J'$  ont été calculé à partir des formules suivantes:

$$H' = -\sum (ni/N) \log_2(ni/N) \quad \text{avec } ni = \text{nombre d'individus de l'espèce } i$$

$$N = \text{nombre d'individus total}$$

$$J' = H'/H'_{\max}$$

$$\text{avec } H'_{\max} = \log_2 S, \text{ où } S = \text{nombre total d'espèces}$$

### D.3. SYNTHÈSE DES ANALYSES ÉCOLOGIQUES

A l'issu du diagnostic écologique de chaque habitat, une fiche de synthèse a été rédigée. Elle est basée sur les recommandations figurant dans le Cahier des Charges pour les Inventaires Biologiques (CCIB) édité par la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) et validé par le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN).

Cette fiche reprend la dénomination de l'habitat, ses codes Natura 2000 et CORINE ainsi que son statut communautaire. Un diagnostic synthétique de l'habitat est présenté, accompagné d'une illustration. La fiche rappelle les caractéristiques descriptives de l'habitat considéré, son état écologique ainsi que les propositions et enjeux de gestion et de conservation de l'habitat. Conformément au CCIB, les différents critères mentionnés dans la fiche sont codifiés comme suit (tab. XXI):

**Tableau XXI** – Cotation des critères caractérisant les habitats d'intérêt communautaire (d'après CCIB).

Critère	Cotation	Sous-critères
Représentativité	A : excellente B : bonne C : significative D : non significative	-
Valeur écologique, biologique et patrimoniale	A : bonne B : moyenne C : mauvaise D : inconnue	-
Etat de conservation	A : excellent SI SII + PI B : bon SII + PII SII + PIII + RI SII + PIII + RII SIII + PI + RI SIII + PI + RII SIII + PII + RI C : moyen ou réduit (toutes les autres combinaisons)	- degré de conservation de la structure : SI : excellent SII : bien conservé SIII : moyen ou partiellement dégradé  - perspective de conservation des fonctions: PI : excellentes PII : bonnes PIII : moyennes ou défavorables  - possibilités de restauration : RI : facile RII : possible avec un effort moyen RIII : difficile ou impossible
Dynamique des organismes	A : progressive rapide B : progressive lente C : stable D : régressive lente E : régressive rapide F : inconnue	-
Evaluation globale	A : excellente B : bonne C : significative	-

## **E. Analyse écologique des habitats d'intérêt communautaire**

### **E.1. TYPOLOGIE DU LINEAIRE COTIER**

Sur la zone d'étude, le long du linéaire côtier, nous observons trois grandes typologies différentes :

- le substrat rocheux qui occupe 63,91% du linéaire côtier ;
- les plages qui occupent 9,90% du linéaire côtier ;
- les zones artificialisées occupent 26.19% du linéaire côtier. Ces zones correspondent au port des Embiez, aux digues bordant la lagune du Brusç ou au ponton d'accostage sur l'île du Grand Rouveau.

### **E.2. HERBIER A POSIDONIE (1120\*)**

#### **E.2.1. Analyse cartographique de l'herbier à posidonie**

L'herbier de posidonie est l'habitat dominant, de part son étendu, sur le site Natura 2000 de la lagune du Brusç. Il occupe une superficie de 397 ha soit 78,2% de la superficie totale cartographiée. L'herbier de posidonie est dense sur 318 ha et clairsemé sur 29 ha. Parfois l'herbier est situé en mosaïque sur de la roche à algues photophiles, et ceci sur une superficie de 43 ha. De même, l'herbier est parfois situé en mosaïque sur des roches à coralligène, ceci sur une superficie de 1,6 ha. Les superficies précises de l'herbier d'une part et de la roche à algues photophiles ou du coralligène d'autre part sont difficiles à déterminer. En effet ces biocénoses sont présentes en alternance sur de très faibles superficies pour chaque tache de présence.

La proportion de matte morte est relativement faible sur le site avec seulement une superficie de 5,4 ha, essentiellement localisée au sud du récif barrière de posidonie localisé au nord de la lagune du Brusç.

L'herbier de posidonie est extrêmement morcelé, avec d'importantes zones sableuses plus ou moins étendues, dans les zones de mouillage forain (au nord ouest de l'île des Embiez et entre les îles des Embiez et du Rouveau).

#### **E.2.2. Analyse écologique de l'herbier à posidonie**

La caractérisation de la limite inférieure de l'herbier de posidonie a été effectuée sur trois stations, définies en concertation avec le chargé de mission et le rapporteur scientifique du site. Ces trois stations ont toutes été évaluées et balisées sur une longueur de 100 mètres. La première station est localisée au nord du Rouveau à une profondeur de -30 m (appelée station "nord"), la deuxième est au nord ouest du Rouveau à -30 m (appelée station "ouest") et la troisième est au sud du Rouveau à -32 m (appelée station "sud").

La caractérisation des deux récifs barrière de posidonie bordant la lagune du Brusç a été effectuée sur quatre stations dont trois situées sur le récif barrière nord (S1, S2 et S3) et une située sur le récif barrière sud (S4). C'est quatre stations sont situées à des profondeurs n'excédant pas 1 m.

##### *E.2.2.1. Type de limite*

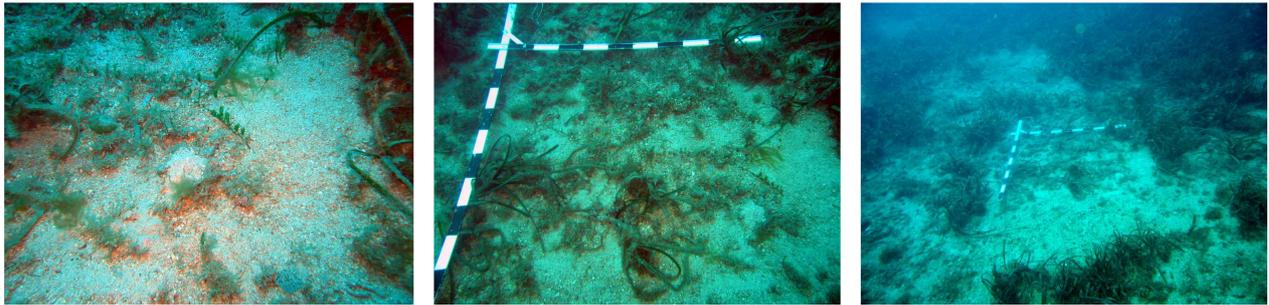
Aux stations "nord" et "ouest", la limite de l'herbier de posidonie est régressive. De nombreux faisceaux de posidonie sont visibles çà et là. Par contre, à la station "sud", la limite est franche.

### E.2.2.2. Morphologie générale de l'herbier

Au niveau des stations "nord" et "ouest", l'herbier est discontinu en mosaïque. On observe des alternances herbier/sable. Sur les patches de sable localisés dans l'herbier, nous avons pu noter la forte présence de l'algue invasive *Caulerpa racemosa* (fig. 56). Aucune observation n'a été faite sur le sable situé au-delà du balisage mis en place le long de la limite inférieure de l'herbier.

A la station "sud", l'herbier est continu de type "plaine". Des patches de l'algue invasive *C. racemosa* ont été observés, mais ceux-ci sont nettement moins abondants et moins denses qu'aux deux autres stations.

Sur les stations "nord" et "ouest", l'herbier de posidonie apparaît plus épiphyté comparé à la station "sud". Cette dernière est davantage soumise au courant ce qui peut expliquer ces différences.



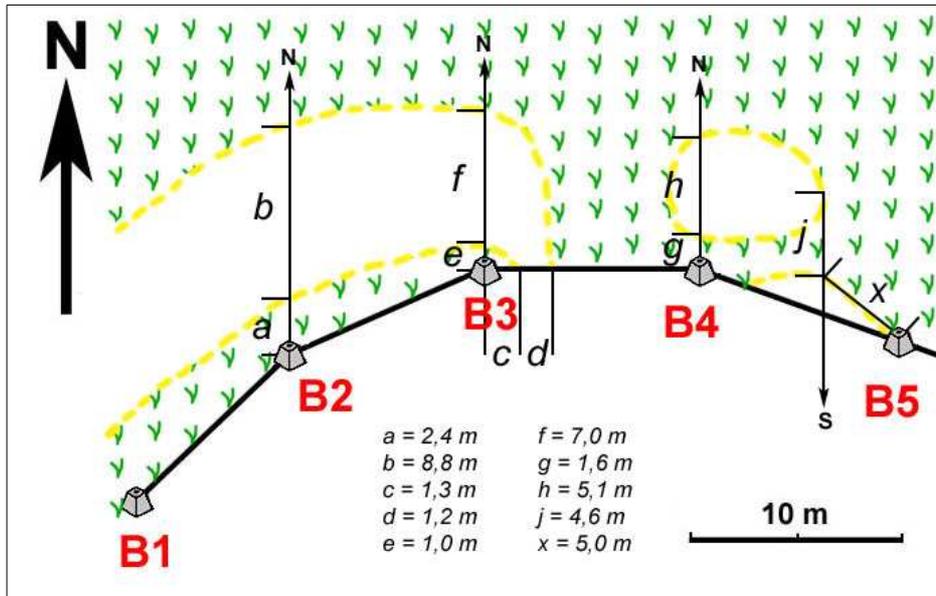
**Figure 56** – Tache de l'algue invasive *Caulerpa racemosa* au niveau du zoom ouest. Les trois photographies correspondent à la même tache mais avec trois prises de vue différentes (photographies © P. Lelong).

La lagune du Brusc a la particularité d'avoir deux récifs barrière de posidonie, dont celui du nord très développé. Ce monument naturel débute à l'extrémité est de l'île des Embiez et se prolonge vers le port du Brusc, sur près de 450 m de long. Ce récif barrière ferme la lagune et la protège de l'influence directe de la houle du large. Il est composé d'un vaste plateau de matte morte de très faible profondeur (de l'ordre de 1 m) sur lequel on observe quelques patches de posidonie affleurantes à faible vitalité. En arrière de ce récif barrière, on observe la présence de matte morte entièrement colonisée par l'algue invasive *C. racemosa*.

Le récif barrière sud, nettement plus petit, est composé d'un herbier de posidonie et de très peu de patches de matte morte, contrairement à celui du nord. La vitalité y est plus élevée.

### E.2.2.3. Présence de structures érosives

A la station "sud", en arrière des balises 1, 2, 3 et 4, on a observé deux grandes taches de sable. Nous les avons mesurées et schématisées précisément afin de suivre correctement l'évolution de la limite de l'herbier dans le temps (fig. 57). Ces structures érosives, contrairement à d'autres secteurs de l'archipel, ne sont pas dues aux ancrages des bateaux. La trop grande profondeur ne permet aux bateaux de mouiller.



**Figure 57** – Schéma des taches de sable observées en arrière des balises B1, B2, B3 et B4 sur le zoom sud de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.

#### E.2.2.4. Type de substrat

Sur l'ensemble des trois stations de la limite inférieure de l'herbier, l'herbier de posidonie est localisé sur un fond de sable.

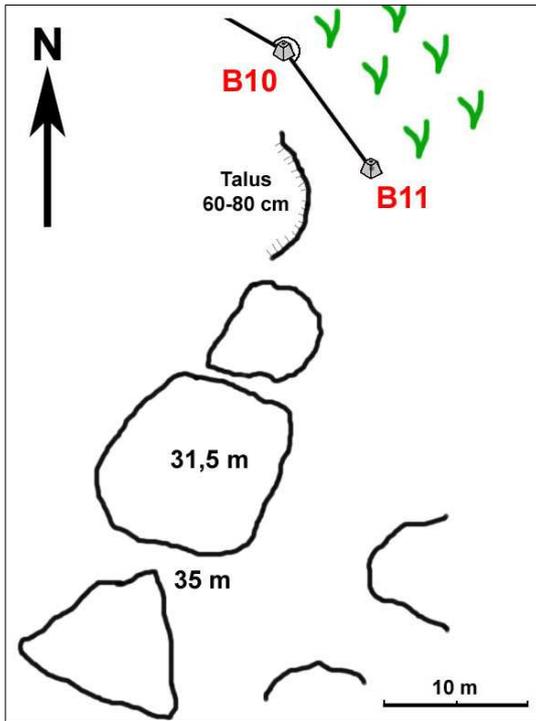
L'herbier de posidonie situé sur le récif barrière nord est situé sur un fond de matte morte. Par contre sur le récif barrière sud, il s'agit d'un herbier de roche.

#### E.2.2.5. Nature du fond à proximité des stations

A la station "nord", au nord de la balise B12, nous avons repéré un affleurement rocheux d'environ 1 m de hauteur et d'une superficie de quelques dizaines de mètres carrés.

Le long du balisage de la station "ouest", au nord et parallèle à celui-ci, nous avons noté la présence d'un talus de sable. Sa hauteur est de 80 cm. De plus, on peut relever la présence de deux affleurements rocheux. Le premier est situé entre les balises B2 et B3, légèrement au nord. Il mesure environ 30 à 40 cm de haut et occupe une superficie de quelques mètres carrés. Le deuxième est au sud ouest de la balise B6, il mesure environ 1 m de haut et représente une superficie de quelques mètres carrés.

A la station "sud", au sud de la balise B11, nous avons observé un petit talus de sable d'une hauteur de 80 cm. Ce talus est situé à proximité d'éperons rocheux, orientés sud sud-ouest, composés de trois roches de concrétionnement à coralligène (~ 3-4 m de haut pour quelques dizaines de mètres carrés ; fig. 58). Nous avons pu observer quelques frondes de *C. racemosa* sur la roche la plus au nord.



**Figure 58** – Schéma du tombant de sable et des éperons de concrétionnement de coralligène situés au sud de la balise B11 du zoom sud de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.

#### E.2.2.6. Mesure du taux de recouvrement

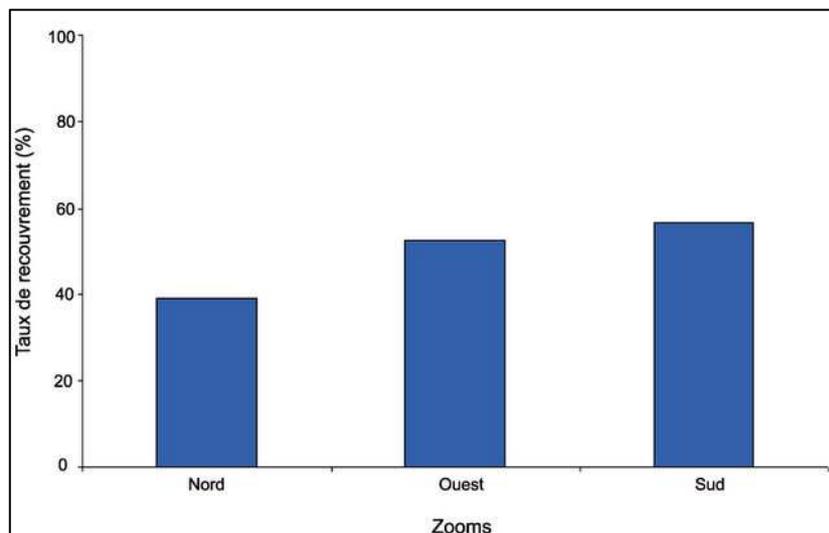
Nous avons effectué les mesures du taux de recouvrement sur les trois stations le long du balisage de la limite inférieure de l'herbier de posidonie (fig. 59).

A la station "nord", le taux de recouvrement est de 39,1%, ce qui est un recouvrement moyen pour cette profondeur.

A la station "ouest", le recouvrement est fort puisqu'on a 52,6% de taux de recouvrement de posidonie le long du balisage.

Enfin, tout comme à la station "ouest", la station "sud" a un recouvrement fort de posidonie sur la limite inférieure de l'herbier avec une valeur de 56,7%.

Les tests statistiques nous permettent de confirmer cette différence dans le taux de recouvrement entre la station "nord" d'une part et les stations "ouest" et "sud" d'autre part (Tukey,  $p < 0,001$ ).

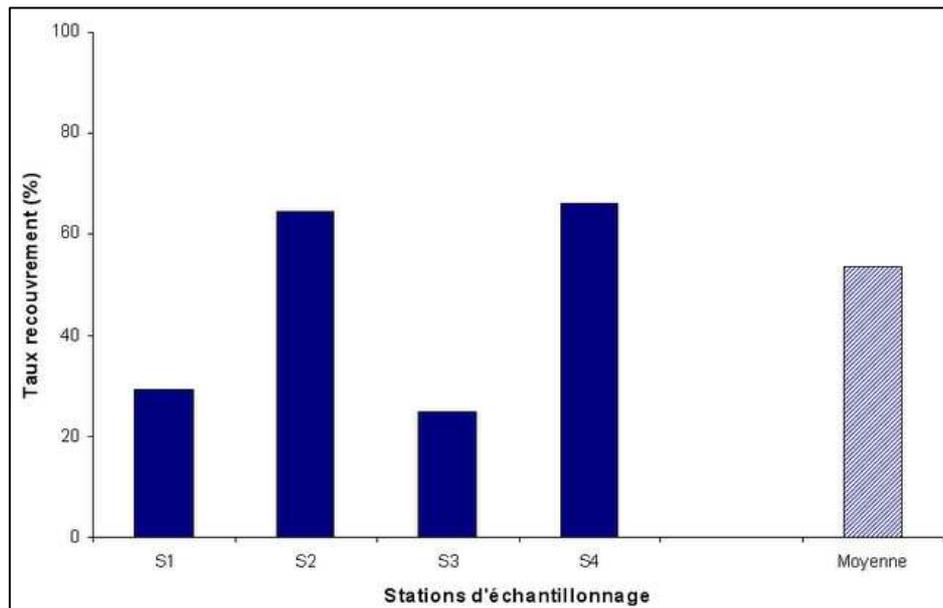


**Figure 59** – Mesure du taux de recouvrement (%) de *Posidonia oceanica* le long des balisages des trois zooms de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.

Les mesures du taux de recouvrement ont également été effectuées sur les quatre stations au niveau du récif barrière nord (S1, S2, S3) et du récif barrière sud (S4).

On observe une disparité dans le taux de recouvrement entre le récif barrière nord et sud et même au sein du récif barrière nord (K.W.,  $p < 0,05$  ; fig. 60). L'herbier de posidonie du récif barrière sud est plus abondant comparé au récif barrière nord.

Sur le récif barrière nord, à la station S2, correspondant au carré permanent, le taux de recouvrement est nettement plus élevé qu'aux stations S1 et S3 (W.M.W.,  $p < 0,05$  ; fig. 60). A S2 et S4, les taux de recouvrement sont respectivement de 64,4% et 66%. Le recouvrement est qualifié de moyen si on se base sur l'échelle établie par Charbonnel *et al.* (2000b). A S1 et S3, les taux de recouvrement sont de 29,4% et de 24,9% respectivement. Sur ces deux stations le recouvrement est qualifié de faible.



**Figure 60** – Mesure du taux de recouvrement (%) de *Posidonia oceanica* aux quatre stations d'échantillonnage des deux récifs barrière.

#### E.2.2.7. Mesure de la densité

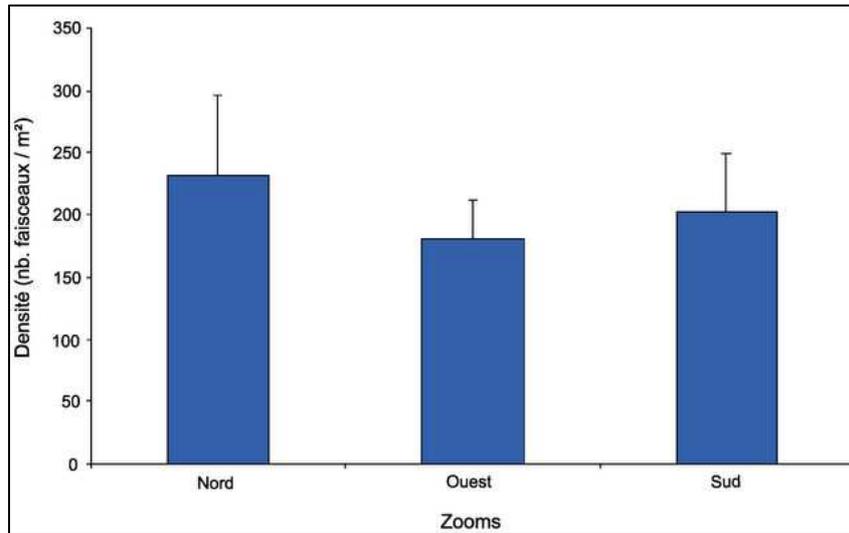
Comme pour le taux de recouvrement, nous avons mesuré les densités le long des balisages de la limite inférieure de l'herbier de posidonie mis en place sur les trois stations (fig. 61).

La densité à la station "nord" est de  $232 \pm 64$  faisceaux/m<sup>2</sup>. Il s'agit d'un herbier très clairsemé de type IV selon l'échelle établit par Giraud (1977), et d'un herbier à densité normale pour cette profondeur si l'on se base sur l'échelle de Pergent *et al.* (1995).

A la station "ouest", elle est de  $180 \pm 32$  faisceaux/m<sup>2</sup>, l'herbier est également très clairsemé de type IV d'après l'échelle de Giraud. Si l'on intègre le paramètre profondeur, la densité est qualifiée de normale (Pergent *et al.*, 1995).

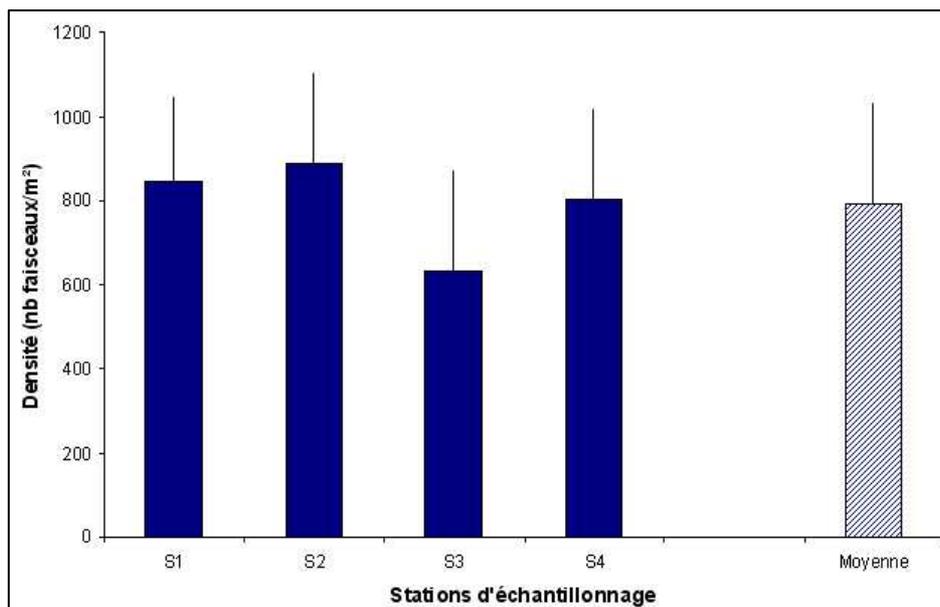
A la station "sud", la densité est de  $202 \pm 47$  faisceaux/m<sup>2</sup>, ce qui correspond à un herbier très clairsemé de type IV d'après Giraud (1977) et d'un herbier à densité normale d'après Pergent *et al.* (1995).

Les tests statistiques indiquent une différence entre les densités mesurées aux stations "nord" et "ouest" (W.M.W.,  $p < 0,01$ ). Par contre, ils indiquent une homogénéité entre les mesures effectuées aux stations "nord" et "sud" d'une part et entre les zooms "sud" et "ouest" d'autre part (W.M.W.,  $p > 0,05$ ).



**Figure 61** – Mesure de la densité (nombre de faisceaux de posidonie par m<sup>2</sup>) de *Posidonia oceanica* le long des balisages des trois zooms de la limite inférieure de l'herbier de posidonie. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

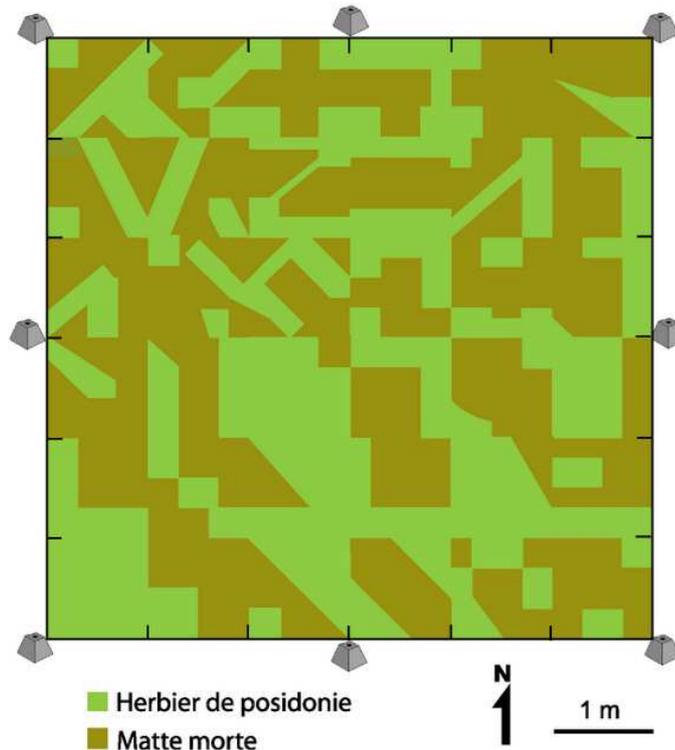
De même la densité a été mesurée sur les quatre stations des récifs barrière de posidonie. Il apparaît des différences de densité entre les sites (One-Way ANOVA,  $p < 0,001$  ; fig. 62). À la station S3, la densité est plus faible que celles des autres stations (Tukey,  $p < 0,05$  ; fig. 62). Elle est de  $631 \pm 243$  faisceaux/m<sup>2</sup>, l'herbier est dense de type I si l'on se réfère à l'échelle établie par Giraud (1977) et l'herbier a une densité qualifiée d'anormale si on tient compte de la profondeur en se référant à l'échelle établie par Pergent *et al.* (1995). Les densités à S1 et S2 sont de  $845 \pm 202$  faisceaux/m<sup>2</sup> et de  $889 \pm 219$  faisceaux/m<sup>2</sup> respectivement ; il s'agit d'herbier très dense de type I d'après l'échelle de Giraud (1977) et d'herbier à densité presque normale d'après l'échelle de Pergent *et al.* (1995) (fig. 62). Par contre, à S4 la densité est du même ordre qu'à S1 et S2 (Tukey,  $p > 0,05$  ; fig. 62). Avec une densité de  $804 \pm 218$  faisceaux/m<sup>2</sup>, l'herbier très dense de type I d'après l'échelle de Giraud (1977) mais si l'on se réfère à celle de Pergent *et al.* (1995), la densité est qualifiée d'anormale avec  $804 \pm 218$  faisceaux/m<sup>2</sup>. Cette valeur est en limite d'intervalle et statistiquement on peut l'assimiler aux valeurs obtenues pour S1 et S2.



**Figure 62** – Mesure de la densité (nombre de faisceaux/m<sup>2</sup>) de *Posidonia oceanica* aux quatre stations d'échantillonnage des deux récifs barrière. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

### E.2.2.8. Carré permanent

Le carré permanent, située au centre du récif barrière nord, occupe une superficie de 36 m<sup>2</sup>. Il correspond à la station S2. Un schéma très précis de la localisation de l'herbier de posidonie et de la matre morte a été réalisé (fig. 63).



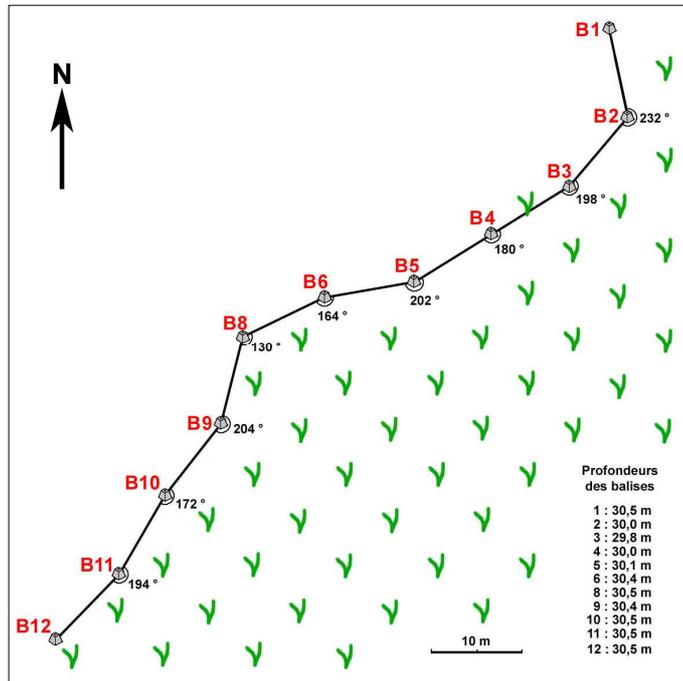
**Figure 63** – Schéma du carré permanent localisé au centre du récif barrière nord de posidonie de la lagune du Brusç (station S2).

### E.2.2.9. Espèces associées

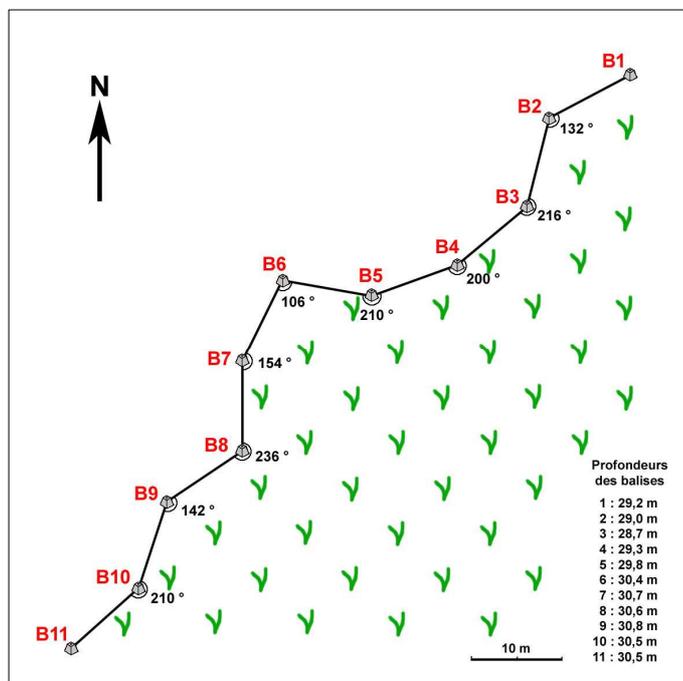
Globalement, sur l'ensemble des stations étudiées en limite inférieure de l'herbier de posidonie, le peuplement de l'ichtyofaune est relativement pauvre. Nous avons essentiellement pu observer des castagnoles (*Chromis chromis*) et des girelles (*Coris julis*). La station sud était un peu plus riche, probablement à cause de la proximité des éperons de coralligène. Nous y avons vu des castagnoles et girelles en plus grand nombre, des grondins (*Trigloporus lastoviza*), des rascasses (*Scorpaena porcus* et *S. notata*). Par contre, sur les éperons de coralligène, nous avons observé des moustelles (*Phycis phycis*), congres (*Conger conger*), un mérour (*Epinephelus marginatus*), des barbiers (*Anthias anthias*) et apogons (*Apogon imberbis*) mais en petit nombre, probablement en rapport avec la petite taille de ces éperons. Sur les trois stations, nous avons rencontré des holothuries (*Holothuria forskali*, *H. stellati*), des oursins (*Arbacia lixula*, *Spaerechinus granularis*, *Spatangus purpureus*), des étoiles de mer (*Echinaster sepositus*, *Astropecten spinulosus*) et un poulpe (*Octopus vulgaris*). Nous avons surtout été frappés par l'importante présence de l'algue invasive *Caulerpa racemosa*.

E.2.2.10. Schémas et photographies des balisages de la limite inférieure de l'herbier

Les schémas sont présentés sur les figures 64, 65 et 66. Les photographies des différentes balises posées aux trois stations sont présentées en annexes 1, 2 et 3.



**Figure 64** – Schéma du balisage mis en place à la station "nord" de la limite inférieure de l'herbier de posidonie. Sur le site, il n'y a pas la balise numérotée B7 ; à la place, afin de couvrir les 100 m de linéaire, nous avons posé une balise numérotée B12.



**Figure 65** – Schéma du balisage mis en place à la station "ouest" de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.

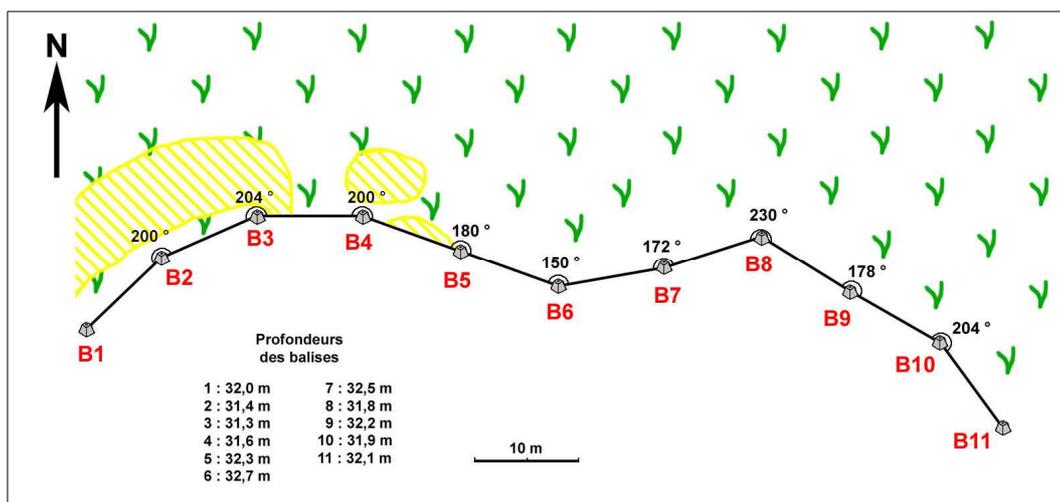


Figure 66 – Schéma du balisage mis en place à la station "sud" de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.

### E.3. LAGUNES MEDITERRANEENNES (1150-2\*)

#### E.3.1. Analyse cartographique de la lagune

La lagune du Brusç est un milieu semi-fermé caractérisé par une hyper sédimentation. Les courants entrant par la passe sud apportent des éléments sédimentaires qui se déposent progressivement au fur et à mesure de la diminution des courants. Les sédiments les plus fins parviennent jusqu'au centre de la lagune et participent ainsi à son envasement. Au nord, le récif barrière de posidonie filtre les particules sédimentaires. L'envasement est immédiat et adjacent au récif barrière du fait de l'arrêt des courants par celui-ci.

Jadis des eaux de ruissellement alimentaient la lagune. De plus une résurgence d'eau douce est située au sud est de la lagune. Ces deux facteurs combinés concourent à l'installation d'une prairie de *Zostera noltii*. Actuellement cette prairie a fortement régressé puisqu'il ne reste plus que deux patches, un de 7 m<sup>2</sup> et un de 3 m<sup>2</sup>. Par contre, les caractéristiques de la lagune sont propices à l'installation d'une prairie de *Cymodocea nodosa* puisqu'elle occupe 25 ha soit 4,9% de la superficie totale du site Natura 2000 de la lagune du Brusç. Des terriers à upogebia ont été observés à la fois sur du sable vaseux et dans la prairie clairsemée de cymodocée. Ces substrats sont propices à l'installation d'upogebias car ces derniers peuvent facilement édifier leurs galeries. Ces terriers ont été observés sur une superficie de 4,9 ha, soit sur 0,96% de la superficie totale du site de la lagune du Brusç. Enfin le reste de l'habitat 1150-2\* est constitué de sable vaseux sur une superficie de 9,9 ha, soit 2% de la superficie totale du site de la lagune du Brusç.

#### E.3.2. Analyse écologique de la lagune

##### E.3.2.1. Prairie de cymodocée

Le taux de recouvrement, effectuées aléatoirement au sein de la prairie, est égal à 35,2%.

##### E.3.2.2. Terriers à upogebia

Le taux de recouvrement des terriers a été mesuré sur l'ensemble de l'aire de répartition de ce crustacé, il est de 26,6%.

### E.3.2.3. Extension des algues invasives *Caulerpa taxifolia* et *C. racemosa*

En octobre 1992, l'apparition de l'algue verte invasive *Caulerpa taxifolia* a été mentionnée dans la lagune du Brusc. La colonisation de cette algue semble être fluctuante avec des épisodes de "disparition" et de brusque "réapparition" (Vicente *et al.*, 1993). En 2002, l'Observatoire sur l'Expansion de *C. taxifolia* a estimé son étendue maximale à 17,9 ha (Meinesz *et al.*, 2002). Lors de nos prospections, nous n'avons observé que de rares petites colonies de *C. taxifolia* composées de trois à quatre frondes (fig. 67). Par contre, la lagune est fortement colonisée par *C. racemosa* dans la partie nord est de la lagune. Elle est présente sur de la matte morte de posidonie et dans la cymodocée. Nous ne l'avons pas observé dans l'herbier de posidonie, ou tout du moins à sa limite. Son étendue est de 4,3 ha, ce qui correspond à 11% de la superficie totale de l'habitat 1150-2\*.



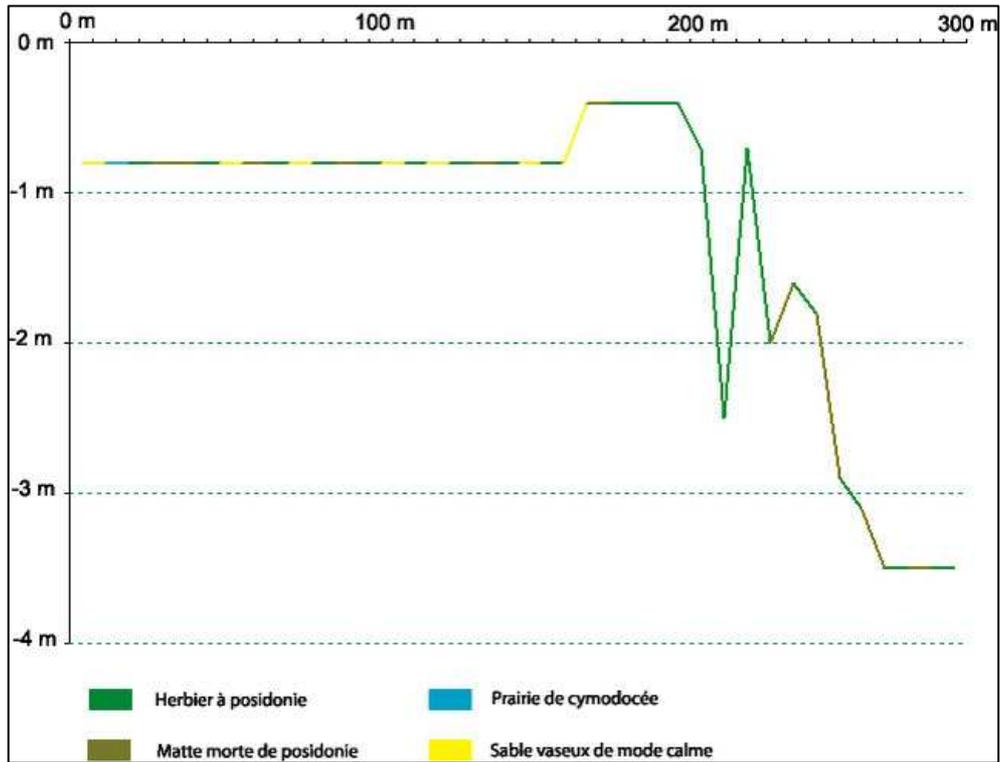
Figure 67 – Observations de *Caulerpa taxifolia* (à gauche) et *C. racemosa* (à droite) dans la lagune du Brusc.

### E.3.2.4. Espèces associées

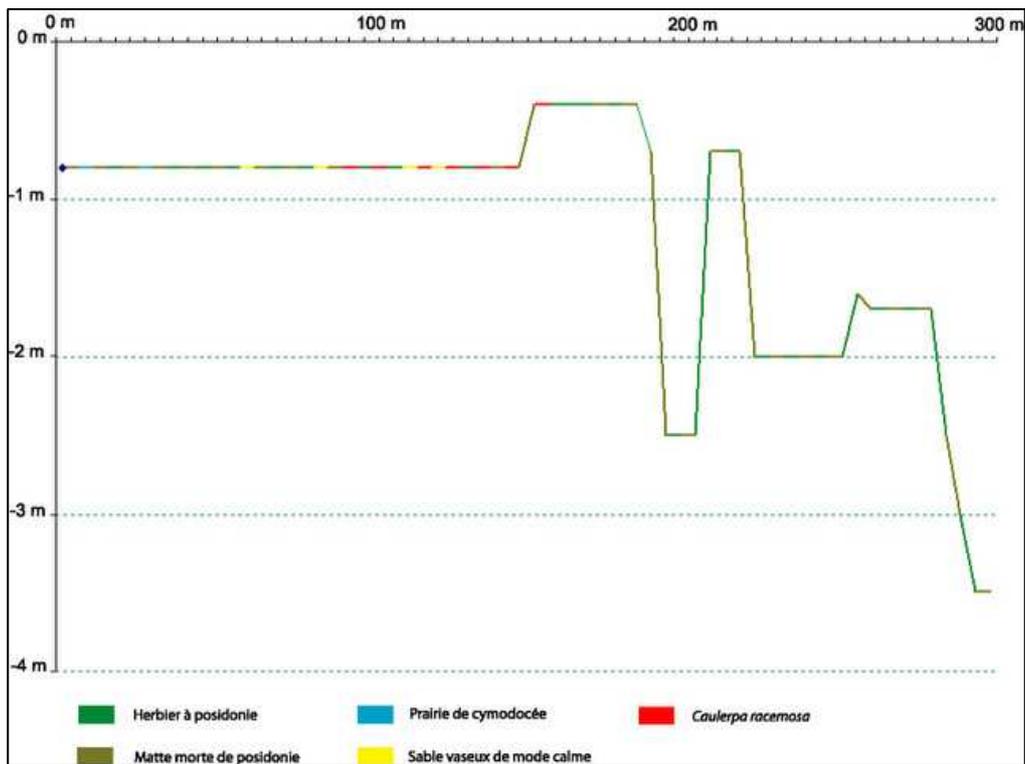
La lagune du Brusc, de part la présence d'herbiers de magnoliophytes, présente une diversité biologique importante. Les peuplements ichthyologiques sont diversifiés et abondants. Nous avons observé des sars à tête noire (*Diplodus vulgaris*), sars communs (*D. sargus*), sparillons (*D. annularis*), des serrans écriture (*Serranus scriba*), des labres ocellés (*Symphodus ocellatus*), crénilabres paon (*S. tinca*), des girelles communes (*Coris julis*), des bancs de saupes (*Sarpa salpa*) et quelques syngnathes (*Syngnatus acus*, *S. typhle rondeleti*, *Nerophis ophidion*). Proche du port du Brusc, nous avons pu voir quelques individus de daurade (*Sparus aurata*) et de loup (*Dicentrarchus labrax*). Nous avons observé beaucoup de juvéniles à partir du mois de mai. La faune d'invertébrés est également bien représentée. Nous avons croisé à plusieurs reprises des grandes nacres (*Pinna nobilis*), mais aussi des poulpes (*Octopus vulgaris*), des nudibranches, des oursins (*Paracentrotus lividus*, *Arbacia lixula*, *Spaerechinus granularis*).

### E.3.2.5. Transect permanent

Le suivi de l'évolution du transect numéro 19 de l'étude menée par Bernard *et al.* (2002) nous permet de mettre en évidence les changements survenus durant ces 6 années (fig. 68 et 69). Le changement majeur réside dans l'apparition et l'importante présence de l'algue invasive *Caulerpa racemosa*. Alors qu'elle n'avait pas été observée en 2002, elle occupe actuellement 9,8% de la longueur du transect. Elle est présente uniquement côté lagune entre les points 80 m et 143 m. La diminution de la présence de *Cymodocea nodosa* est également marquante puisque nous en avons observée 8,6 fois moins (15,7% en 2002 et 1,8% en 2008). Cette diminution peut être due au fait que les relevés aient été effectués alors que la cymodocée n'avait pas encore poussé suffisamment pour être observée correctement. Concernant la posidonie, nous avons enregistré une stabilité puisque l'herbier est présent sur 42,1% de la longueur totale du transect en 2002 et sur 39,1% en 2008. Par contre la matte morte de posidonie est plus importante en 2008 puisque nous en avons recensé 1,8 fois plus (25,9% en 2002 et 46,6% en 2008).



**Figure 68** - Coupe transversale du récif-barrière de posidonie le long du transect n°19 de l'étude menée par Bernard *et al.* (2002).



**Figure 69** – Réactualisation de 2008 de la coupe transversale du récif-barrière de posidonie le long du transect n°19 de l'étude menée par Bernard *et al.* (2002).

#### E.4. SEDIMENTS DETRITIQUES MEDIOLITTORAUX (1140-10)

La zone d'étude compte un total de quarante quatre plages. On note la présence de banquettes de posidonie sur onze d'entre elles, soit sur 25% des plages. Ces banquettes sont toutes localisées sur l'île des Embiez principalement sur les faces nord et ouest de l'île, faces adjacentes à un important herbier de posidonie. En majorité, elles couvrent les plages en totalité sauf pour deux d'entre elles.

En moyenne, les banquettes de posidonie mesurent 37,7 m de long et ont une hauteur de 0,6 m (tab. XXII).

La banquette de posidonie la plus développée est située sur la plage des salins ; elle mesure 154,2 m de long et a une hauteur maximale de 1,2 m. Cette banquette, et c'est la seule sur le site d'étude, est systématiquement otée durant la période estivale.

La banquette la moins développée ne mesure que 4,5 m et a une hauteur de 0,4 m. Pourtant elle est localisée sur une plage mesurant 48,9 m de long. Une deuxième banquette est également peu développée car même si elle couvre en totalité la plage, qui mesure 11,1 m, elle ne fait que 0,2 m de hauteur.

**Tableau XXII** – Localisation et mesures des plages et des banquettes de *Posidonia oceanica* associées sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusc". Les plages sont numérotées dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, depuis la plage des salins, à l'ouest du port, aux plages du Canoubié, à l'est du port des Embiez.

N°plage	Longueur plage (m)	Longueur banquette (m)	Hauteur banquette (m)
1	154,2	154,2	1,2
4	48,9	4,5	0,4
10	32,3	32,3	1,4
11	14,3	14,3	0,3
15	77,3	77,3	0,7
19	31,6	20,6	0,6
25	11,1	11,1	0,2
26	8,3	8,3	0,8
27	14,6	14,6	0,5
28	62,3	62,3	0,6
36	15,3	15,3	0,35

#### E.5. ROCHE MEDIOLITTORALE INFÉRIEURE (1170-12) ET ROCHE INFRALITTORALE A ALGUES PHOTOPHILES (1170-13)

L'abondance des peuplements du médiolittoral et de la frange supérieure de l'infralittoral a été estimée le long du linéaire côtier. Contrairement à d'autres études, nous avons travaillé sur le linéaire côtier dans son ensemble et non à partir de tronçons de 50 m comme souvent utilisés dans d'autres études (Bianconi *et al.*, 1987 ; Blacher *et al.*, 1998 ; Mari *et al.*, 1998 ; Bernard *et al.*, 2001 ; Bonhomme *et al.*, 2001). La topologie de notre site d'étude et les nombreux îlots de petite taille, ne nous permettent pas de découper le linéaire côtier tous les 50 m de façon régulière. De nombreux tronçons présentent une longueur standard inférieure, ce qui empêche une comparaison correcte et cohérente avec les données issues de la littérature.

Le regroupement de certaines classes d'abondance permet de déterminer quatre grandes catégories de densité linéaire : absence (classe 0), peuplements clairsemés (classes 1 et 2), denses (classe 3) et à forte densité (classes 4 et 5).

**E.5.1. *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoïdes*)**

Le peuplement à *L. lichenoides* (= *L. byssoïdes*) est relativement bien présent sur l'ensemble de la zone d'étude. Il est observé sur 31,91% du linéaire côtier total et 49,95% si l'on tient compte uniquement du substrat rocheux (tab. XXIII).

**Tableau XXIII** – Densité linéaire totale (haut) et sur substrat rocheux (bas) en pourcentage de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoïdes*) de type I, II et III et de *Cystoseira amantacea* var. *stricta* selon quatre classes d'abondance sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusc".

Densité linéaire côtier total (%)	Lithophyllum type I	Lithophyllum type II	Lithophyllum type III	Cystoseire
0	92,8	75,46	99,82	61,14
1-2	3,57	0,93	0	1,68
3	1,9	8,53	0,05	0,59
4-5	1,73	15,08	0,13	36,59

Densité linéaire substrat rocheux (%)	Lithophyllum type I	Lithophyllum type II	Lithophyllum type III	Cystoseire
0	88,73	61,6	99,72	39,19
1-2	5,59	1,45	0	2,63
3	2,98	13,35	0,08	0,93
4-5	2,7	23,6	0,2	57,26

Le peuplement de type I est présent sur 7,20% du linéaire côtier total, soit 11,27% du linéaire côtier de substrat rocheux ; les densités sont majoritairement faibles (tab. XXIII). Le développement à *L. lichenoides* (= *L. byssoïdes*) de type I se rencontre dans les zones relativement abritées, c'est-à-dire au niveau de la face est des Magnons, du sud du Petit Rouveau, du nord-ouest des Embiez et des faces ouest du Gaou. Les îlots de la Cauvelle abritent également du *L. lichenoides* (= *L. byssoïdes*) de type I. Sur la zone d'étude, on observe très peu de *L. lichenoides* (= *L. byssoïdes*) de type I à l'instar du *L. lichenoides* (= *L. byssoïdes*) de type II (tab. XXIII). Comparativement aux données enregistrées à La Ciotat, sur l'île Verte ou au niveau de la rade de Toulon (secteurs de la Mitre au cap Brun, de la baie de la Garonne au cap de Carqueiranne et du cap Sicié à la pointe de l'Eperon), on note une plus faible présence et une plus faible densité de *L. lichenoides* (= *L. byssoïdes*) de type I (Bernard *et al.*, 2001 ; Bonhomme *et al.*, 2001). Le peuplement à *L. lichenoides* (= *L. byssoïdes*) de type II s'installe dans les zones soumises à un très fort hydrodynamisme. Le développement en thalles coalescents nécessite des conditions environnementales adéquates en terme d'exposition ou de morphologie de la paroi. Ces zones correspondent aux côtes exposées aux vents et houles du large, majoritairement orientées ouest-nord-ouest : faces ouest des Magnons et du Grand Rouveau, partie sud des Embiez et au niveau des caps de l'île du Gaou. On remarque que le développement de *L. lichenoides* (= *L. byssoïdes*) est très majoritairement de type II sur notre zone d'étude. Le peuplement de *L. lichenoides* (= *L. byssoïdes*) de type II est présent sur 24,54% du linéaire côtier total et sur 38,40% du linéaire côtier de substrat rocheux. De plus les densités linéaires observées sont élevées (tab. XXIII). Toutefois ces données sont nettement plus faibles que celles observées à La Ciotat ou à l'île Verte par Bonhomme *et al.* (2001), mais elles sont beaucoup plus élevées que celles enregistrées par Bernard *et al.* (2001) sur les différents secteurs de la rade de Toulon. Le développement de *L. lichenoides* (= *L. byssoïdes*) sous forme d'encorbellements, développement de type III, a été observé essentiellement sur les rochers des Magnons et à un degré moindre dans la partie sud-ouest des Embiez. Ces encorbellements ont été observés au niveau de fissures ou de failles dans la roche. Ils sont tous situés sur les faces nord-ouest, c'est-à-dire sur les faces exposées aux vents et houle dominants. Nous avons recensé quatre encorbellements dont le plus important est localisé au nord des Magnons (tab. XXIV). Ils sont nettement moins développés que ceux de Scandola ou de l'archipel de Riou (Bianconi *et al.*, 1987 ; Harmelin *et al.*, 1996 ; Blacher *et al.*, 1998).

**Tableau XXIV** – Description des quatre encorbellements de *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoides*) présents sur le site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusc".

Localisation	Forme	Longueur (m)	Largeur (m)	Orientation
Nord des Magnons	encorbellement coalescent entre deux rochers	17	1	ouest
Centre des Magnons	encorbellement linéaire	4,5	0,5	ouest
Sud des Magnons	encorbellement linéaire	5,2	0,8	ouest
Sud-Ouest Embiez	encorbellement en fond de faille	7,9	0,9	ouest

### E.5.2. *Cystoseira amantacea* var. *stricta*

Le peuplement de *Cystoseira amantacea* var. *stricta* est globalement bien représenté sur le secteur d'étude. Il est présent sur 38,87% du linéaire côtier total et sur 60,81% si l'on ne considère que le linéaire côtier occupé par le substrat rocheux (tab. XXIII). On l'observe dans les zones en mode battu, c'est-à-dire sur l'ensemble des rochers des Magnons et des îlots de la Cauvelle, sur les faces ouest du Petit et du Grand Rouveau, sur les caps de la face sud du Gaou et dans la partie sud de l'île des Embiez. Ce peuplement devient clairsemé ou disparaît dans les zones abritées qui correspondent aux faces peu exposées aux forts hydrodynamismes et dans les fonds de criques. De façon générale, ce peuplement est relativement bien abondant sur l'ensemble de la zone d'étude puisqu'on note une forte abondance (classes 4-5) sur 36,59% du linéaire côtier total, soit 57,26% du linéaire côtier rocheux. Les classes d'abondance inférieure (classes 1-2 : clairsemée) sont nettement moins bien représentées sur la zone d'étude, puisqu'on note une présence sur 1,7% du linéaire côtier total et sur 2,6% du linéaire rocheux. Toutefois les densités de cystoseire observées autour des Embiez sont plus faibles que celles notées à La Ciotat et autour de l'île Verte, notamment pour les faibles densités (classes 1-2 : clairsemée ; Bonhomme *et al.*, 2001). Par contre, ces densités sont plus élevées que celles observées autour de la rade de Toulon, principalement pour les fortes densités (classes 4-5 : forte ; Bernard *et al.*, 2001).

## E.6. CORALLIGENE (1170-14)

### E.6.1. Description des sites et localisation des transects d'étude

#### • Pierre du Jas

Dorsale rocheuse orientée nord-ouest – sud-est culminant à -28 m sur fond de sable à -34 m - 36 m (fig. 70).

Topographie du site :

- est : tombant rocheux le plus abrupt du site donnant sur étroit banc de sable à -34 m faisant la liaison avec un autre amas rocheux plus à l'est ;
- nord et ouest : petits tombants et éboulis jusqu'au sable (-36 m) ;
- sud : pente douce de roches et éboulis jusqu'à un autre pic rocheux situé au sud-est ou jusqu'au sable dans le quart sud-ouest (-34 m).

Peuplements :

- le massif rocheux et les éboulis sont couverts d'algues diverses ; laissant place au nord et à l'ouest à des concrétions de coralligène à *Halimeda tuna* ; les gorgones (*Paramuricea clavata*, *Eunicella cavolinii* et, à un degré moindre, *E. singularis*) sont bien présentes ainsi que les éponges *Axinella polypoides* et *Spongia agaricina* ;
- les deux espèces principales de gorgone, *P. clavata* et *E. cavolinii*, ainsi que le bryzoaire *Pentapora fascialis*, constituent l'essentiel des espèces dressées sur les

- tombants, et notamment ceux de l'est où sont situés les transects ;
- *Caulerpa racemosa* : uniquement sur les fonds sableux, très épars dans le quart nord-est et dense dans un petit secteur au sud-ouest ; absente sur les autres secteurs ;
- espèces remarquables : présence d'une colonie de *Paramuricea clavata* bicolore (jaune et rouge), forme très rare autour des Embiez, d'une colonie de *Leptogorgia sarmentosa*, quatre colonies de *Gerardia savaglia* et de quelques branches de *Corallium rubrum*. On peut également trouver sur ce site jusqu'à 5 mérous bruns *Epinephelus marginatus* ainsi que quelques sars tambours *Diplodus cervinus*.

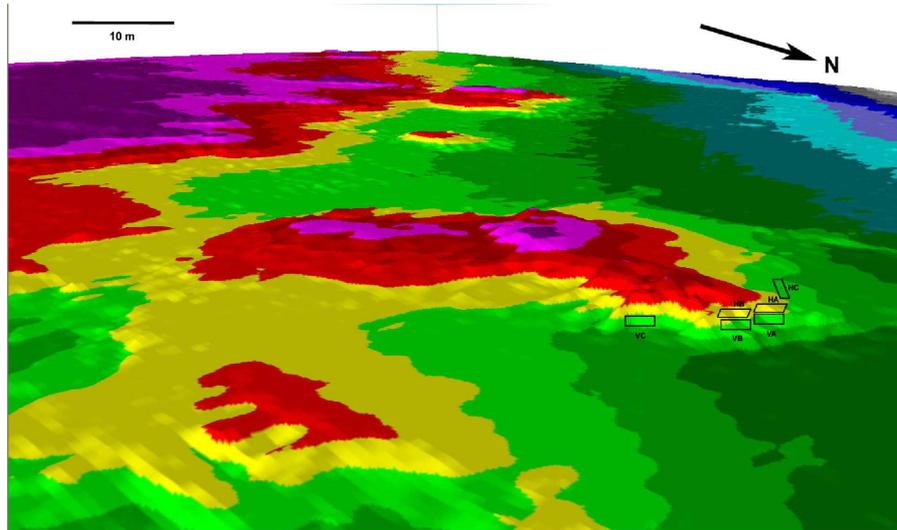


Figure 70 – Site de la Pierre du Jas

#### • Merveilleuse

Dorsale rocheuse orientée nord-sud culminant à -17,5 m sur un fond de sable et herbier de posidonie variant entre -27 m au nord et -30 m au sud (fig. 71).

Topographie du site :

- nord : tombant rocheux sur fond de sable et d'herbier ;
- est : tombant rocheux sur fond de sable et d'herbier devenant de plus en plus rocheux vers l'est pour rejoindre un autre pic ;
- sud : éboulis se mêlant progressivement au sable et à l'herbier ; présence d'un autre pic plus au sud ;
- ouest : éboulis dans la partie sud ; tombants et failles dans la partie nord jusqu'au sable et à l'herbier ;

Peuplements :

- les fonds rocheux et éboulis sont couverts d'algues diverses ; présence modérée de gorgones (*P. clavata*, *E. cavolinii* et *E. singularis*) et de quelques éponges (*A. polypoides* et *S. agaricina*) ;
- les tombants situés au nord et au nord-ouest sont pauvres en gorgones ; les deux espèces principales, *P. clavata* et *E. cavolinii*, ainsi que le bryzoaire *P. fascialis* sont très bien représentés sur le tombant est ;
- *C. racemosa* est présente uniquement sur le sable autour de la dorsale rocheuse en forte densité dans les quarts nord-est et sud-ouest, épars ou absente sur les autres secteurs ;
- espèces remarquables : présence régulière de quelques mérous *E. marginatus* (jusqu'à 6), oursin crayon *Stylocidaris affinis*, oursin diadème *Centrostephanus longispinus*.

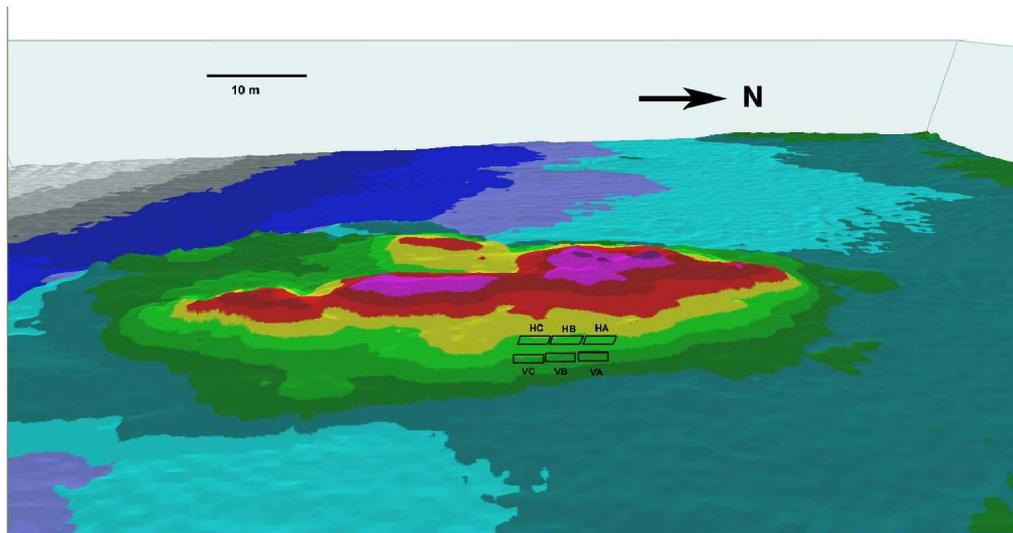


Figure 71 – Site de la Merveilleuse

• Plate aux Mérours

Ce site, très fréquenté par les plongeurs, est réputé pour son bas plateau rocheux entrecoupé de failles verticales peu profondes abritant une dizaine de mérours bruns dont quelques gros mâles. Ce plateau est bordé vers l'est de deux pics rocheux, -25,7 m au sud et -27,7 m au nord sur lesquels ont été positionnés les transects (fig. 72).

Topographie du site :

- les faces est présentent des tombants rocheux abrupts. Le pic situé le plus au nord est entouré de sable à l'ouest et au nord (-35 m), de sable et de roches vers l'est et le sud. L'autre pic descend en pente rocheuse douce vers l'ouest et vers le sud où on trouve également de l'herbier de posidonie sur roche.

Peuplements :

- les parties rocheuses en dehors des tombants sont recouvertes d'algues diverses avec quelques gorgones (*P. clavata*, *E. cavolinii* et *E. singularis*) et les éponges *A. polypoides* et *S. agaricina* en grande quantité ; vers le sud-est se développent quelques taches de posidonies ;
- sur les tombants *P. clavata* est plus dense qu'*E. cavolinii*. *P. fascialis* complète l'inventaire des principales espèces dressées ;
- *C. racemosa* : uniquement sur les fonds de sable situés à l'est des deux pics, éparse au nord et plus dense au sud ;
- espèces remarquables : outre les mérours bruns *E. marginatus*, on y voit régulièrement des sars tambours *Diplodus cervinus*. A noter la présence de 4 colonies de *L. sarmentosa*.

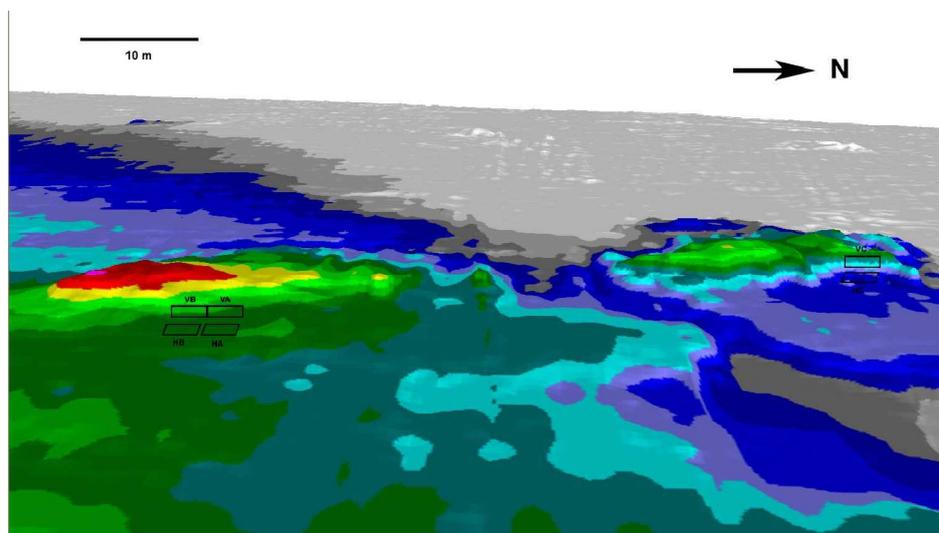


Figure 72 – Site de la Plate aux Mérours

#### • Pierre à Christian

Plateau rocheux orienté nord-sud. Le sommet est à -33 m de profondeur, les fonds de sable environnants se situent entre -40 m et -50 m (fig. 73).

Topographie du site :

- Le plateau est parcouru de plusieurs failles dont la plus profonde est orientée nord-sud ;
- Les faces est et sud présentent des tombants très marqués, les pentes des côtés nord et ouest sont moins accentuées et parcourues de fissures ;
- L'ensemble de la pierre est entouré de fonds sableux ; on trouve, à l'est, deux larges massifs horizontaux de coralligène.

Peuplements :

- la pierre et les pentes rocheuses sont couvertes d'algues et de concrétions de coralligène à *H. tuna*, *Udotea petiolata* et *Peyssonellia* ; forte présence des gorgones *P. clavata*, *E. cavolinii* et, à un degré moindre, d'*E. singularis* ; *A. polypoides* est l'espèce la plus représentée chez les éponges dressées ;
- le tombant situé à l'est est très fourni en gorgone rouge *P. clavata* ; celui du sud est composé de concrétions anfractueuses de coralligène ;
- *C. racemosa* : contrairement aux autres sites, nous ne l'avons pas trouvé sur les fonds de sable entourant la pierre. Elle n'est présente qu'en petite quantité sur les roches du secteur sud-ouest ;
- espèces remarquables : au pied du tombant est se trouvent 5 colonies de *Gerardia savaglia*, 3 entières et 2 n'ayant que partiellement colonisé des pieds de *Paramuricea clavata*. Présence d'une petite colonie de *L. sarmentosa* et, surtout sur les gorgones du tombant sud, des gorgonocéphales *Astropartus mediterraneus*. 5 à 6 mérours bruns *E. marginatus* fréquentent ce site ainsi que quelques sars tambours. Nous avons pu également observer 3 individus de *Lappanella fasciata* rarement rencontrés à ces profondeurs.

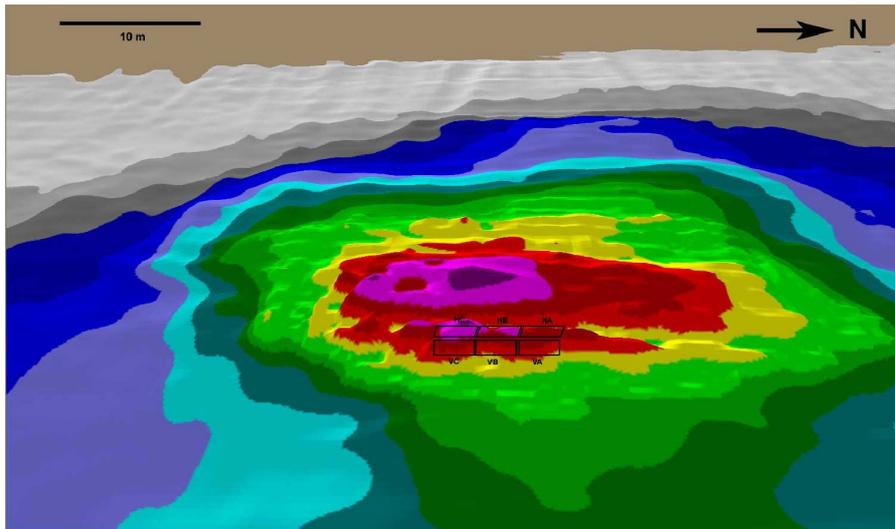


Figure 73 – Site de la Pierre à Christian

• Pierre à Charlie

Dorsale rocheuse orientée nord – sud culminant à -24,5 m sur fond de sable à -33 -34 m (fig. 74).

Topographie du site :

- les tombants rocheux sont localisés au nord et à l'est et donnent sur un fond de sable à -33 -34 m ;
- à l'ouest le fond rocheux, accidenté de quelques petites failles, descend en pente douce vers le sable (-33,5 m) ;
- au sud, pente douce de roches et d'éboulis.

Peuplements :

- on retrouve une couverture algale classique sur tous les fonds rocheux. Le dessus de la pierre, entrecoupé de failles, et les éboulis du sud présentent quelques taches d'herbier de posidonie sur roche. Sur le dessus de la pierre et sur la pente ouest on y trouve quelques gorgones (surtout *P. clavata* et *E. cavolinii*), de nombreuses et grandes éponges *A. polypoides* ainsi que *S. agaricina* et des concrétions de coralligène ;
- le peuplement du tombant est dominé par la gorgone rouge, *P. clavata* accompagnée d'*E. cavolinii* et de *Pentapora fascialis* ;
- *C. racemosa* : en faible densité sur les fonds de sable au nord et à l'ouest ;
- espèces remarquables : présence d'une petite colonie de *L. sarmentosa*, 4 à 5 mérous bruns *E. marginatus* fréquentent le site.

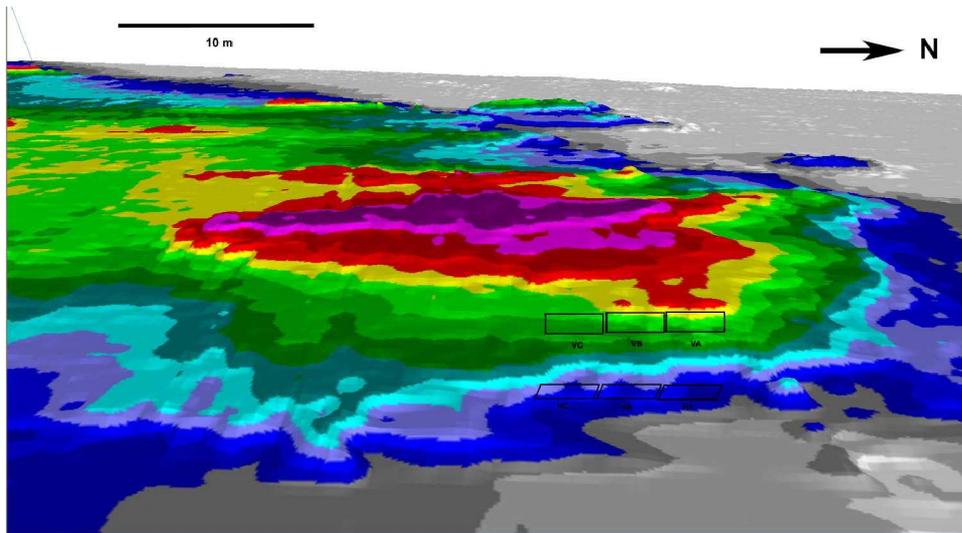


Figure 74 – Site de la Pierre à Charlie

• Cougousset

Eperon rocheux orienté nord-sud dont le petit plateau du sommet culmine à -33 m de profondeur (fig. 75).

Topographie du site :

- le site présente des tombants escarpés à l'est et au sud se finissant sur fond de sable à -33,5 m à l'est et -36,5 m au sud ;
- les faces nord et ouest présentent des pentes moins accentuées se prolongeant par du sable et un herbier de posidonie au nord à -30 m et sur fond sableux à partir de -38 m au sud-ouest.

Peuplements :

- l'ensemble du site est couvert d'algues et de concrétions de coralligène à *H. tuna* et *U. petiolata* accompagnées essentiellement de gorgones *Eunicella cavolinii* et de rares *P. clavata* et de l'éponge *A. polypoides* ;
- les tombants au sud et à l'est sont composés de concrétions anfractueuses de coralligène ; l'espèce de gorgone qui y domine est *E. cavolinii* ;
- *C. racemosa* : présente en petite quantité sur tous les fonds de sable entourant la pierre ;
- espèces remarquables : quelques pieds de corail rouge *C. rubrum* dans les anfractuosités du tombant sud et un oursin diadème *C. longispinus*. Un seul mэрou brun semble fréquenter le site.

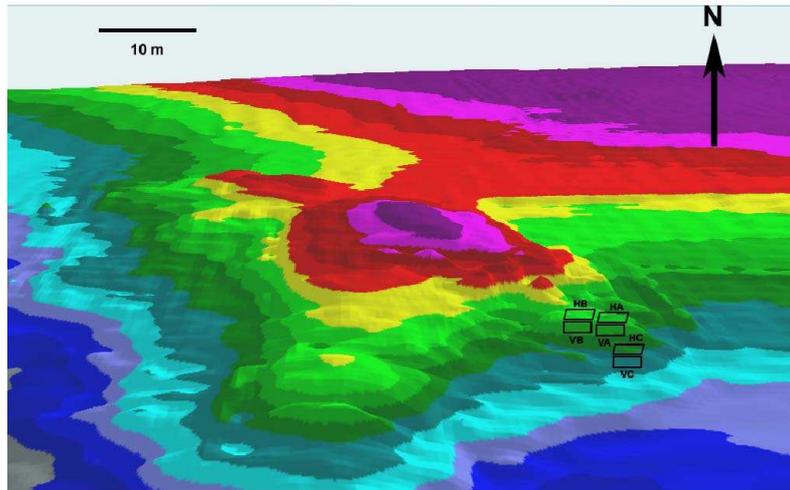


Figure 75 – Site du Cougousset

• Pierre Athéna

Dorsale rocheuse orientée nord-sud dont le dernier éperon, barré de deux larges entailles sur les flancs est et ouest, remonte à -35 m de profondeur (fig. 76).

Topographie du site :

- comme pour la plupart des autres sites des Embiez, nous retrouvons des tombants escarpés à l'est et au sud, pente plus douce à l'ouest, sur fond de sable entre -39 et -40 m ;
- la dorsale se poursuit coté nord par d'autres éperons rocheux et par deux petits pics au sud.

Peuplements :

- le peuplement est semblable à celui de la Pierre du Cougousset : belles concrétions de coralligène à *H. tuna* et *U. petiolata* avec quelques gorgones *P. clavata* et *E. cavolinii* et l'éponge *A. polypoides* ;
- les tombants, composés de concrétions anfractueuses de coralligène, sont assez pauvres en grandes espèces dressées, gorgones et bryozoaires ;
- *C. racemosa* : on la retrouve tout autour de la pierre, uniquement sur les fonds de sable, taches denses.
- espèces remarquables : deux pieds de *P. clavata* bicolore (jaune et rouge), forme très rare autour des Embiez, et une autre colonie dont une partie des polypes est albinos. On voit sur ce site quelques gorgonocéphales *A. mediterraneus*, un oursin diadème *C. longispinus* et un mérou brun *E. marginatus*.

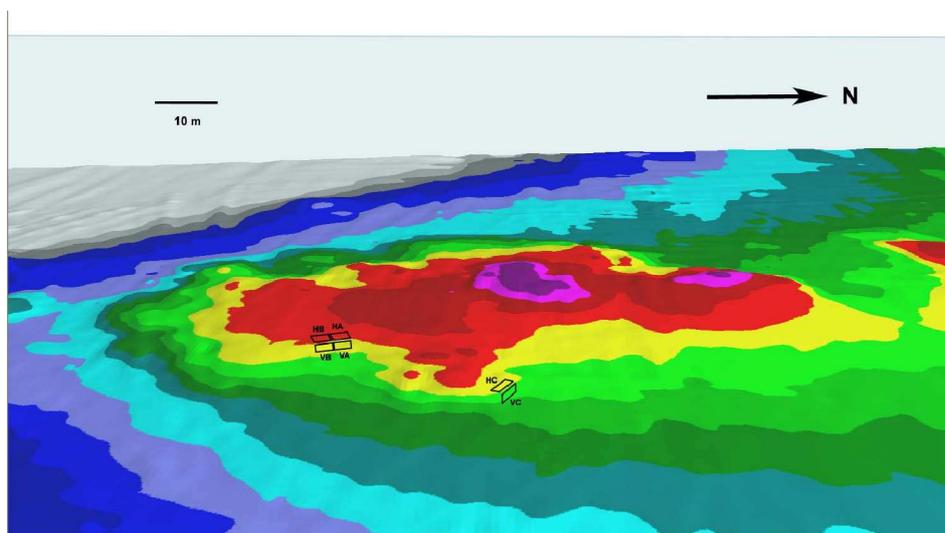


Figure 76 – Site de Pierre Athéna

## E.6.2. Description des espèces dressées

### E.6.2.1. *Paramuricea clavata*

Dans l'ensemble, à l'exception de Cougousset, les sites présentent d'importants faciès à gorgone pourpre *Paramuricea clavata*. Sur l'ensemble de nos sites d'étude, nous avons recensé 591 colonies de *P. clavata*. Ces colonies sont essentiellement localisées sur le coralligène de paroi (579 colonies) ; les quelques colonies recensées sur le coralligène de plateau (12 colonies) sont localisées au niveau des anfractuosités. La densité totale sur l'ensemble des sites est de 4,7 colonies/m<sup>2</sup>, et de 9,2 colonies/m<sup>2</sup> si l'on ne considère que le coralligène de paroi (fig. 77). Si l'on regarde les densités de *P. clavata* par sites, on observe quatre groupes (fig. 77). Le premier groupe composé de la Pierre du Jas, Merveilleuse et de la Plate aux Mérous a des densités similaires (W.M.W.,  $p > 0,5$ ). Les densités à la Pierre à Christian et à la Pierre à Charlie sont similaires (W.M.W.,  $p > 0,5$ ), mais différentes de celles du premier groupe (W.M.W.,  $p < 0,001$ ). A Cougousset, où l'on a recensé une seule colonie, la densité est différente de tous les autres sites (W.M.W.,  $p < 0,001$ ). Enfin, à Pierre Athéna, la densité observée est différente des autres sites (W.M.W.,  $p < 0,001$ ).

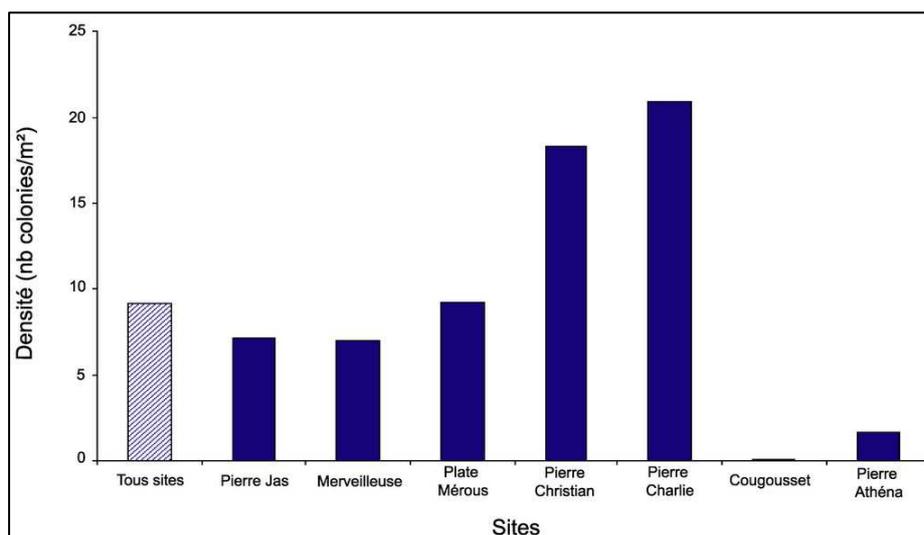


Figure 77 – Densité (nb colonies/m<sup>2</sup>) de colonies de *Paramuricea clavata* observées sur le coralligène de paroi de l'ensemble des sites étudiés.

Globalement, la structure de taille de *P. clavata* sur l'ensemble des sites est unimodale avec un mode correspondant aux petites tailles égal à  $10 \leq 20$  cm où l'on compte 26% des colonies ( $n = 154$  ; fig. 78). A la Pierre du Jas et à la Plate aux Mérous, les structures de taille sont bimodales. Pour la Pierre du Jas, on a un mode à  $20 \leq 30$  cm où l'on compte 23,4% des colonies ( $n = 15$ ) et un second à  $40 \leq 60$  cm où l'on en comptabilise 12,5% ( $n = 8$ ). Pour la Plate aux Mérous, on a un premier mode à  $0 \leq 10$  cm avec 24% des colonies ( $n = 21$ ) et un second à  $20 \leq 30$  cm où l'on compte 23% des colonies ( $n = 20$ ). Tous les autres sites ont leur structure de taille unimodale. Merveilleuse, Pierre à Christian et Pierre à Charlie ont un mode à  $10 \leq 20$  cm avec respectivement 33% des colonies ( $n = 21$ ), 23,6% ( $n = 39$ ) et 36% ( $n = 70$ ). A Cougousset, nous avons observé une seule colonie de cette espèce, ce qui explique le fort pourcentage de colonies réparties sur une seule classe de taille. La structure de taille de *P. clavata* à la Pierre Athéna présente un mode élevé de  $60 \leq 70$  cm avec 33% des colonies recensées ( $n = 5$ ). Très peu de colonies de très grandes tailles ( $\geq 80$  cm) ont été mesurées. Nous en avons observé uniquement sur trois sites, c'est-à-dire à la Pierre du Jas ( $n = 7$ ), Pierre à Christian ( $n = 2$ ) et Pierre Athéna ( $n = 2$ ).

De manière générale, les colonies sont relativement saines de toutes marques de nécroses, avec 79,3% des colonies saines ( $n = 453$  ; fig. 79). Ceci est vrai pour chaque site étudié. Il y a 10,5% des colonies qui sont nécrosées à 25%, 3,9% le sont à 50% et 3,2% le sont à 75% et 100%. Seul trois sites ont des colonies totalement nécrosées. Il s'agit de la Plate aux Mérous où 2,3% des colonies sont totalement nécrosées ( $n = 2$ ), de la Pierre à Christian avec 4,8% des colonies totalement nécrosées ( $n = 8$ ) et de la Pierre à Charlie où 4,5% des colonies sont totalement nécrosées ( $n = 8$ ). On remarque que ce sont les classes de taille comprises entre 5 et 45 cm qui sont affectées par de forts taux de nécrose ( $\geq 50\%$  ; fig. 80). Toutes les marques de nécrose observées étaient colonisées par divers organismes (algues, spongiaires...).

Il est important à noter, du fait de sa rareté, la présence d'une colonie de *P. clavata* bicolore pourpre/blanche à Pierre Athéna. Cette colonie mesure 69 cm de haut et a été précisément localisée pour permettre un suivi à long terme.

Aux pieds de nos transects, nous avons compté au total 18 colonies arrachées. La plus petite mesurait 2 cm et la plus grande 63 cm. La hauteur moyenne est de 26,5 cm. Ces colonies ont été observées sur l'ensemble des sites à l'exception de Cougousset, où les gorgones pourpres sont très peu présentes, et de Pierre Athéna.

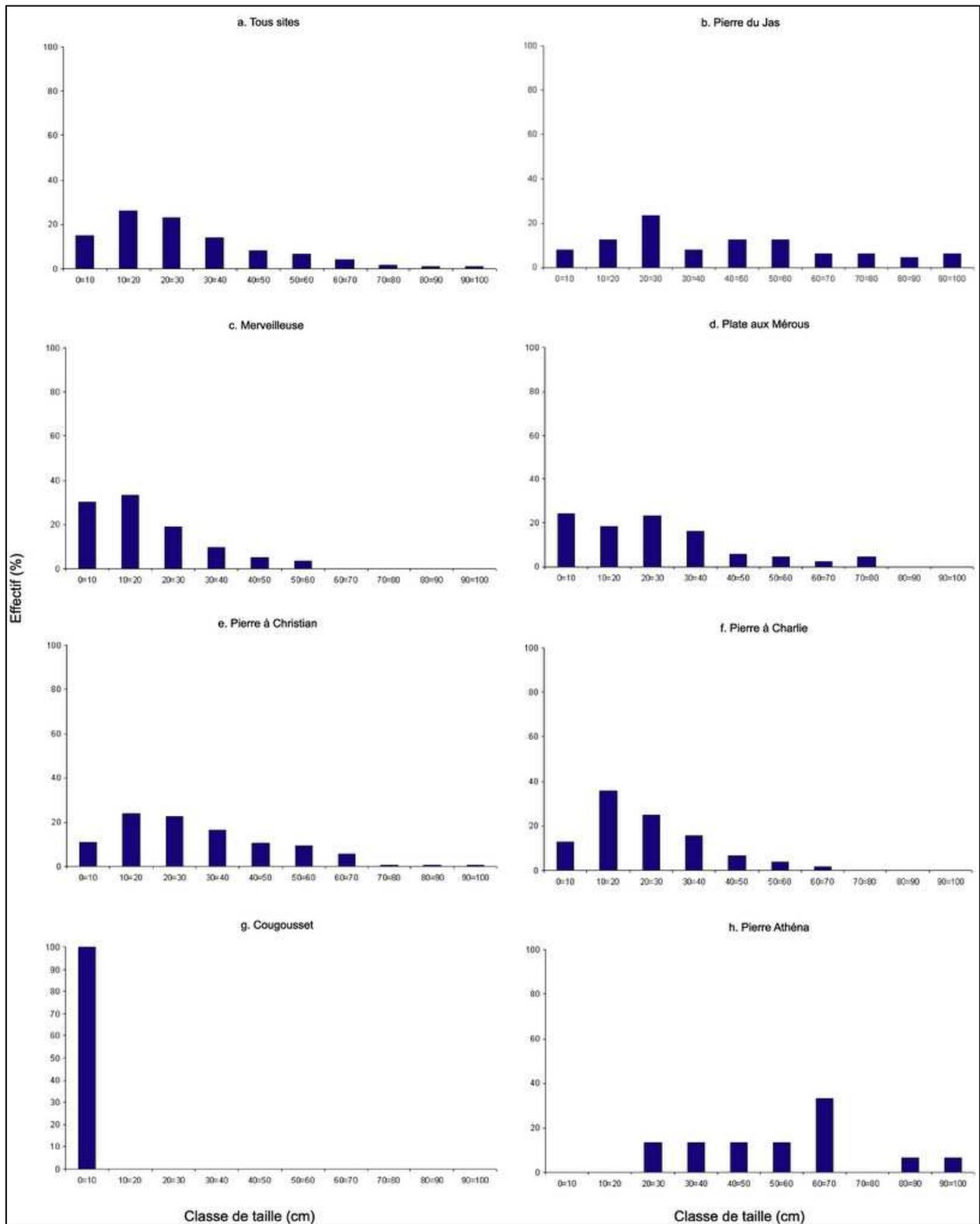
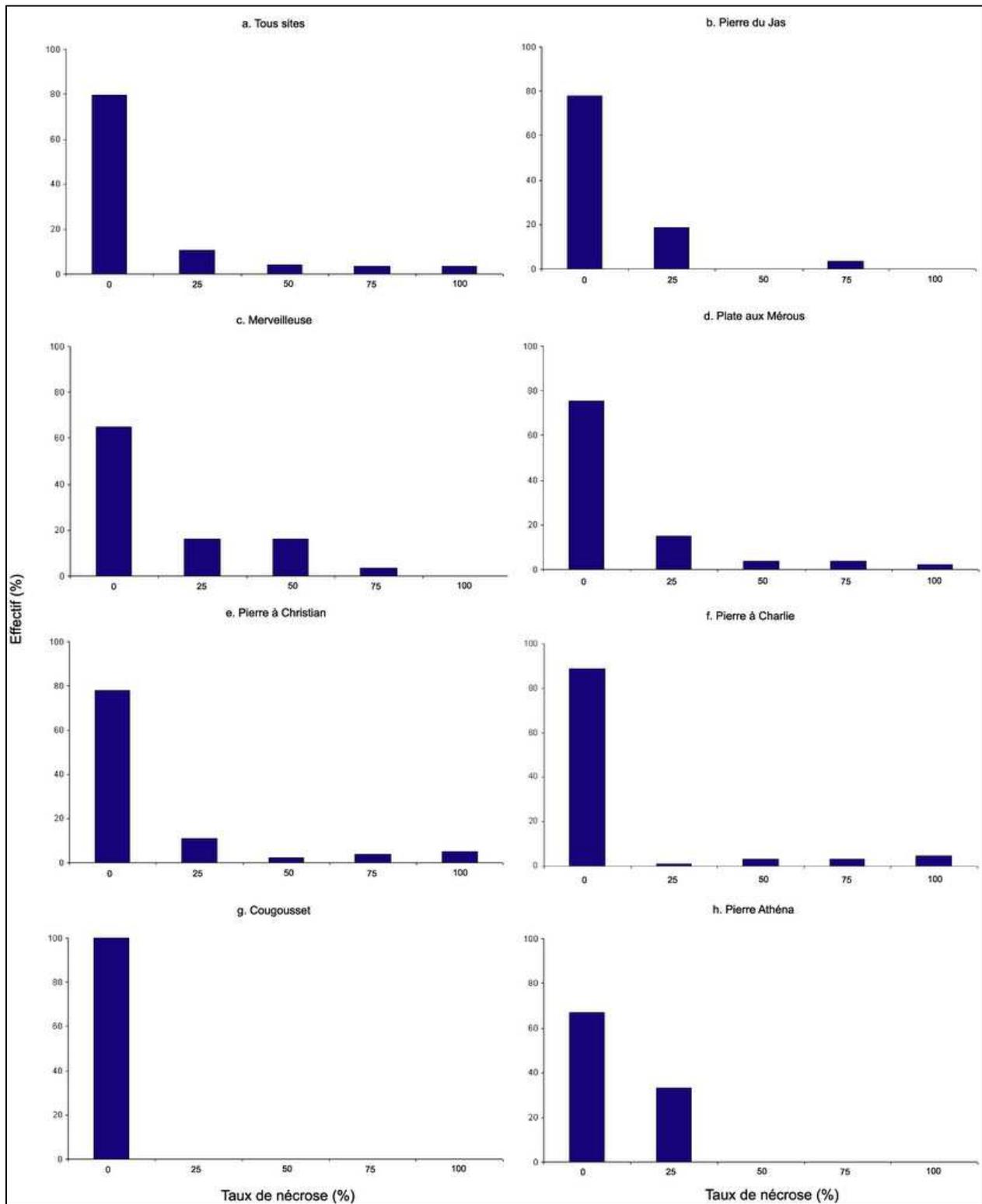


Figure 78 – Structure de taille des colonies de *Paramuricea clavata* sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.



**Figure 79** – Taux de nécroses observés sur les colonies de *Paramuricea clavata* recensées sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

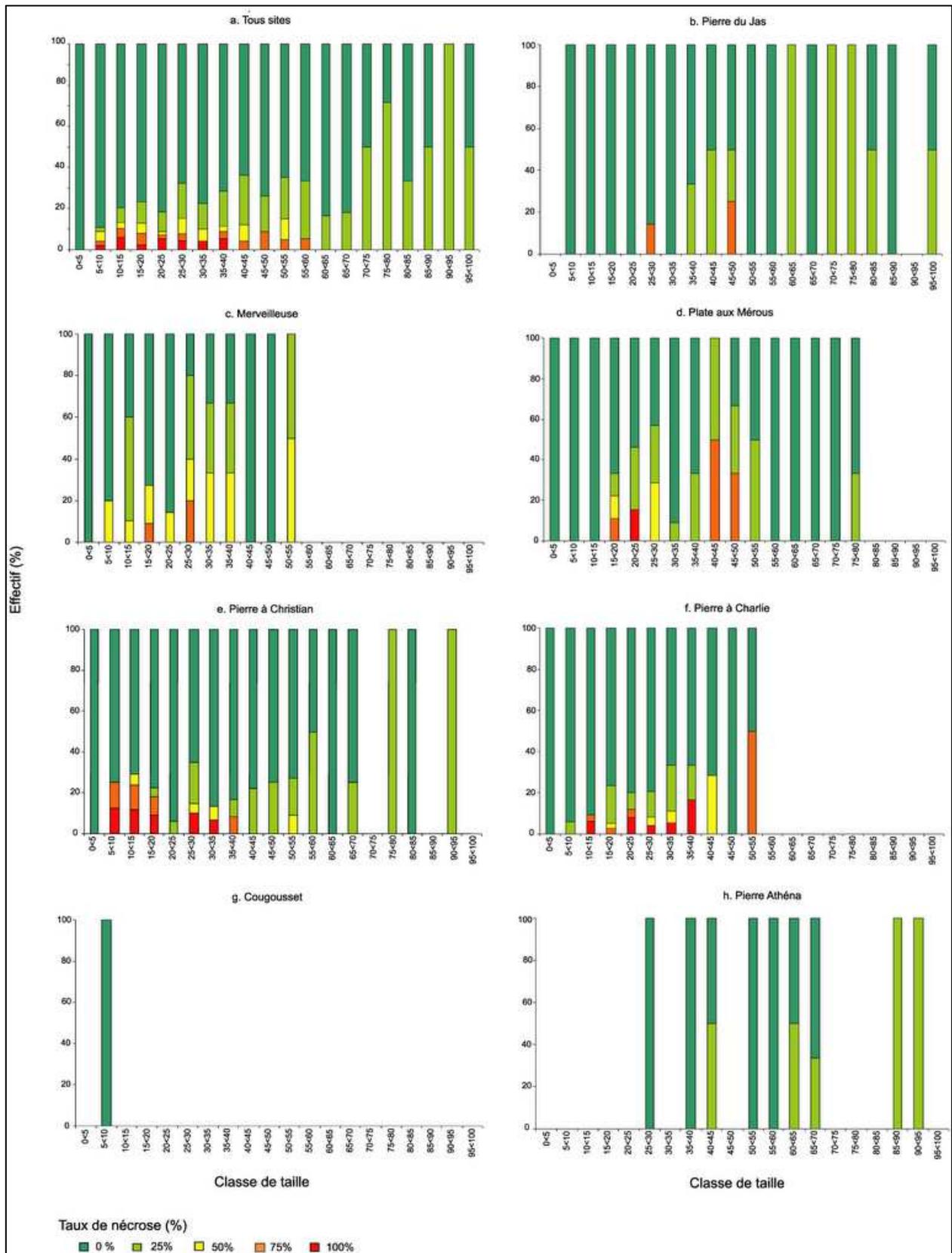


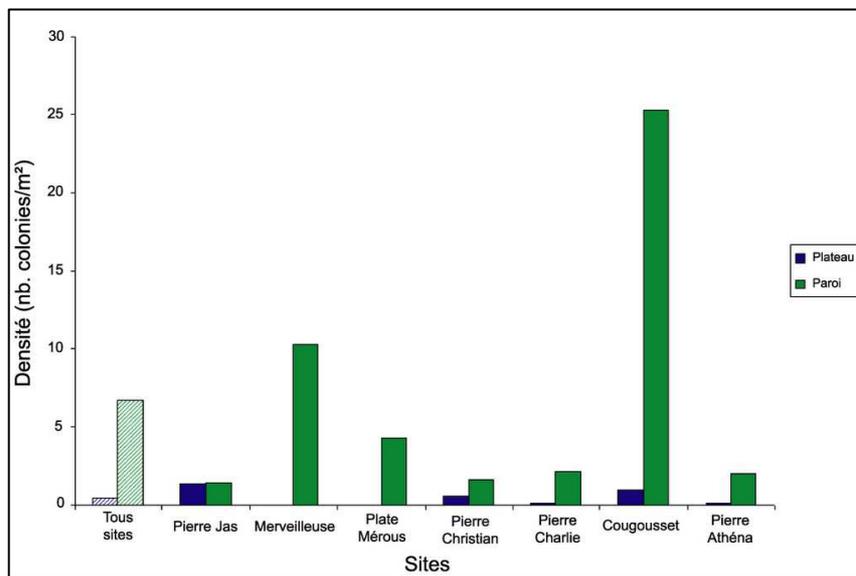
Figure 80 – Taux de nécroses observés par classe de taille des colonies de *Paramuricea clavata* recensées sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

### E.6.2.2. *Eunicella cavolinii*

Nous avons recensé au total 450 colonies d'*Eunicella cavolinii*. Les colonies ont été majoritairement observées sur le coralligène de paroi à 93,8% (422 colonies). Sur le coralligène de plateau, nous avons recensé 28 colonies, qui comme *P. clavata* ont été localisées au niveau des anfractuosités.

La densité totale sur l'ensemble des sites est de 3,57 colonies/m<sup>2</sup>. Trois groupes de sites se distinguent par leur densité de colonies d'*E. cavolinii* (fig. 81). Le site du Cougousset se démarque des autres par son importante densité de colonies puisque l'on y compte 13,1 colonies/m<sup>2</sup> (n=236 colonies ; fig. 81). Le site de la Merveilleuse présente une densité élevée de gorgones, 5,11 colonies/m<sup>2</sup>, mais à un degré moindre par rapport à Cougousset (fig. 81). Un dernier groupe composé de la Pierre du Jas, Plate aux Mérours, Pierre à Christian, Pierre à Charlie et Pierre Athéna a des densités de *E. cavolinii* faibles (respectivement 1,4 colonies/m<sup>2</sup>, 2,2 colonies/m<sup>2</sup>, 1,1 colonies/m<sup>2</sup>, 1,1 colonies/m<sup>2</sup> et 1,1 colonies/m<sup>2</sup> ; fig. 81).

Globalement, en moyenne sur l'ensemble des sites, les densités de gorgones sont nettement plus élevées sur le coralligène de paroi avec 6,7 colonies/m<sup>2</sup> que sur le coralligène de plateau où l'on compte 0,4 colonie/m<sup>2</sup> (K.W.  $p < 0,001$  ; fig. 81). Ceci est également observable aux sites de la Merveilleuse, Plate aux Mérours, Cougousset et de Pierre Athéna (K.W.  $p < 0,001$  ; fig. 81). Par contre, à la Pierre du Jas, Pierre à Christian et Pierre à Charlie, les densités sont identiques entre le coralligène de plateau et de paroi (K.W.  $p > 0,05$  ; fig. 81). D'ailleurs, si l'on regarde uniquement sur le coralligène de plateau, on remarque que les densités sont comparables entre les sites de la Pierre du Jas, Pierre à Christian et Pierre à Charlie d'une part (W.M.W.  $p > 0,05$ ) et entre Merveilleuse, Plate aux Mérours, Cougousset et Pierre Athéna d'autre part (W.M.W.  $p < 0,001$ ). Cette tendance est également observable lorsque l'on ne considère que le coralligène de paroi. A noter qu'aucune colonie d'*E. cavolinii* n'a été recensée sur le coralligène de plateau aux sites de la Merveilleuse et de la Plate aux Mérours.



**Figure 81** – Densité (nb colonies/m<sup>2</sup>) de colonies d'*Eunicella cavolinii* observées sur le coralligène de plateau et de paroi de l'ensemble des sites étudiés.

La structure de taille d'*E. cavolinii* sur l'ensemble des sites est bimodale que ce soit sur le coralligène de plateau ou de paroi (fig. 82). On observe un premier mode, correspondant aux petites tailles, à  $0 \leq 5$  cm avec 42,9% des colonies (n = 12) pour le coralligène de plateau et à  $5 \leq 10$  cm avec 21,8% des colonies (n = 92) pour le coralligène de paroi, et un second mode, correspondant aux tailles moyennes, à  $25 \leq 30$  cm avec respectivement pour le coralligène de plateau et de paroi 32,1% des colonies (n = 9) et 53,8% des colonies (n = 227 ; fig. 82). Ce schéma est également observable aux sites de Cougousset et de Pierre Athéna (fig. 82). Ces deux sites, et notamment Cougousset, sont colonisés par de nombreuses colonies d'*E.*

*cavolinii* ce qui influence fortement le schéma de l'ensemble des sites. A la Pierre du Jas et Pierre à Christian, les modes correspondent aux tailles moyennes avec  $10 \leq 15$  cm (respectivement 42% et 40% des colonies) pour le coralligène de plateau et  $15 \leq 20$  cm (46% des colonies) et  $20 \leq 25$  cm (50% des colonies) pour le coralligène de paroi (fig. 82). A la Pierre à Charlie, le mode correspond aux petites tailles, que ce soit pour le coralligène de plateau ou de paroi, avec respectivement  $0 \leq 5$  cm (100% des colonies) et  $5 \leq 15$  cm (78% des colonies). Enfin à Merveilleuse et Plate aux Mérours, où aucune colonie n'a été observée sur le coralligène de plateau, on a un mode qui correspond aux petites à moyennes tailles sur le coralligène de paroi (fig. 82). A Merveilleuse le mode est  $5 \leq 10$  cm avec 34% des colonies et à la Plate aux Mérours le mode est étalé entre  $5 \leq 10$  cm et  $20 \leq 25$  cm avec au total 95% des colonies.

En très grande majorité, les colonies de *E. cavolinii* observées sont saines de toutes marques de nécrose, soit 75% pour le coralligène de plateau ( $n = 18$ ) et 83% pour le coralligène de paroi ( $n = 306$  ; fig. 83). Une infime proportion de colonies est nécrosée en totalité ; elles sont toutes localisées sur le coralligène de paroi ( $n = 8$  ; fig. 83). Ces colonies ont été observées à la Pierre du Jas ( $n = 1$ ), à la Plate aux Mérours ( $n = 6$ ) et au Cougousset ( $n = 3$ ). Sur le coralligène de plateau, on remarque que ce sont les colonies de moyennes et grandes tailles qui sont nécrosées, et à un taux souvent compris entre 25% et 50% (fig. 84). Par contre, sur le coralligène de paroi, les marques de nécroses sont observables sur toutes les classes de taille mais en faible proportion (fig. 85). Ce sont surtout les colonies de moyennes et grandes tailles qui sont affectées. A noter qu'à la Plate aux Mérours, on a observé une proportion élevée de gorgones de tailles moyennes (entre 10 et 25 cm) nécrosées à 75% et 100% (fig. 85).

Aux pieds de nos transects, nous avons recensé au total 6 colonies arrachées. La plus petite mesurait 13 cm et la plus grande 26 cm. La hauteur moyenne est de 21 cm. Ces colonies ont été observées sur les sites de la Merveilleuse, Plate aux Mérours et Pierre à Charlie.

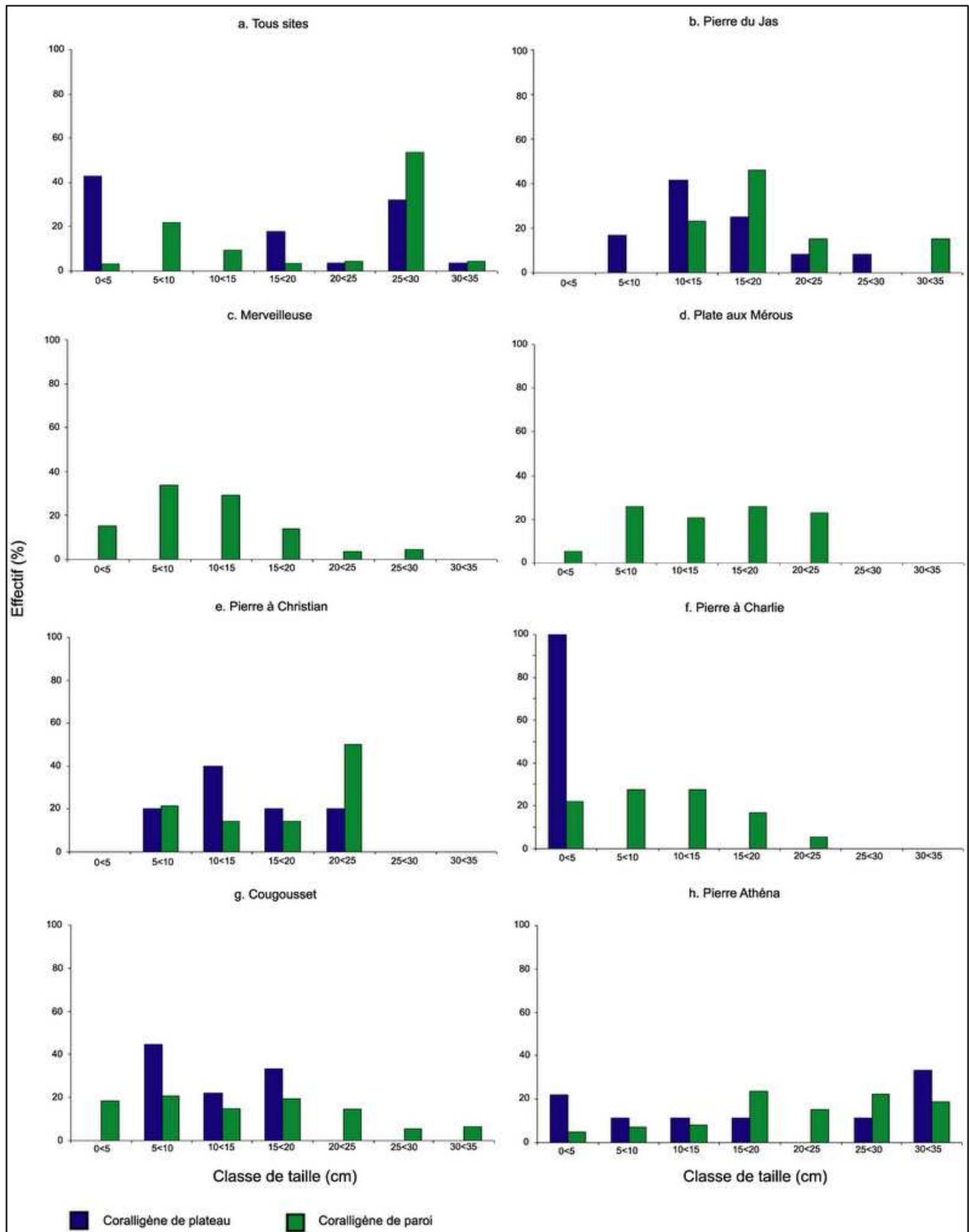


Figure 82 – Structure de taille des colonies d'*Eunicella cavolinii* sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

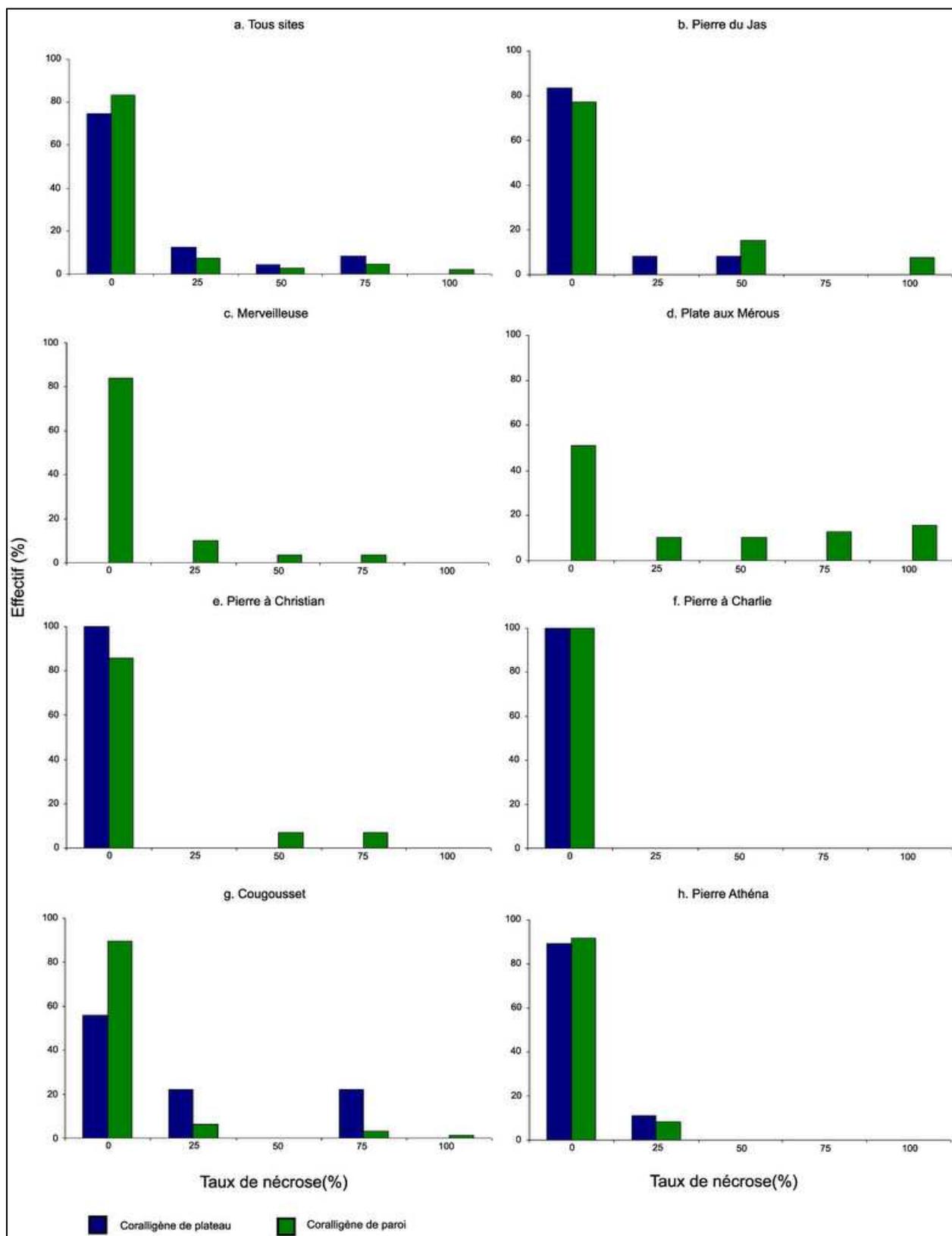
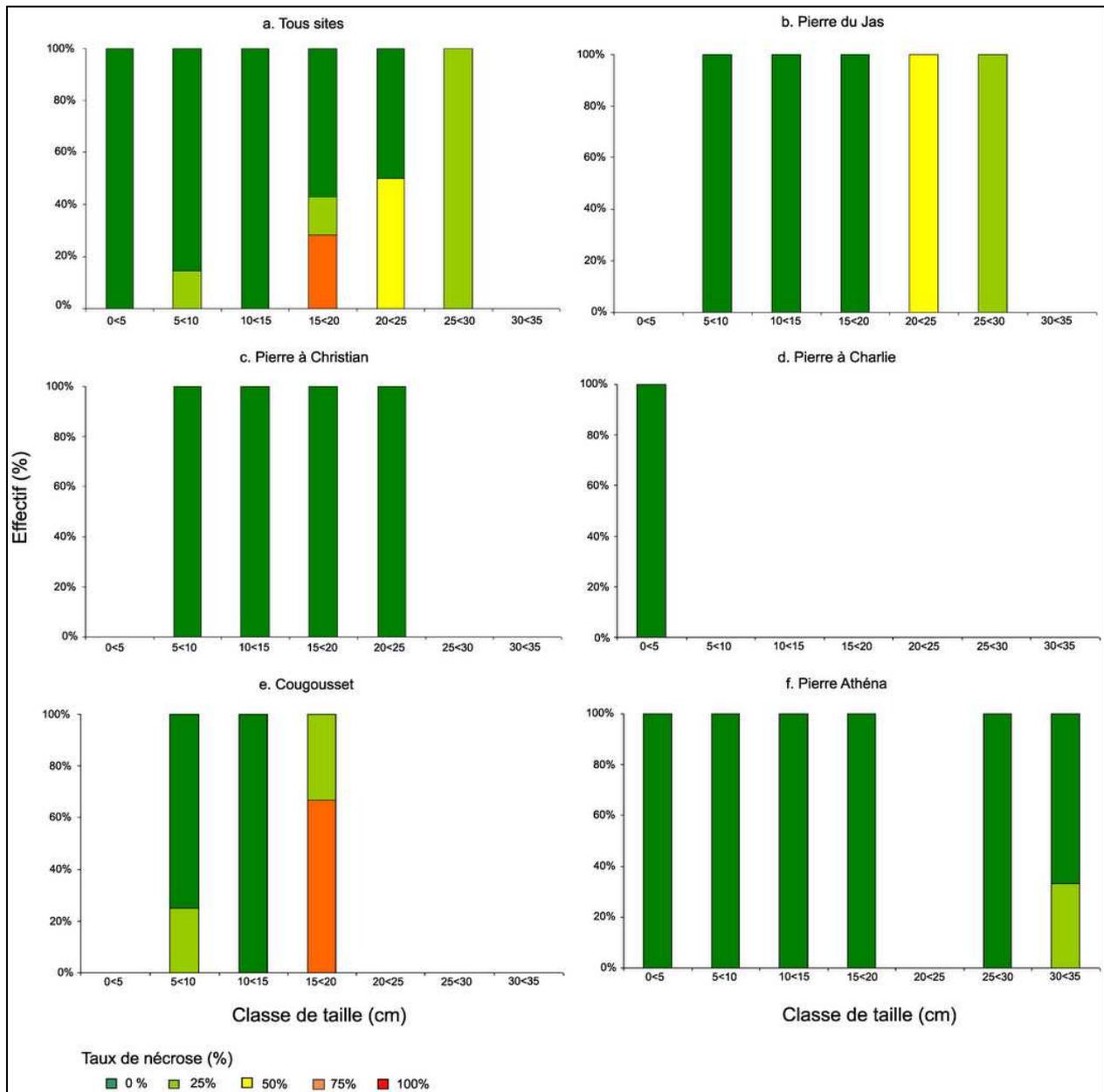
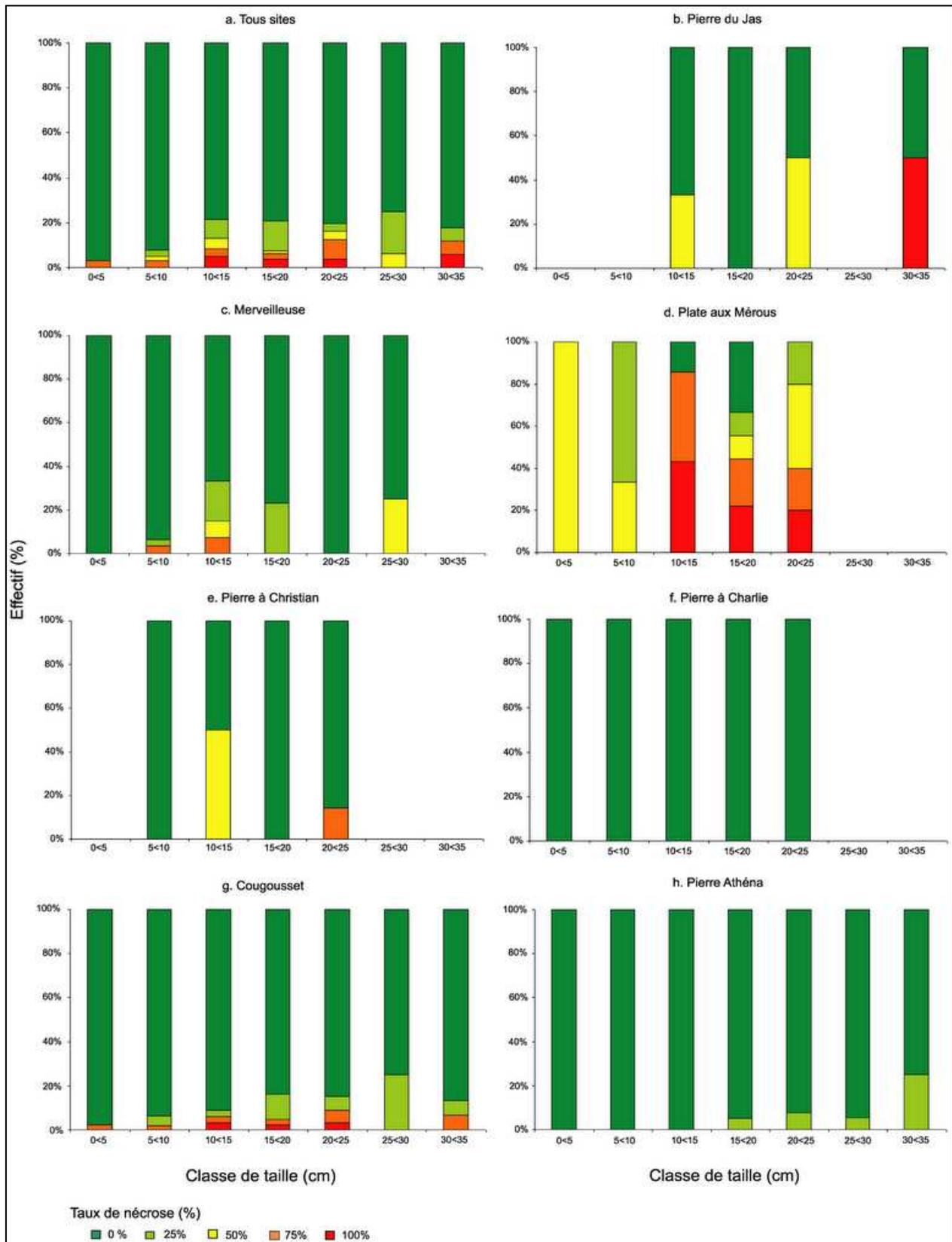


Figure 83 – Taux de nécroses observés sur les colonies d'*Eunicella cavolinii* recensées sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.



**Figure 84** – Taux de nécroses observés par classe de taille des colonies d'*Eunicella cavolinii* recensées sur le coralligène de plateau de l'ensemble des sites étudiés.



**Figure 85** – Taux de nécroses observés par classe de taille des colonies d'*Eunicella cavolinii* recensées sur le coralligène de paroi de l'ensemble des sites étudiés.

### E.6.2.3. *Eunicella singularis*

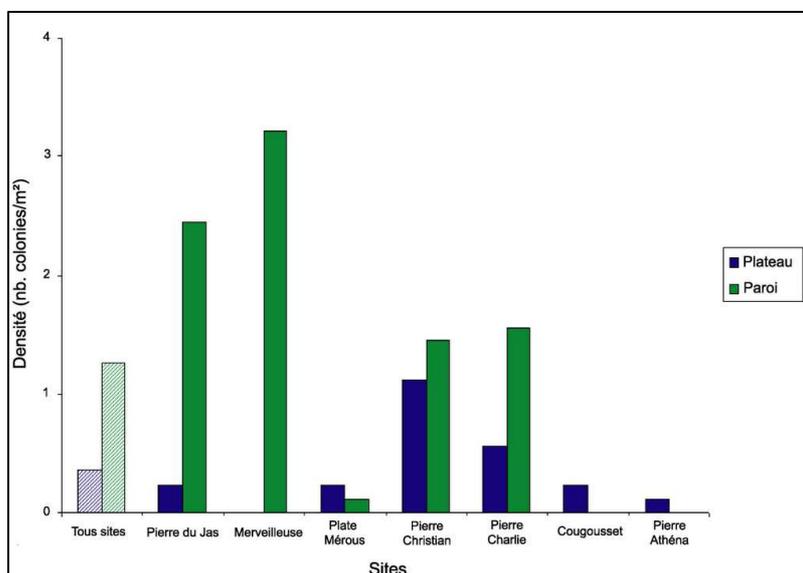
Cette espèce de gorgone est très peu commune autour de l'archipel des Embiez. Au total, nous avons recensé trois colonies le long de nos transects. Deux colonies sont localisées sur la Plate aux Mérours et une colonie est située à la Pierre à Charlie. Elles sont toutes situées sur le coralligène de paroi et mesurent respectivement 7 cm, 5 cm et 10 cm.

### E.6.2.4. *Corallium rubrum*

Nous n'avons observé aucune colonie de corail rouge le long de nos transects.

### E.6.2.5. *Pentapora fascialis*

Au total, sur l'ensemble des sites, nous avons recensé 101 colonies de *Pentapora fascialis*, soit une densité de 2,4 colonies/m<sup>2</sup>. Les densités de ce bryzoaire sont élevées sur un premier groupe de sites composé de la Pierre du Jas, Merveilleuse, Pierre à Christian et Pierre à Charlie (respectivement 4 colonies/m<sup>2</sup>, 4,8 colonies/m<sup>2</sup>, 3,8 colonies/m<sup>2</sup> et 3,2 colonies/m<sup>2</sup> ; fig. 86). Par contre, à la Plate aux Mérours, Cougousset et Pierre Athéna, qui constituent un second groupe, les densités sont très faibles (respectivement 0,5 colonie/m<sup>2</sup>, 0,3 colonie/m<sup>2</sup> et 0,2 colonie/m<sup>2</sup>). Nous constatons que les colonies sont nettement plus présentes sur le coralligène de paroi où la densité est de 1,3 colonies/m<sup>2</sup> que sur le coralligène de plateau où la densité est de 0,3 colonie/m<sup>2</sup> (fig. 86 ; W.M.W.  $p < 0,001$ ). Ces différences de densités entre le coralligène de plateau et de paroi sont observées uniquement à la Pierre du Jas et à la Merveilleuse (W.M.W.  $p < 0,001$ ). Pour les autres, nous notons une homogénéité quelle que soit l'orientation du substrat (W.M.W.,  $p > 0,05$ ). Aucune colonie de *P. fascialis* n'a été observée à la Merveilleuse sur le coralligène de plateau et à Cougousset et Pierre Athéna sur le coralligène de paroi.



**Figure 86** – Densité (nb colonies/m<sup>2</sup>) de colonies de *Pentapora fascialis* observées sur le coralligène de plateau et de paroi de l'ensemble des sites étudiés.

La structure de taille de la hauteur des colonies de *P. fascialis* est unimodale que ce soit sur le coralligène de plateau ou de paroi. Pour les deux orientations, le mode est à  $0 \leq 5$  cm avec respectivement 68,2% des colonies ( $n = 15$ ) et 54,4% des colonies ( $n = 43$  ; fig. 87). Deux sites se dégagent de cette tendance. Pierre à Charlie a un mode un peu plus élevé à  $5 \leq 10$  cm. A Cougousset, la structure de taille est bimodale et le second mode est également à  $5 \leq 10$  cm. Très peu de colonies hautes ( $10 \leq 15$  cm) ont été observées, soit 7,6% des colonies totales

(n = 6). Elles ont été recensées à la Pierre du Jas, Merveilleuse et Pierre à Christian uniquement sur le coralligène de paroi. La structure de taille du diamètre des colonies varie selon l'orientation et les sites. Sur le coralligène de plateau, le mode est à  $0 \leq 5$  cm pour les sites de la Pierre du Jas, Merveilleuse, Plate aux Mérous et Pierre à Christian (sites fréquentés), et il est à  $5 \leq 10$  pour les sites de Pierre à Charlie, Pierre Athéna, voire à  $15 \leq 20$  cm à Cougousset (sites non fréquentés ; fig. 88). Sur le coralligène de paroi, les diamètres des colonies sont plus élevés. Le mode est à  $5 \leq 10$  cm, sauf pour Merveilleuse et Pierre à Christian où les modes sont plus élevés avec respectivement un mode à  $10 \leq 15$  cm et à  $15 \leq 20$  cm (fig. 88). Les colonies de grands diamètres ( $15 \leq 20$  cm) ont été observées uniquement sur le coralligène de paroi aux sites de la Pierre du Jas, Merveilleuse, Pierre à Christian et Pierre à Charlie.

Globalement, sur l'ensemble des sites, les colonies sont soit fixées comme épibiontes, soit localisées sur une surface plane, ou bien à l'abri d'un surplomb ou au pied d'une gorgone (fig. 89). Aucune colonie n'a été observée sur des surfaces convexes ou dans des cavités. Sur le coralligène de plateau, les colonies sont très majoritairement situées sur des surfaces planes (fig. 89). Seul le site de la Plate aux Mérous présente des colonies préférentiellement fixées comme épibiontes. Sur le coralligène de paroi, les colonies sont majoritairement fixées comme épibiontes aux sites de la Pierre du Jas, Merveilleuse et Pierre à Christian. A la Pierre à Charlie, elles sont surtout observées sur des surfaces planes (fig. 89). A la Plate aux Mérous, elles sont localisées dans les surplombs, à l'abri ou au pied des gorgones pourpres (fig. 89). A noter que nous n'avons observé aucune colonie sur le coralligène de paroi aux sites de Cougousset et Pierre Athéna.

Aux pieds de nos transects, nous avons recensé au total 8 colonies arrachées. Ces colonies ont été observées sur les sites de la Merveilleuse, Plate aux Mérous et Pierre à Charlie. La plus petite mesurait 4 cm de haut et 2 cm de diamètre ; la plus grande faisait 12 cm de haut pour 10 de diamètre.

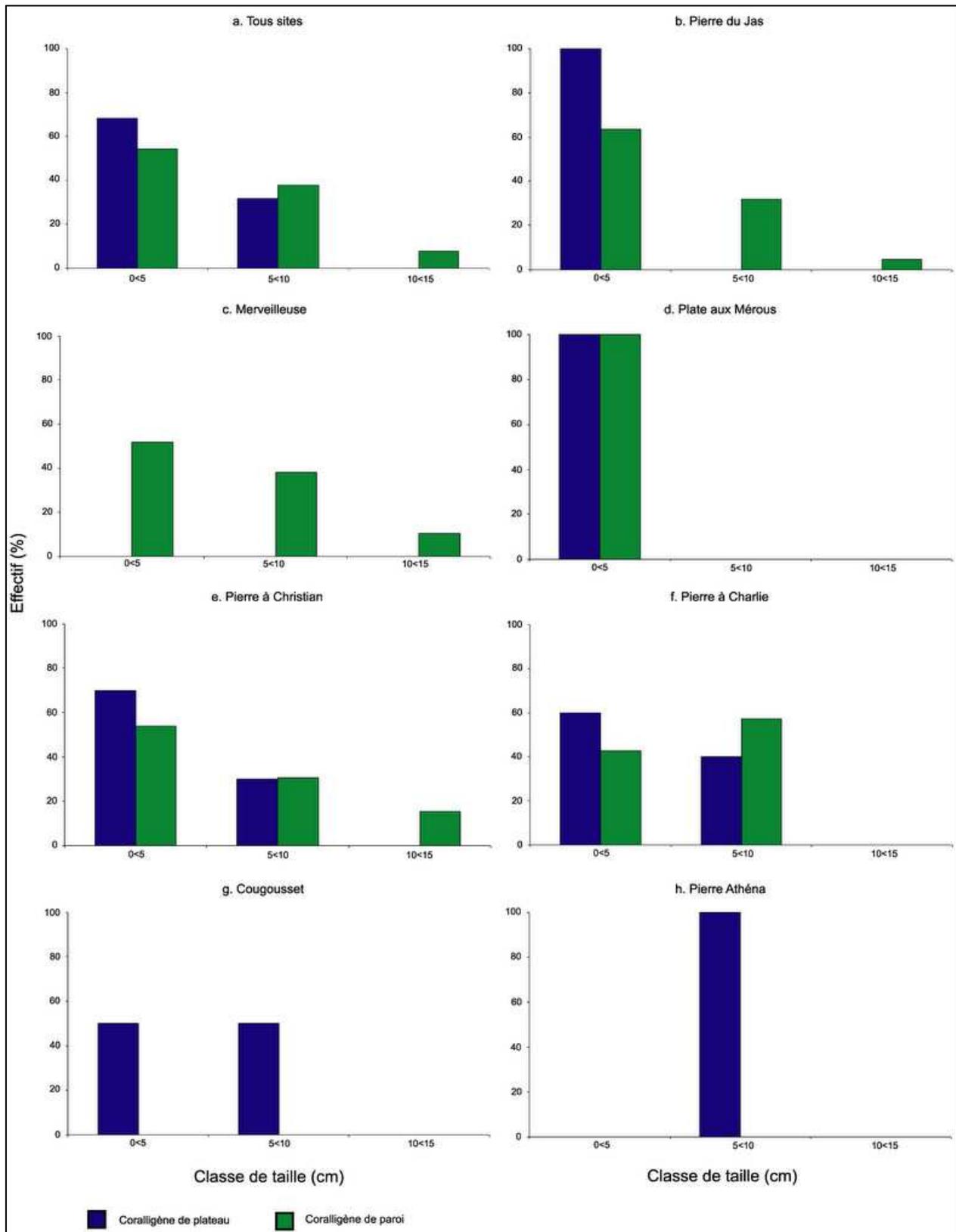


Figure 87 – Structure de taille de la hauteur des colonies de *Pentapora fascialis* sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

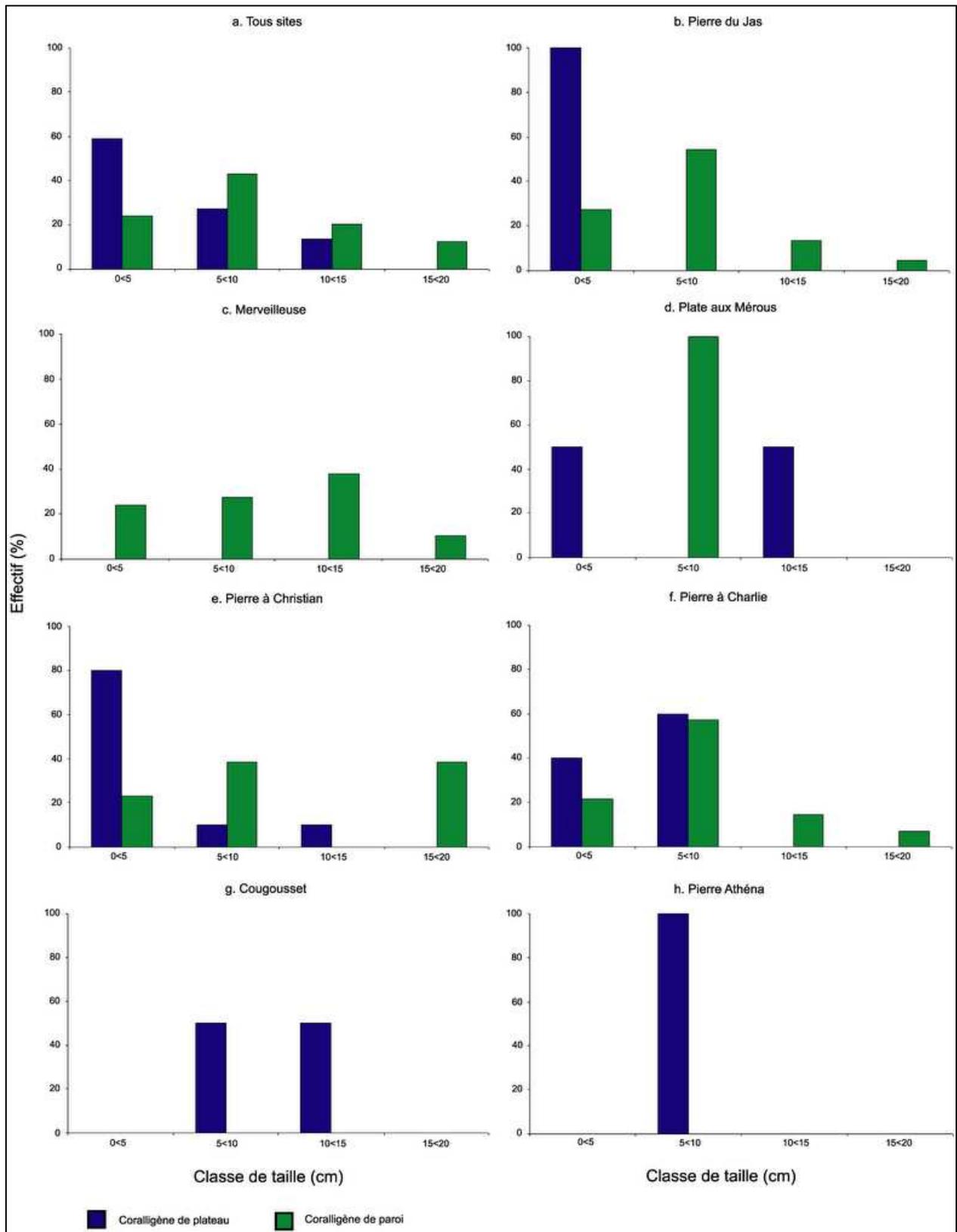
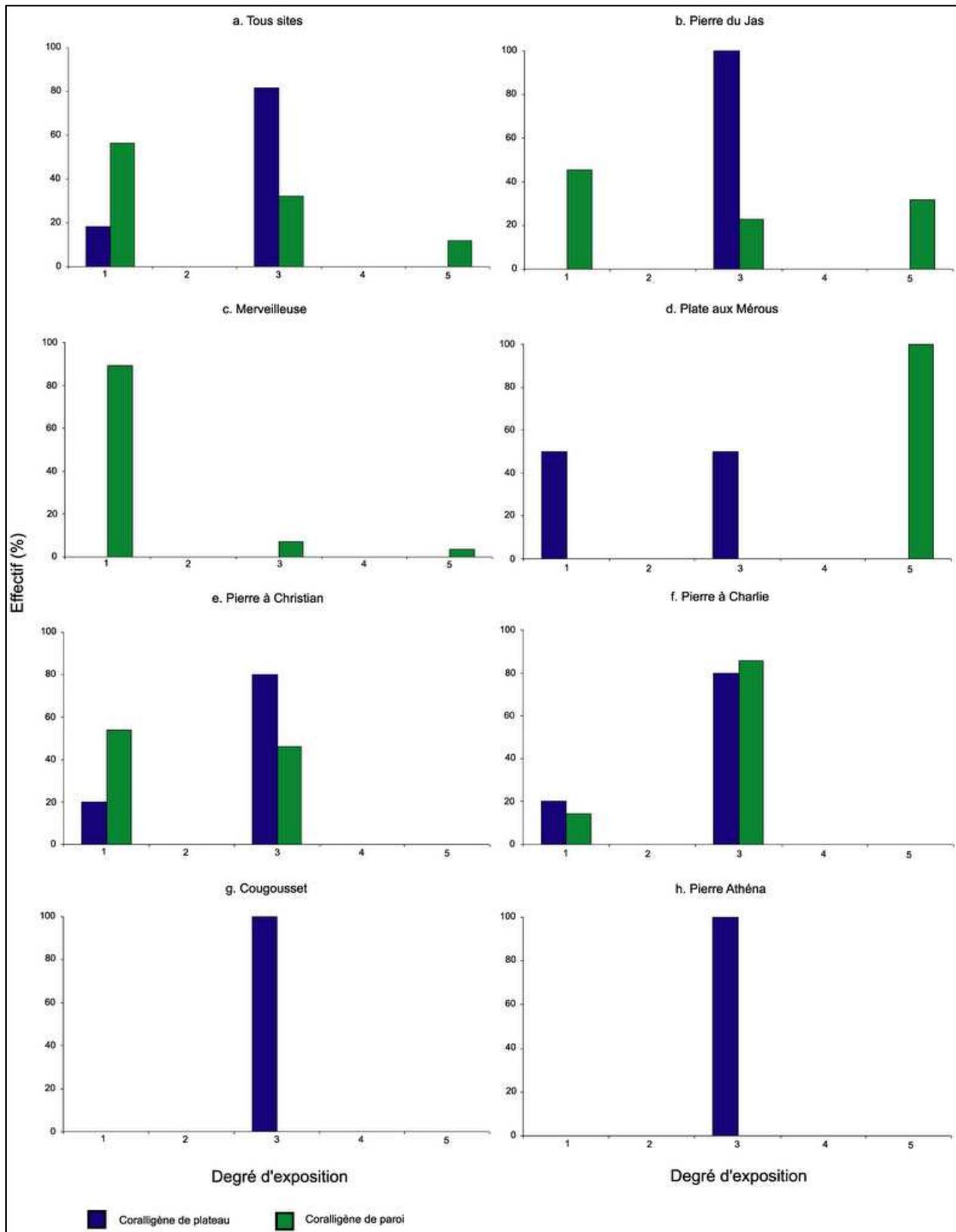


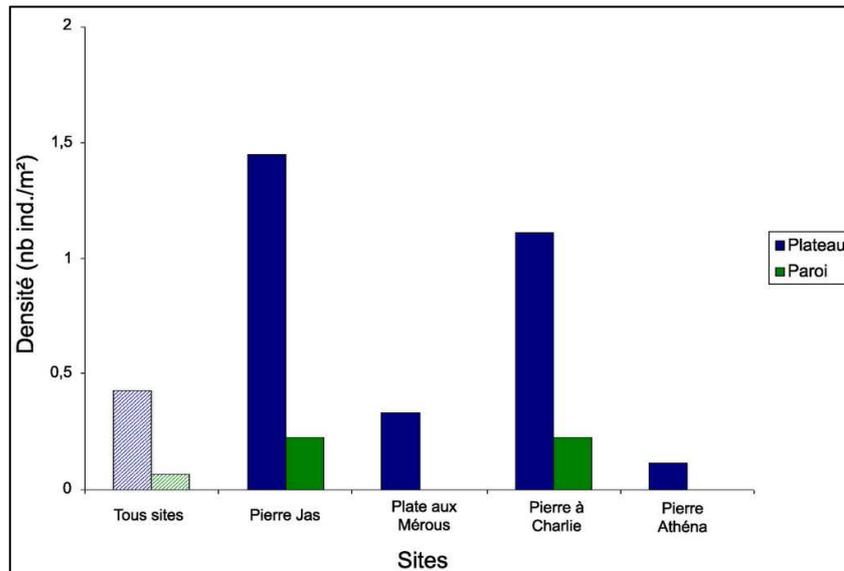
Figure 88 – Structure de taille du diamètre des colonies de *Pentapora fascialis* sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.



**Figure 89** – Degré d'exposition des colonies de *Pentapora fascialis* comme épibiontes (1), sur des surfaces convexes (2), des surfaces planes (3), dans une cavité (4) et sous un surplomb (5) recensées sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

### E.6.2.6. *Axinella polypoïdes*

Au total, sur l'ensemble des sites, nous avons recensé 31 individus du spongiaire *Axinella polypoïdes*, soit une densité de 0,25 individu/m<sup>2</sup>. Nous avons recensé *A. polypoïdes* sur quatre des sept sites étudiés (fig. 90). Il s'agit de la Pierre du Jas, Plate aux Mérous, Pierre à Charlie et Pierre Athéna. De manière générale, *A. polypoïdes* a été davantage observé sur le coralligène de paroi que de plateau (W.M.W.  $p > 0,05$ ). Cette différence n'est pas visible pour les sites de la Plate aux Mérous ou de Pierre à Charlie, probablement à cause du trop faible effectif et uniquement localisé sur le coralligène de plateau (respectivement 3 individus et 1 individu au total). Néanmoins deux groupes de sites se distinguent avec d'une part Pierre du Jas et Pierre à Charlie où les densités sont maximales (respectivement 0,83 ind./m<sup>2</sup> et 0,66 ind./m<sup>2</sup>), et d'autre part Plate aux Mérous et Pierre Athéna où les densités sont très faibles (respectivement 0,16 ind./m<sup>2</sup> et 0,05 ind./m<sup>2</sup> ; fig. 90).



**Figure 90**– Densité (nb individus/m<sup>2</sup>) du spongiaire *Axinella polypoïdes* observé sur le coralligène de plateau et de paroi de l'ensemble des sites étudiés.

La structure de taille d'*A. polypoïdes* est en moyenne unimodale sur le coralligène de plateau avec un mode à  $20 \leq 25$  cm qui regroupe 29,6% des colonies (fig. 91). A la Pierre du Jas le mode est de  $20 \leq 30$  cm avec 61,6% des individus ( $n = 8$ ). A la Plate aux Mérous, le mode est de  $20 \leq 25$  cm avec 67% des individus ( $n = 2$ ). A Pierre à Charlie, les individus sont plus hauts, le mode est de  $25 \leq 35$  cm avec 60% des colonies ( $n = 6$ ). Enfin, à Pierre Athéna, le seul individu que nous ayons recensé le long de nos transects mesure entre 10 cm et 15 cm.

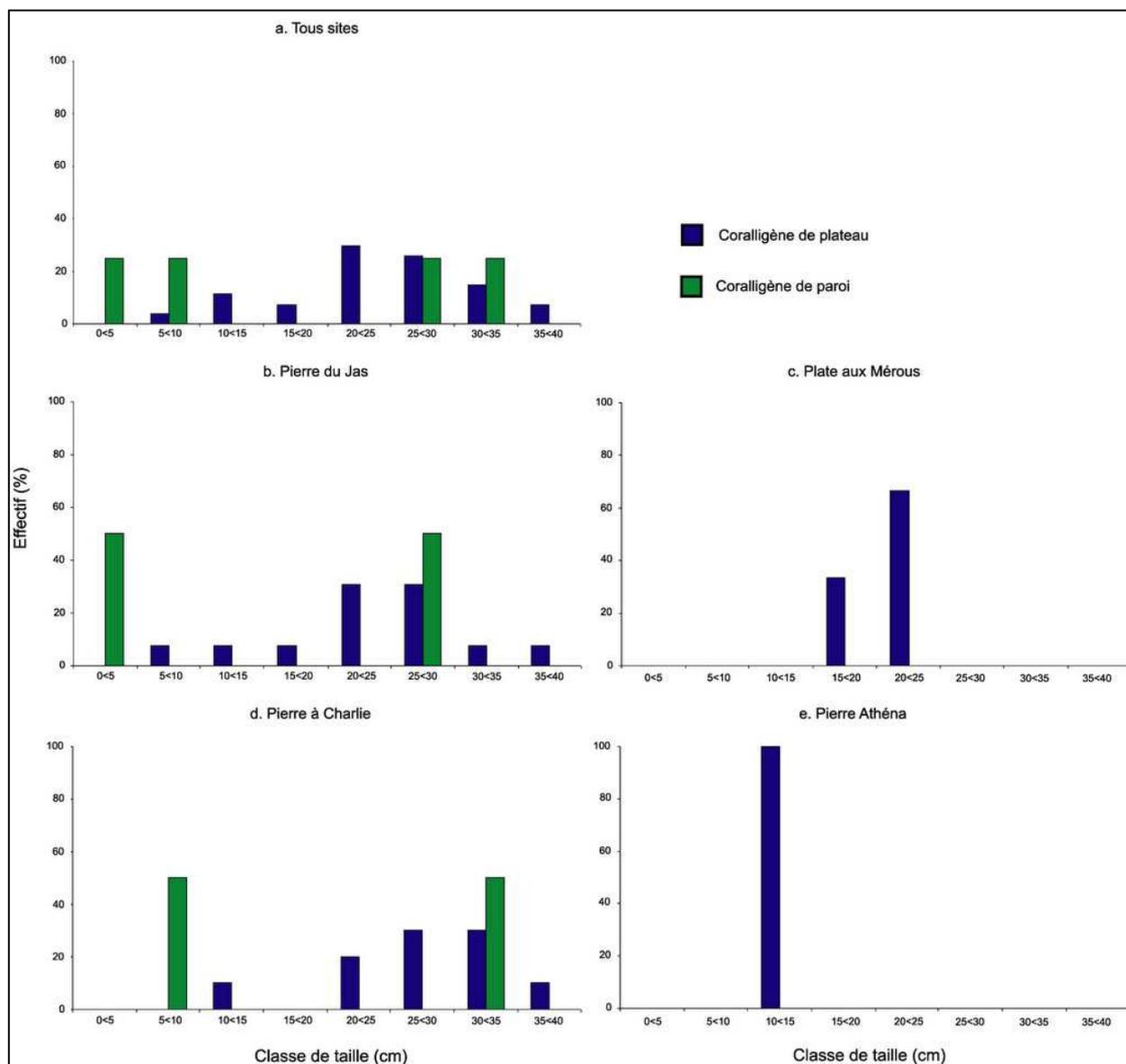


Figure 91 – Structure de taille du spongiaire *Axinella polypoïdes* sur l'ensemble des sites de coralligène étudiés.

### E.6.3. Description de la faune et de la flore non dressées

L'échantillonnage des espèces non dressées par photos quadrats présente l'avantage de limiter les temps de plongée et d'être non destructrice pour le milieu. En revanche, il est parfois difficile de reconnaître, sur photographie, chaque espèce présente (qualité de la photographie, ombre portée, manque de critères discriminants), pour certaines d'entre elles la différenciation spécifique ne peut d'ailleurs être faite qu'à partir d'échantillons examinés par des spécialistes. Avec ces réserves, nous avons traité nos photos quadrats en différenciant les taxons jusqu'à l'espèce lorsque c'était possible, en les regroupant à un niveau hiérarchique supérieur pour les autres.

Pour chacun des sept sites choisis nous disposons des données de neuf photos quadrats de 20 x 30 cm par transect de 3 x 1 m, trois transects délimités sur le coralligène de paroi (noté vertical ou V) et trois autres sur le coralligène de plateau (noté horizontal ou H) soit 27 photos quadrats sur V et 27 sur H. Nous présentons dans cette étude les résultats de ces données groupées en coralligène de paroi ou coralligène de plateau pour chaque site.

### E.6.3.1. Les éléments non biologiques

Sur chaque photographie examinée nous trouvons des zones sombres provenant d'anfractuosités ou de l'ombre portée d'organismes plus en relief. Nous avons estimé le taux de recouvrement de ces zones regroupées sous le terme "Ombre". De la même façon nous avons évalué la proportion des débris, sédiments, restes d'organismes morts, fèces, tout le matériel non vivant qui apparaissait sur nos photos quadrats (fig. 92).

- Ombre : la valeur moyenne (Tous sites) du taux de recouvrement est assez comparable, mais un peu plus forte pour les secteurs verticaux (V ; 6,07%), que pour les horizontaux (H ; 4,27%). Les valeurs maximales, transects horizontaux de la Pierre du Jas (9,44%) et les verticaux de la Pierre Athéna (10,39%) reflètent une forte présence des algues vertes *Udothea petiolata* ou *Halimeda tuna* et des algues rouges corallinacées *Pseudolithophyllum* provoquant des ombres portées et une anfractuosité plus importantes. C'est la faible représentativité de ces espèces qui donne les valeurs les plus faibles à la Merveilleuse (1,94%) et à Cougousset (2,78%) pour les transects horizontaux et à la Pierre à Christian (2,60%) pour les verticaux.

- Débris/Sédiments : tous sites confondus, cette catégorie représente 6,96% de la surface des photos quadrats sur les secteurs horizontaux et 5,39% sur les verticaux, les parois conservant moins de matériel déposé que les surfaces planes. Les valeurs les plus fortes ne semblent pas liées à la fréquentation par les plongeurs, les spots les plus visités, Plate aux Mérous, Merveilleuse, Pierre du Jas et Pierre à Christian, pourraient être encombrés par des débris divers provoqués par des dégradations involontaires ou par des sédiments mis en suspension par le palmage. De même, les sites du sud, Cougousset, Pierre à Christian et Pierre Athéna, plus exposés aux courants, ne sont pas significativement plus "propres" que les autres (K.W.,  $p > 0,5$ ). Les variations de ce facteur sont probablement dues aux conditions courantologiques précédant nos plongées d'échantillonnage.

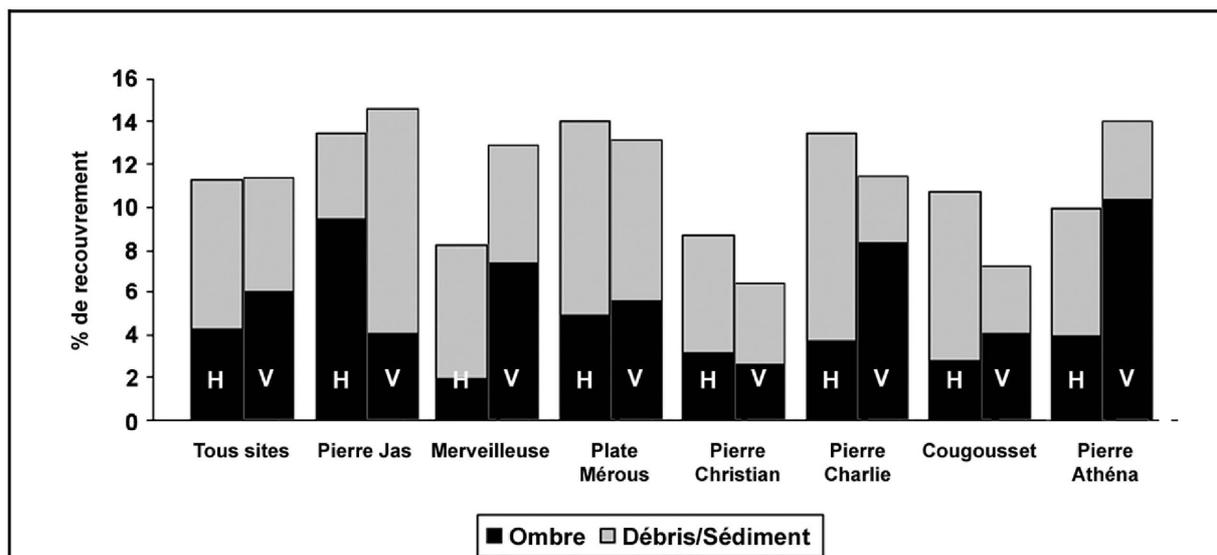


Figure 92 - Pourcentage de recouvrement (en %) des débris et de l'ombre sur les transects de chaque site.

### E.6.3.2. Parts respectives de la flore et de la faune

Le taux de recouvrement des algues est toujours supérieur sur les transects horizontaux (en moyenne 73,4%) que sur les verticaux (en moyenne 62,1%), sauf pour le site du Cougousset où on trouve la valeur la plus forte (85% ; fig. 93). Les zones situées en plateau reçoivent plus de lumière que les parois, favorisant le développement des algues et notamment des algues vertes et brunes. Pour Cougousset, la forte représentativité de *Peyssonnelia* et d'*Udothea* sur les transects verticaux et leur quasi absence sur les horizontaux expliquent cette inversion. Les Pierres à Christian et à Charlie présentent le recouvrement algal le plus faible des sites

étudiés, que ce soit sur le plateau ou sur les parois ; c'est logiquement sur ces mêmes sites que la faune est la plus importante autour de 37% sur les secteurs verticaux et entre 20% et 24% pour les horizontaux alors que la moyenne tous sites est respectivement de 26,4% et 15,3%. Dans ces deux cas ce sont les organismes encroûtants, éponges et bryozoaires, qui prennent la place des algues. Les valeurs les plus faibles du taux de recouvrement par la faune sont mesurées à Cougousset (7,8%) et Pierre du Jas (16,8%) pour les transects verticaux, et à la Pierre du Jas encore (8,4%) pour les horizontaux ; l'examen des photos quadrats montre que c'est sur ces points qu'on note les plus faibles taux de recouvrement par les éponges et les bryozoaires.

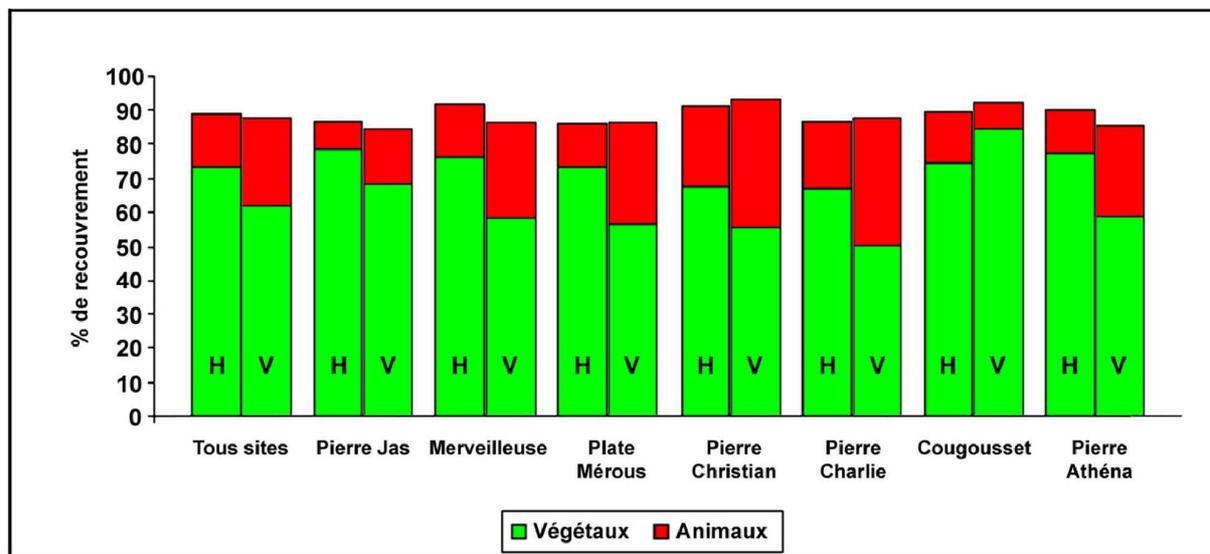


Figure 93 - Pourcentage de recouvrement des animaux et des végétaux sur les transects de chaque site.

#### E.6.3.3. Parts respectives de chaque embranchement

En ce qui concerne les végétaux, nous avons trouvé sur nos transects des représentants des algues brunes (=Chromophytes), des algues rouges (=Rhodophytes), des algues vertes (=Chlorophytes) et des Magnoliophytes (Posidonie). Il ne nous a cependant pas été possible de toujours pouvoir déterminer l'appartenance à un de ces groupes des algues présentes sur les photos quadrats. Dans ce cas nous les avons regroupées dans la catégorie "Algues indéterminées". Ces espèces, qui peuvent appartenir aux 3 embranchements algaux, représentent une forte proportion de la surface de nos quadrats entre 12,1% et 38,9% (23,7% tous sites confondus) sur les transects verticaux et entre 5,5% et 23,7% (12,0% tous sites confondus) sur les transects horizontaux. Il s'agit notamment d'un feutrage mixte de petites algues d'allure filamenteuse nommées "Gazon algal".

La faune fixée, en dehors des grandes espèces dressées que nous avons essayé d'éviter dans le choix de l'emplacement des photos quadrats à l'intérieur de chaque transect, est dominée par des espèces encroûtantes d'éponges et de bryozoaires. Les cnidaires, les annélides et les tuniciers sont, à un degré moindre, les autres représentants animaux.

#### - Flore :

Tous sites confondus, ce sont les algues rouges qui dominent (fig. 94). C'est également le cas sur chaque transect, jusqu'à 60% à la Merveilleuse, sauf sur les secteurs horizontaux de la Pierre à Christian où elles sont devancées par les algues vertes et sur les parois de la Pierre du Jas et de la Pierre à Christian où les algues indéterminées ont un taux de recouvrement plus important. On note, sur ce dernier site, les valeurs les moins fortes du taux de recouvrement pour les algues rouges, 14,2% en V et 20,5% en H. Les espèces les plus représentées font partie des algues calcifiées *Pseudolithophyllum*, *Mesophyllum* et *Peyssonnelia* et des

Rhodomelaceae.

Les algues brunes, où dominent *Dictyota dichotoma*, *Dictyopteris membranacea* et *Zanardinia prototypus*, sont plus rares sur les secteurs verticaux (0,5% en moyenne) que sur les secteurs horizontaux (12,8% tous sites confondus). Elles constituent le peuplement dominant sur la Pierre à Christian avec 37,4% de la surface couverte et le deuxième après les algues rouges sur la Pierre à Charlie (24,2%) et sur la Pierre Athéna (16,3%). Sur les autres transects, elles ne dépassent pas 2% sur les parois et 4% sur les plateaux.

Sur les transects horizontaux de la Pierre Athéna le peuplement est dominé par les algues vertes *Halimeda tuna* et *Udotea petiolata*. Leur représentation sur les sites est très variable de 0,1% à 36,2% sur les transects horizontaux et de 1% à 22% sur les transects verticaux. Outre la Pierre Athéna, on observe les valeurs maximales sur le secteur horizontal de la Pierre du Jas (18,9%) et sur les verticaux de Cougousset (22,0%) et de la Pierre Athéna (19,2%), partout ailleurs le taux de recouvrement des algues vertes ne dépasse pas 4%.

Nous n'avons trouvé qu'une seule pousse de *Posidonia oceanica* sur une photo quadrat horizontal de la Merveilleuse.

- Faune :

Pour une meilleure lisibilité nous avons représenté sur la figure 95 les données concernant uniquement la faune.

Les éponges encroûtantes comme *Crambe crambe*, *Spirastrella cunctatrix*, *Haliclona mediterranea*, *Phorbis tenacior* ou perforantes *Cliona viridis* sont les éléments les plus importants de la faune et plus particulièrement sur les secteurs verticaux (7,2% en H et 15,0% en V tous sites confondus) devant les bryozoaires (3,8% pour H et 8,5% pour V). Sur la Merveilleuse et la Pierre à Charlie, la hiérarchie est inversée, les bryozoaires, ici essentiellement *Beania sp.*, recouvrant respectivement 14,4% et 18,7% des parois comme sur les transects horizontaux de la Pierre à Christian (9,3%) où *Cellepora pumicosa* domine.

Les cnidaires ne sont jamais présents en grand nombre, que ce soit sur les transects horizontaux (moyenne 1,5%) ou sur les verticaux (moyenne 1,6%). Ils ne dépassent pas 1,5% sauf sur les transects horizontaux de la Pierre Athéna (3,4%) et de la Pierre à Christian (3,2%) et sur les verticaux de la Pierre Athéna où ils devancent les bryozoaires avec 5,6%. Les espèces les plus représentées sont *Caryophyllia smithii*, *Leptopsammia pruvoti*, *Parazoanthus axinellae* et diverses colonies de petits hydrozoaires, *Sertularella*, *Eudendrium*, *Aglaophenia*,... Enfin les tuniciers, dont *Clavelina nana*, *Halocynthia papillosa* et *Aplidium proliferum*, sont rares partout, moins de 1% pour tous les transects étudiés.

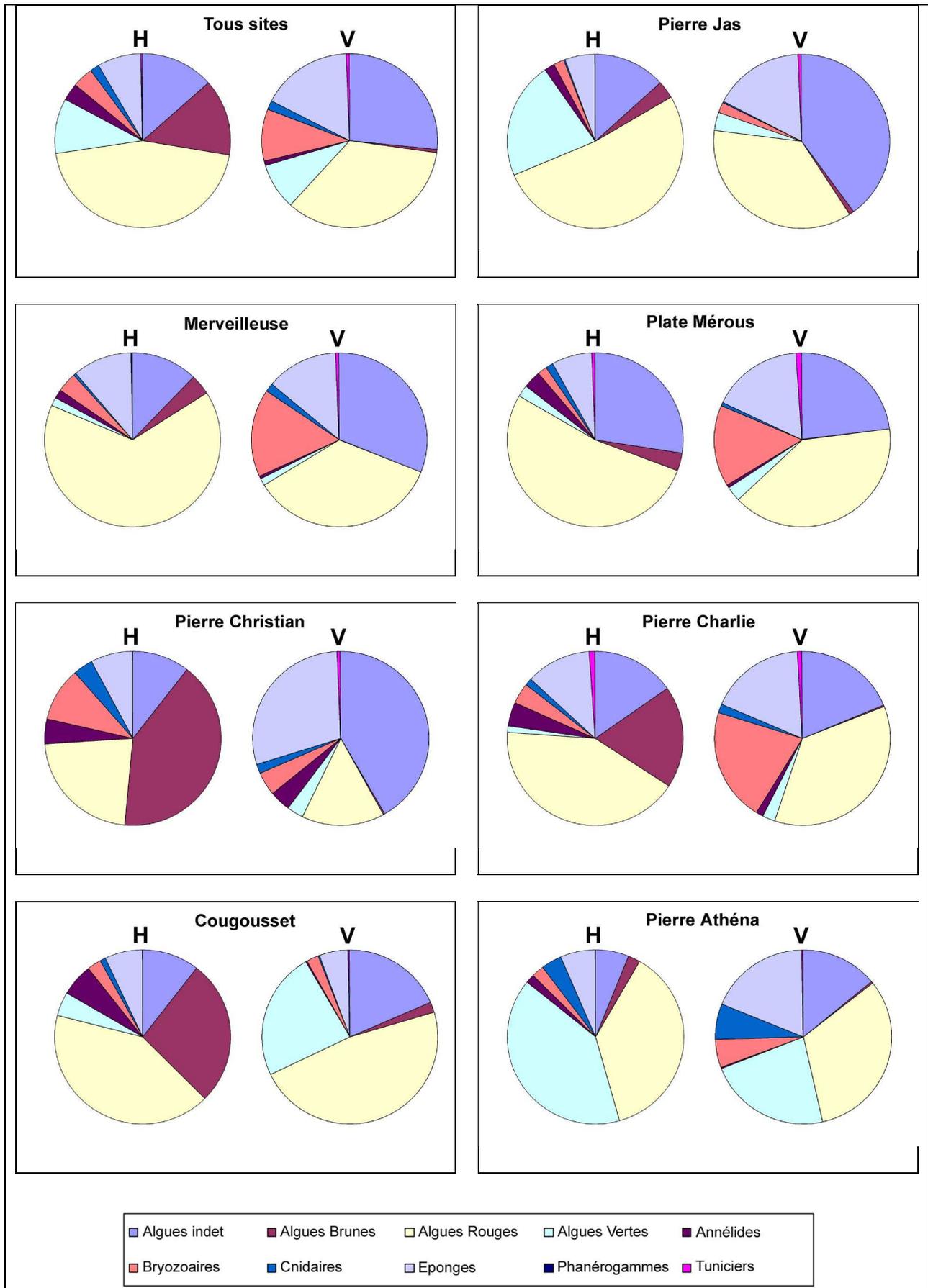


Figure 94 - Proportion relative (en %) des différents embranchements sur les transects de chaque site.

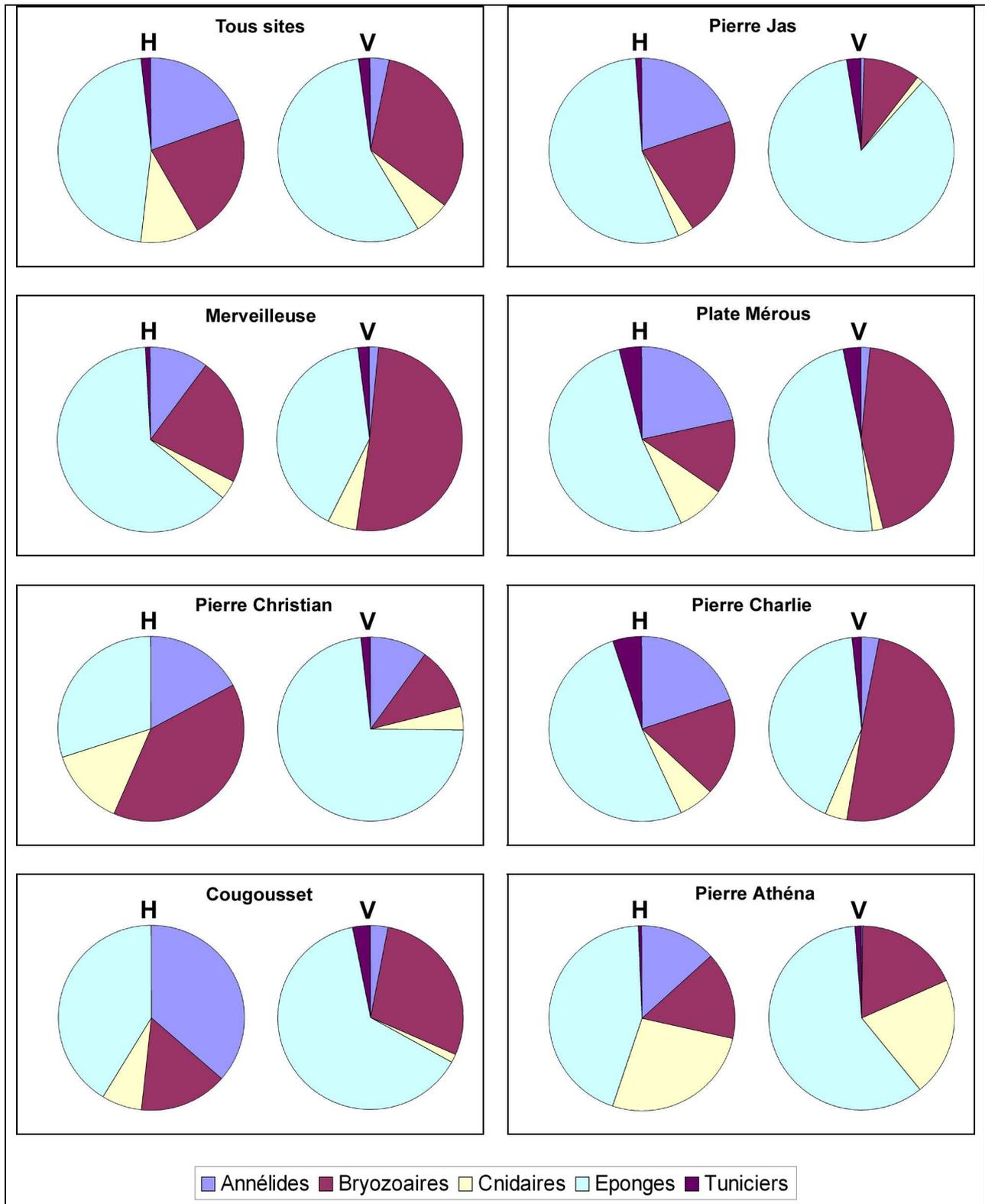


Figure 95 - Proportion relative (en %) des différents embranchements de la faune sur les transects de chaque site.

#### E.6.3.4. Parts respectives des principaux taxons

Comme nous l'avons précisé précédemment, la reconnaissance jusqu'au niveau spécifique des différents organismes présents sur les photos quadrats n'a pas toujours été possible. Lorsque l'identification spécifique n'a pas pu être réalisée, nous avons regroupé les organismes concernés à un niveau hiérarchique supérieur.

La figure 96 montre les proportions relatives des espèces ou groupes d'espèces présentes au moins une fois sur un transect horizontal ou vertical avec un taux de recouvrement supérieur à 5%.

##### - Flore :

Le groupe "gazon algal" est constitué de petites algues filamenteuses formant un feutrage probablement composé de plusieurs espèces d'algues brunes, rouges ou vertes. Il est souvent dominant (23,6% du peuplement tous sites confondus) sur les secteurs verticaux sauf à la Plate aux Mérous, à Cougousset et à la Pierre Athéna où il atteint seulement 12% (le maximum, 38,9%, pour la Pierre à Christian). Sur les secteurs horizontaux, il est moins présent : 12% en moyenne et compris entre 5,5% à la Pierre Athéna et 23,6% à la Plate aux Mérous.

Le second représentant par ordre d'importance est le groupe *Mesophyllum/Pseudolithophyllum* composé des corallinacées *Pseudolithophyllum cabiochae*, *P. expansum* et *Mesophyllum lichenoides* qu'il n'est pas toujours possible de différencier. Ces espèces dominent les secteurs horizontaux avec 20,1% en moyenne du peuplement sauf à la Merveilleuse, à la Pierre à Christian (minimum avec 10,0%) et à la Pierre Athéna ; le recouvrement maximum, 29,7%, s'observe à la Pierre du Jas. Elles sont moins représentées sur les secteurs verticaux (16,4% tous sites confondus) sauf à la Plate aux Mérous où elles constituent le peuplement dominant (22%) et à la Pierre du Jas (25,8%, le maximum sur les transects de paroi). C'est sur la Pierre à Christian qu'elles se développent le moins à la fois sur les transects horizontaux (10,0%) et sur les transects verticaux (10,4%).

Sur la majorité de nos photos quadrats on peut observer des algues rouges d'allure filamenteuse fine en touffe, elles comprennent probablement plusieurs espèces de Céramiales, Rhodomelacées ou de Ceramiacée, parmi lesquelles il est possible que les espèces invasives *Acrothamnion preissii* et *Womersleyella setacea* soient présentes. On les a regroupées sous le terme "Rhodomelaceae". Elles sont fortement représentées sur les secteurs horizontaux entre 6,3% à la Pierre Athéna et 25,5% à la Merveilleuse, avec 11,9%, tous sites confondus. Moins denses sur les transects de paroi (2,7% en moyenne) ou même absentes (Pierre du Jas, Pierre à Christian et Pierre Athéna) elles atteignent 6,8% du recouvrement à la Merveilleuse encore une fois.

*Dictyota dichotoma* : cette algue brune, souvent accompagnée d'autres Dictyotales comme *Dictyota linearis*, *Dictyopteris membranacea* et *Dilophus fasciola*, est dominante sur les transects horizontaux de la Pierre à Christian (17,4%) et bien représentée à Cougousset (9,1%) et à la Pierre à Charlie (7,4%) ; elle est quasiment absente des transects verticaux, seulement 1,2% à Cougousset.

Les Chlorophytes *Halimeda tuna* et *Udotea petiolata*, souvent associées dans nos échantillons sont dominantes à la Pierre Athéna : *Udotea petiolata* (19,2%) suivie d'*Halimeda tuna* (16,1%) sur les transects horizontaux, et encore *U. petiolata* (16,4%) sur les secteurs verticaux, par ailleurs dépourvus d'*H. tuna*. Elles occupent 10,8% (*H. tuna*) et 5,6% (*U. petiolata*) des surfaces horizontales de la Pierre du Jas et sont absentes ou en faible densité sur les autres sites comme sur les transects de paroi à l'exception de Cougousset : 13,6% pour *Udotea petiolata* et 8,3% pour *Halimeda tuna*.

Une autre algue rouge caractéristique des formations coralligènes, du genre *Peyssonnelia* est présente sur nos sites. La différenciation spécifique est très délicate et sujette à discussion pour les spécialistes. Elle est plus développée sur les secteurs verticaux (10,5% en moyenne) et dominante à Cougousset (18%). Elle ne représente que 3,2% du peuplement des plateaux avec un maximum de 9,9% à la Pierre Athéna.

Les algues brunes *Dictyopteris membranacea* et *Zanardinia prototypus* représentent chacune 2,2% dans les transects horizontaux essentiellement à Cougousset (8,6% pour *D. membranacea* et 3,8% pour *Z. prototypus*) et à la Pierre Athéna (6,8% pour *D. membranacea* et 5,8% pour *Z. prototypus*). Partout ailleurs elles sont rares ou absentes particulièrement sur les

secteurs verticaux (0,1% tous sites confondus pour les deux espèces).

- Faune :

L'embranchement des spongiaires domine la faune sur pratiquement tous les secteurs. Deux espèces dépassent le seuil de 5% du taux de recouvrement. *Cliona viridis*, une éponge perforante, recensée dans tous les transects horizontaux (moyenne de 5,7%) et maximale à la Pierre à Charlie (8,6%) est moins présente sur les parois, elle atteint 2,5% à la Pierre du Jas. L'autre espèce, *Haliclona mediterranea* n'a été trouvée que sur les transects verticaux de la Pierre à Christian (13,8%), elle est absente sur tous les autres transects.

*Beania sp* et *Cellepora pumicosa* sont les deux seules espèces de bryozoaires qui atteignent le seuil de 5%. On ne trouve *Beania sp* que sur les transects verticaux, 4,4% tous sites confondus. Cette espèce est particulièrement développée à la Pierre à Christian (13,3%) et bien représentée à la Plate aux Mérous (7,5%) et à la Merveilleuse (6,8%). *Cellepora pumicosa* ne dépasse pas 2% sauf sur les transects horizontaux de la Pierre à Christian (7,5%).

La présence des cnidaires est relativement faible : aucune espèce ou groupe d'espèces ne dépasse le taux de recouvrement de 5%.

Les petits serpulidés, annélides polychètes sédentaires, souvent épiphytes des algues calcifiées, sont présents quasiment sur tous les secteurs en petite quantité, seuls les taux de recouvrement des transects horizontaux de Cougousset (5,5%), de la Pierre à Charlie (3,7%) et de la Pierre à Christian (3,6%) sont significatifs.

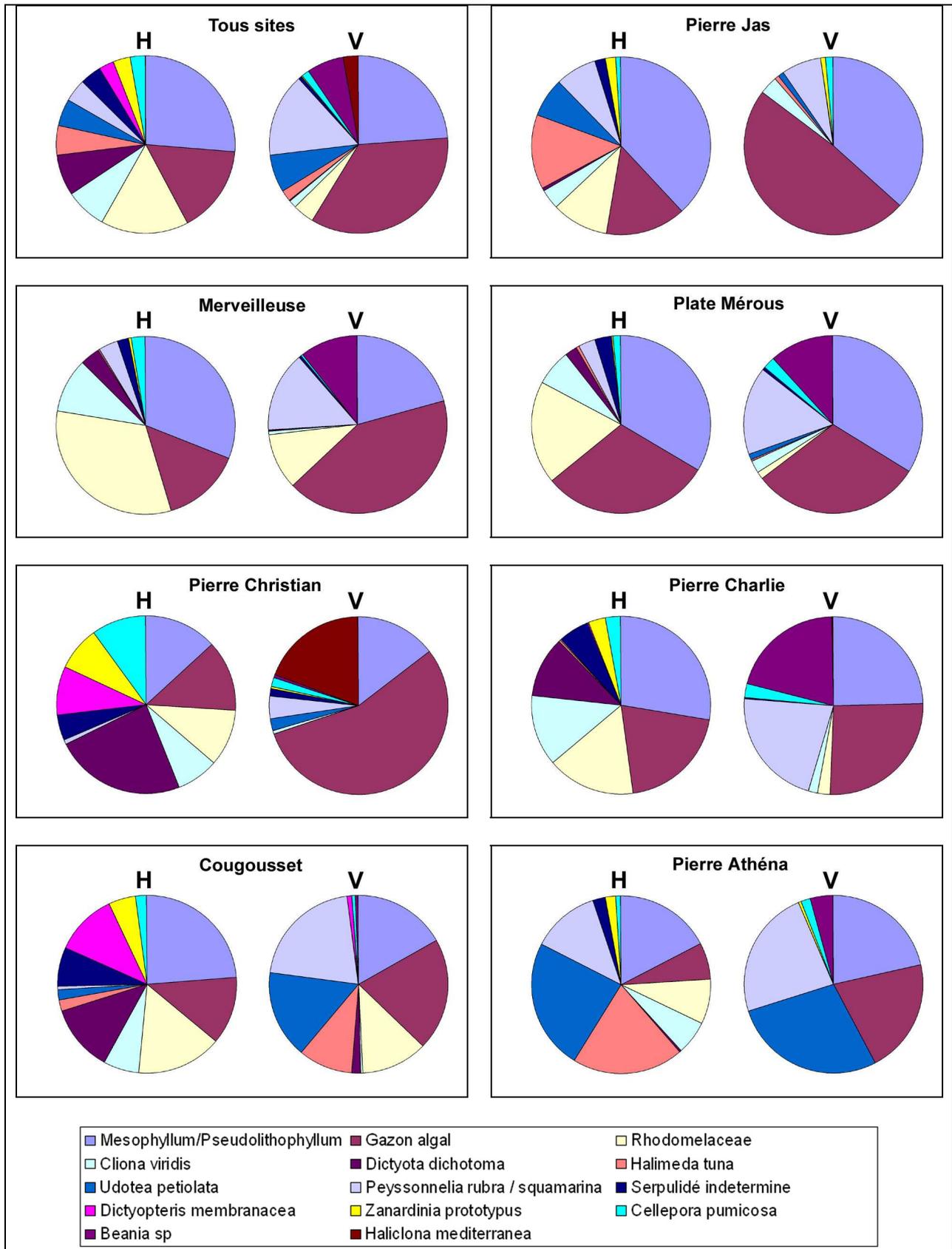
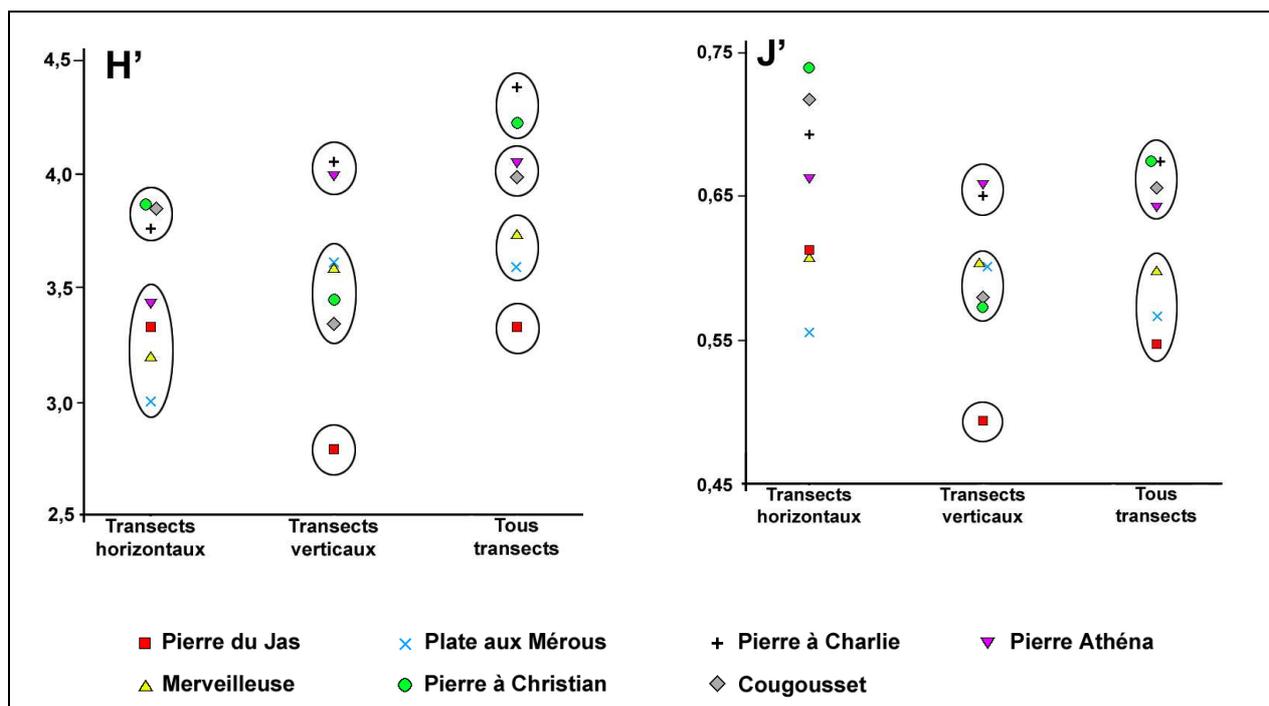


Figure 96- Répartition des différents taxons sur les transects horizontaux H et verticaux V de chaque site.

### E.6.3.5. Indices de diversité biologique

A raison de trois transects sur le coralligène de plateau et de trois sur le coralligène de paroi, et de neuf photos quadrats par transects, l'étude des sept stations nous a fourni 358 échantillons du coralligène de la zone Natura 2000 des Embiez.

Malgré les réserves déjà émises concernant la reconnaissance des organismes jusqu'au niveau spécifique, nous avons traité les données du taux de recouvrement des différents "taxons" sur les transects horizontaux et verticaux de chaque site en utilisant les indices de Shannon-Wiener  $H'$  et de Pielou  $J'$  (fig. 97). Il est certain que les valeurs, calculées ici, de ces indices ne sont pas exactes mais elles permettent néanmoins de compléter et de synthétiser les ressemblances et les différences entre les stations.



**Figure 97** - Indice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) et indice d'équitabilité de Pielou ( $J'$ ) calculés pour les transects horizontaux et verticaux de chaque site.

Sur l'ensemble des sites, l'indice de Shannon-Wiener est égal à 4,31 avec un indice de Pielou de 0,59, ce qui témoigne d'une diversité biologique élevée et d'une bonne répartition des espèces au sein des taxons. La Pierre du Jas présente une diversité minimale en rapport aux autres sites avec  $H' = 3,32$  et  $J' = 0,55$ . Les sites de la Pierre à Christian, Pierre à Charlie, Cougousset et Pierre Athéna ont des diversités maximales (respectivement  $H' = 4,22$ , 4,38, 3,97 et 4,05) avec une proportion élevée de taxons (respectivement  $J' = 0,67$ , 0,67, 0,66 et 0,64). Enfin aux sites de la Plate aux Mérours et de la Merveilleuse, ces valeurs sont intermédiaires (respectivement  $H' = 3,59$  et 3,74 et  $J' = 0,57$  et 0,60).

On peut donc voir tout d'abord la situation particulière de la Pierre du Jas et, à l'opposé, un groupe de deux fois deux sites : Pierre à Charlie, Pierre à Christian et Pierre Athéna, Cougousset et enfin l'association Plate aux Mérours et Merveilleuse.

### E.6.4. Synthèse

Les sites étudiés, à l'exception de Cougousset, présentent un faciès à gorgones pourpres très développé. De fortes densités y sont observées. Quatre groupes de sites se démarquent : (1) Pierre à Charlie et Pierre à Christian où les densités sont très élevées ; (2) Pierre du Jas, Merveilleuse et Plate aux Mérours où les densités restent élevées ; (3) Pierre Athéna où la

densité est minime ; (4) Cougousset où nous avons recensé une seule colonie. L'étude de la structure de taille de ces populations nous indique une forte présence de colonies de petites tailles, ce qui atteste d'une bonne activité de recrutement. A ce titre, nous avons pu observer des pontes de gorgones au cours de nos plongées (fig. 98). Seul le site de Pierre Athéna abrite de nombreuses de colonies de grandes tailles, reflet du maintien des anciennes colonies. Les relevés des marques de nécrose sur les différentes colonies reflètent un bon état écologique, une très grande majorité étant saine de toute nécrose. Seul 3% des colonies observées étaient nécrosées en totalité. Ce sont les classes de taille moyennes qui sont le plus affectées par des nécroses. D'ailleurs ces marques sont toutes colonisées par divers organismes, ce qui témoigne d'une date d'impact suffisamment lointaine pour que la colonisation et la succession écologique se soient établies. Ces marques de nécrose peuvent être causées par des impacts dus aux fils et filets de pêche (nous en avons observé à plusieurs reprises lors de nos campagnes de terrain), aux coups de palmes des plongeurs ou bien aux récents épisodes de mortalités massives. Pour ce dernier point, la zone des Embiez n'a pas fait l'objet de suivi lors des deux épisodes de 1999 et de 2003, on ne peut donc ni évaluer correctement cet impact à long terme, ni apprécier la récupération des différentes populations de *P. clavata*. Les colonies de gorgones pourpres sont tout de même affectées par la fréquentation des plongeurs et des pêcheurs comme en témoigne les colonies arrachées. Le site de Pierre Athéna (site non exploité par les clubs de plongée et quasiment pas pêché du fait de la pauvreté en poissons) est le seul où nous n'avons pas noté la présence de ces colonies arrachées.



**Figure 98** – Ponte d'une colonie de gorgone pourpre *Paramuricea clavata* (Photographie © T. Rauby).

Sur l'ensemble des sites, à l'exception de Cougousset, nous avons observé nettement moins de colonies d'*Eunicella cavolinii* que de colonies de *Paramuricea clavata*. Trois groupes de sites se distinguent : (1) Cougousset qui présente un faciès à gorgones jaunes très développé ; (2) Merveilleuse où la densité reste élevée ; (3) Pierre du Jas, Plate aux Mérous, Pierre à Christian, Pierre à Charlie et Pierre Athéna où les densités sont faibles. La structure de taille bimodale, correspondant d'une part aux petites tailles et d'autre part aux grandes tailles, témoigne d'un récent et important recrutement de colonies dans les populations et d'un maintien des colonies les plus âgées. La forte proportion de colonies saines de toutes marques de nécroses confirme le bon état écologique de ces populations. Les forts taux de nécrose observés à la Plate aux Mérous peuvent être associés à la fréquentation du site par les plongeurs (site très réputé pour la présence de mérous) ou par l'abrasion par des filets de pêche. La présence de colonies arrachées confirme l'impact anthropique sur ces sites.

Le bryzoaire *Pentapora fascialis* est très sensible aux abrasions causées par une sur fréquentation du site, c'est un excellent bio indicateur comme l'ont montré plusieurs auteurs (Sala *et al.*, 1996 ; Garrabou *et al.*, 1998 ; Francour et Koukouras, 2000). Pourtant, on constate que les sites où les densités sont les plus élevées sont les plus fréquentés. Les sites comme Pierre à Charlie, Cougousset ou Pierre Athéna ne sont pas ou très peu fréquentés, pourtant les densités y sont faibles. Les quelques colonies observées l'ont été sur le coralligène de paroi, ce qui traduit bien une absence d'abrasion causée par les plongeurs et les filets de pêche.

L'étude de la structure de taille des colonies nous révèle que les colonies sont relativement de petites tailles. Deux tendances se dessinent. Tout d'abord, on note l'influence de l'orientation. Les colonies de *P. fascialis* sont moins nombreuses et surtout plus petites sur le coralligène de plateau que de paroi. Effectivement, et même si on les observe surtout sur des surfaces planes, les effets des abrasions sur les colonies se font davantage sentir sur le coralligène de plateau. Aussi, sur le coralligène de paroi, où les colonies sont mieux abritées et protégées, elles sont plus nombreuses et ont un plus gros volume. En outre, on observe davantage de colonies fixées en épibiontes sur le coralligène de paroi. La deuxième tendance provient de l'influence des sites. On remarque qu'aux sites non fréquentés, les colonies sont plus grandes. D'ailleurs à Cougousset et Pierre Athéna, on ne les observe que sur le coralligène de plateau, potentiellement plus exposés aux abrasions.

Le site de la Plate aux Mérous est particulier dans le sens où la densité est faible et les colonies préférentiellement abritées dans des surplombs ou au pied des gorgones pourpres. Ce site est un des grands spots de plongée aux Embiez ce qui peut expliquer la faible densité et le faible niveau d'exposition observés.

Le spongiaire *Axinella polypoïdes*, protégé par des conventions internationales, est présent sur quelques uns des sites étudiés autour de l'archipel des Embiez. Les densités sont relativement peu élevées. Les individus sont essentiellement localisés sur le coralligène de plateau et ont des tailles moyennes.

L'analyse des photo-quadrats révèle une prédominance des algues corallines constructrices *Pseudolithophyllum*, *Mesophyllum* et *Peyssonnelia* (*Pseudolithophyllum cabiochae*, *P. expansum*, *Mesophyllum lichenoides*, *Peyssonnelia squamarina* et *Peyssonnelia rosa-marina*) avec de forts taux de recouvrement aux sites de la Pierre du Jas et de Cougousset. Ce dernier présente également de forts taux de recouvrement d'algues brunes tels *Dictyopteris membranacea* et *Zanardinia prototypus*. D'importants faciès à *Halimeda tuna* – *Udotea petiolata* ont été observés et mis en évidence par l'analyse des photo-quadrats aux sites de Cougousset et de Pierre Athéna. Par contre, le taux de recouvrement algal est moyen aux sites de la Merveilleuse et de la Plate aux Mérous et minimal aux sites de la Pierre à Charlie et Pierre à Christian. Ces résultats et observations vont de pair avec la prédominance et le fort taux de recouvrement de la faune sessile dans ces derniers sites. Les éponges et bryozoaires sont majoritairement observés à Pierre à Christian et Pierre à Charlie, tandis qu'à Pierre Athéna, on observe davantage de cnidaires et d'hydrozoaires. A Cougousset les espèces faunistiques ont été peu observées à travers nos photo-quadrats. Ceci s'explique par la dominance des algues sur ce site. Enfin sur les sites de la Plate aux Mérous et de la Merveilleuse, les taux de recouvrement de la faune sont intermédiaires.

Le calcul des indices de diversité met en évidence trois groupes de sites : (1) Pierre du Jas où la diversité est la plus basse ; (2) Plate aux Mérous et Merveilleuse où elle est moyenne ; (3) Pierre à Christian, Pierre à Charlie, Cougousset et Pierre Athéna où elle est maximale. Ces résultats cohérents avec la fréquentation des sites puisque Pierre du Jas, Plate aux Mérous et Merveilleuse sont exploités par les clubs de plongée, les pêcheurs et les chasseurs. Pierre à Christian est exploité par les clubs plus rarement compte tenu des importantes profondeurs (jusqu'à -50 m), ce qui demande une grande expérience de la part du plongeur. Enfin Pierre à Charlie, Cougousset et Pierre Athéna ne sont pas exploités par les clubs, mais à noter qu'ils le sont par les pêcheurs.

L'analyse de ces différents paramètres nous permet de diagnostiquer un bon état écologique du coralligène autour de l'archipel des Embiez. Toutefois, il convient de surveiller attentivement cet habitat d'éventuels épisodes de mortalité massive ou encore de la prolifération d'espèces invasives (*Caulerpa racemosa*, *Womersleyella setacea*).

## E.7. GROTTES SEMI-OBSCURES (8330-3)

Une série de sept sites a été prospectée en janvier 2008. Il s'agit des Basses Moulinières, du sec des Magnons, des grottes des Magnons, de Basse Reinette, de la Pierre à baptême, du Petit Rouveau et de la Sèche de Guénaud. Ces sites sont connus pour abriter des biocénoses de l'habitat Grottes semi-obscur (833063), essentiellement sous forme de tombants et dans quelques cas de voûtes ou de petites grottes. Ces sites sont exploités par les clubs de plongée de la région, les apnéistes, les chasseurs et les pêcheurs. Concernant l'habitat des grottes obscures (8330-4), il se limite à des petites cavités inféodées à l'habitat coralligène (1170-14). Les vraies grottes ou tunnels sont absents du site.

### E.7.1. Description des sept sites prospectés

- Les Basses Moulinières

Ce site est situé au sud-ouest des rochers des Magnons et il est très exploité par les clubs de plongée de la région. Les Basses Moulinières sont reconnaissables par ses deux canyons qui sont orientés nord-sud. La profondeur minimale du site est de 12 m et la profondeur maximale de 20 m.

Le premier Canyon, situé côté Embiez, est très étendu puisqu'il fait une longueur de près de 48 m et a une superficie estimée de 190 m<sup>2</sup>. La partie supérieure du canyon est constituée d'un faciès à hydraires, caractéristique des faciès d'appauvrissement liés à un hydrodynamisme plus intense, mais est également très colonisée par des clavelines. La partie inférieure du canyon est constituée tout d'abord d'un faciès à *Sertella septentrionalis* à son entrée puis d'un faciès à *Parazoanthus axinellae* dans sa partie sud. Le long de ce canyon, on observe quelques colonies d'*Eunicella cavolinii*, seulement deux colonies de *Paramuricea clavata*, des polypes de *Caryophyllia smithii* dans les parties les plus obscures, de nombreuses espèces de spongiaires comme *Crambe crambe*, *Spirastrella cunctatrix*, *Phorbas tenacior*, *Reniera cratera*, *Clathrina clathrus* ou *Chondrosia reniformis* en stade de bourgeonnement. On note également des bryozoaires tels *Myriapora truncata*, *Cellepora pumicosa*, *Pentapora fascialis* dont le diamètre peut mesurer 12 – 13 cm et des ascidies comme *Halocynthia papillosa*. Des algues comme *Udotea petiolata*, *Peyssonnelia*, *Pseudolithophyllum* ou *Mesophyllum* tapissent aussi ce canyon.

Le deuxième canyon, situé côté large, est également très étendu puisqu'il mesure 47 m de long et a une superficie de près de 200 m<sup>2</sup>. A l'entrée de ce canyon et sur toute la première moitié on note un faciès à hydraires, puis dans la deuxième moitié, un faciès à *P. axinellae*. Contrairement au premier canyon, celui-ci est très peu colonisé par des colonies d'*E. cavolinii*. En revanche, on note davantage de colonies de *P. clavata* que précédemment. Ce canyon abrite de nombreuses espèces de spongiaires comme *C. crambe*, *C. clathrus*, *R. cratera*, *A. acuta*, le bryzoaire *P. fascialis* à la fois fixé sur le substrat et au niveau des pieds de *P. clavata* et des ascidies tels *Clavelina* ou *Diazona violacea*. Dans les parties les plus obscures, on note la présence de *Leptopsammia pruvoti* et d'une densité élevée de *P. clavata*.

Entre ces deux canyons, on observe une succession de trois tombants exposés nord et d'une superficie de l'ordre de 90 m<sup>2</sup>. Le faciès dominant de ces tombants est à *P. axinellae*. On note la présence de spongiaires comme *C. crambe*, *C. clathrus*, *Clathrina coriacea*, *Axinella verrucosa*, *Cacospongia scalaris*, de madrépores solitaires tels *L. pruvoti* et *C. smithii*, et très peu de colonies d'*E. cavolinii* et de *P. clavata*. Par contre, nous avons recensé deux colonies de *Lophogorgia ceratophyta*.

Au cours de nos plongées du 24 et 25 janvier 2008, nous avons pu observer un loup (*Dicentrarchus labrax*), deux mérous vraisemblablement femelle (*Epinephelus marginatus*), des murènes (*Muraena helena*), des apogons (*Apogon imberbis*), des anthias (*Anthias anthias*), de nombreux poissons demoiselles (*Chromis chromis*) et girelles (*Coris julis*), des sars (*Diplodus vulgaris* et *D. sargus*), des labres (*Labrus viridis*, *Symphodus ocellatus*, *S. mediterraneus*) et des serrans (*Serranus cabrilla*, *S. scriba*). Nous avons pu également voir une araignée de mer

(*Maja squinado*). Des bancs importants de bécunes (*Sphyræna sp.*) sont aussi mentionnés (obs. pers.).

- Sec des Magnons

Ce site est situé au niveau de la balise cardinale des Magnons. Ce site est à la fois fréquenté par les plongeurs, les pêcheurs et les chasseurs. Il est matérialisé par une bouée d'amarrage mise en place dans le cadre du programme SUBMED. Ce site est formé par de nombreux éboulis rocheux. La profondeur minimale du site est de 6m et la profondeur maximale de 20 m.

Une voûte peu profonde et d'une superficie de l'ordre de 20 m<sup>2</sup> a été localisée sur ce site. Elle est exposée à l'ouest et présente un faciès dominant à *Leptopsammia pruvoti* et *Agelas oroides*. On note la présence d'*Eunicella cavolinii* et de Clavelines à l'entrée de la voûte, et au plafond de celle-ci des spongiaires (*Clathrina clathrus*, *Crambe crambe*, *Chondrosia reniformis*, *Reniera cratera*) et des bryozoaires encroûtants (*Schizoporella*, *Cellepora pumicosa*).

Nous avons observé deux tombants. Le premier est exposé à l'ouest et a une faible superficie, de l'ordre de 6 m<sup>2</sup>. Ce tombant se situe face à une plaine de sable. Dans la partie supérieure, le faciès dominant est à hydraires tandis que dans la partie inférieure, le faciès dominant est à *Parazoanthus axinellae*. Sur ce tombant, nous avons noté la présence d'*E. cavolinii* et de *Paramuricea clavata*, de spongiaires comme *C. crambe*, *Clathrina clathrus*, *C. reniformis*, *R. cratera* ou *Cacospongia scalaris*, des ascidies tels *Clavelina* et *Aplidium proliferum* et peu de colonies du bryozoaire *Pentapora fascialis*. Par contre, il nous a paru que la partie supérieure de ce tombant est plus diversifiée et les espèces plus abondantes comparativement à la partie inférieure. Le deuxième tombant est quant à lui exposé nord et est beaucoup plus étendu puisqu'il a une superficie estimée de 56 m<sup>2</sup>. Le faciès dominant est à la fois à *P. axinellae* et à hydraires. On y observe des colonies d'*E. cavolinii* et de *P. clavata*, les spongiaires *C. crambe* et *C. reniformis* de très nombreuses ascidies clavelines et des colonies d'*A. proliferum*. Nous avons pu noter la présence de *P. fascialis* aussi bien directement fixé sur le substrat qu'au niveau des pieds de *P. clavata*. A noter que ces colonies ont un diamètre élevé puisqu'il peut atteindre près de 40 cm pour certaines d'entre elles.

Une série de plusieurs tombants a aussi été observé, ils correspondent aux nombreux éboulis rocheux présents sur le site. Ces tombants sont de petites tailles puisqu'ils ont une superficie de l'ordre de 6 à 8 m<sup>2</sup>. Les tombants, qu'ils soient exposés à l'est ou au nord, ont un faciès dominant à *P. axinellae*. Ils sont colonisés par des gorgones (*E. cavolinii* et *Paramuricea clavata*), des spongiaires (*C. crambe*, *C. reniformis*, *R. cratera*, *Oscarella lobularis*) et des bryozoaires (*Schizoporella*, *C. pumicosa*, *Sertella septentrionalis*, *P. fascialis*). Comme sur le tombant nord étudié sur ce site, les colonies de *P. fascialis* ont un diamètre élevé et sont fixées directement sur le substrat ou au niveau des pieds de *P. clavata*.

Sur le plan ichtyologique, nous avons observé la faune habituelle de cet habitat c'est-à-dire apogons (*Apogon imberbis*), anthias (*Anthias anthias*), poissons demoiselles (*Chromis chromis*), murènes (*Muraena helena*), labres (*Labrus viridis*, *Symphodus ocellatus*, *S. mediterraneus*), serrans (*Serranus cabrilla*, *S. scriba*) et sars (*Diplodus vulgaris* et *D. sargus*). Des poulpes (*Octopus vulgaris*) peuvent être également vus.

- Grottes des Magnons

Ce site est situé au nord des Magnons au niveau des derniers rochers. Ce site est fréquenté à la fois par les plongeurs, les apnéistes, les pêcheurs et les chasseurs. Une bouée d'amarrage du programme SUBMED matérialise le site. Le site est célèbre sur l'archipel des Embiez car il a la particularité d'abriter des grottes, qui ne sont pas de véritables grottes obscures (8330-4) mais plutôt des grottes semi-obscures (8330-3) du fait de leur petite dimension. La profondeur minimale du site est de 6m et la profondeur maximale de 15 m.

Une succession de trois grottes a été localisée : la première est exposée nord ; la deuxième, sur la droite, est exposée est ; la troisième, à côté de la précédente, est également exposée

est. Ces trois grottes sont de petite taille puisqu'elles ont un volume compris entre 20 et 40 m<sup>3</sup>. Elles ont toutes un faciès dominant à *Leptopsammi pruvoti* et *Agelas oroides*. A l'entrée des grottes, on note la présence de quelques colonies d'*Eunicella cavolinii* et d'hydriaires. Le plafond des grottes est fortement colonisé par des spongiaires comme *Crambe crambe*, *Chondrosia reniformis*, *Petrosia ficiformis*, *Oscarella lobularis*, *Phorbas tenacior*, et au fond des grottes, on observe la présence d'*Aplysina cavernicola*. Les plafonds sont également colonisés par d'autres madrépores solitaires *Caryophyllia smithii*, des bryozoaires et notamment le faux corail *Myriapora truncata* et des ascidies comme *Clavelina* et *Diazona violacea*.

Face à la première grotte, nous avons localisé un tombant de près de 30 m<sup>2</sup>, exposé sud. Le faciès dominant est à *Parazoanthus axinellae*. On y mentionne des colonies de gorgones jaunes et pourpres (*E. cavolinii*, *Paramuricea clavata*), des spongiaires (*C. crambe*, *C. reniformis*, *Cacospongia scalaris*), des ascidies (*D. violacea*) et de nombreux serpulidés *Salmacina* en épiphytes sur les colonies de *P. clavata*.

En allant un peu plus vers l'ouest, nous avons localisé deux failles parallèles abritant deux tombants exposés nord. Le premier tombant, le plus au nord, a une superficie estimée de 10 m<sup>2</sup>. Le haut de ce tombant présente un faciès dominant à hydriaires tandis que la partie basse un faciès à *P. axinellae*. On peut y voir des colonies d'*E. cavolinii* et de *P. clavata*. Ces dernières ont souvent le serpulidé *Salmacina* en épiphyte. En outre, on y voit les spongiaires *C. scalaris*, *P. tenacior*, le madrépore *L. pruvoti*, les bryozoaires *Smittina cervicornis* et *Pentapora fascialis*, ainsi que l'ascidie *D. violacea*. Le deuxième tombant est légèrement plus étendu puisqu'il a une superficie de l'ordre de 15 m<sup>2</sup>. Le faciès dominant est identique au précédent. Par contre, on y rencontre peu de colonies de *P. clavata*, mais les spongiaires *C. crambe*, *Axinella damicornis*, *C. reniformis* ou *C. scalaris* y sont abondants.

Ce site n'abrite pas beaucoup de poissons, aussi bien en abondance, qu'en diversité ou qu'en classe de taille. Nous y avons croisé des poissons demoiselles (*Chromis chromis*), des labres (*Labrus viridis*, *Symphodus mediterraneus*), des serrans (*Serranus cabrilla*, *S. scriba*) et quelques sars (*Diplodus vulgaris* et *D. sargus*). Par contre, ce site est célèbre car on peut y observer des petites cigales de mer (*Scyllarus arctus*). Enfin, nous avons été frappés par l'abondance d'oursins *Paracentrotus lividus*.

- Basse reinette

Ce site est situé au nord de l'île du Grand Rouveau. Il est exploité par les clubs de plongée de la région et les pêcheurs (présence de lignes de pêche). Le site est balisé par une bouée d'amarrage du programme SUBMED. Le site de Basse Reinette présente des tombants verticaux exposés à l'est et des surplombs. Le haut des tombants est à 8 m de profondeur, on y trouve de l'herbier de roche. La profondeur maximale du site est à 17 m. Au pied des tombants, entre -15 m et -17 m, on trouve de nombreux éboulis rocheux, puis une plaine de sable et un herbier de posidonie.

On observe deux tombants verticaux orientés nord-sud. Le premier tombant, exposé sud-est, a une superficie estimée de 20 m<sup>2</sup>. Le faciès dominant est à *Parazoanthus axinellae*. On y observe des colonies de gorgone jaune *Eunicella cavolinii*, les spongiaires *Crambe crambe*, *Spirastrella cunctatrix*, *Cacospongia scalaris* ou encore *Chondrosia reniformis*. Le deuxième tombant, exposé nord-est, a une superficie de l'ordre de 17 m<sup>2</sup>. Le faciès dominant est à hydriaires. On y trouve des colonies d'*E. cavolinii* dont un bon nombre (à peu près 1/3) sont colonisées par des spongiaires et autres algues calcaires, à hauteur de 75% à 100% de la colonie. Par contre, aucune colonie présentant des squelettes nus n'a été observée. Ce phénomène traduit d'un épisode de mortalité datant de quelques années, puisque les successions écologiques semblent bien établies. Ce tombant est également colonisé par des algues calcaires comme *Pseudolithophyllum sp.*, des spongiaires tels *C. crambe*, *S. cunctatrix*, *Phorbas tenacior* et par le bryzoaire *Myriapora truncata*. Une colonie du madrépore *Cladocora caespitosa* a également été observée.

Les surplombs des éboulis rocheux sont localisés au pied des deux tombants décrits précédemment. Ils ont une faible superficie, de l'ordre de 5 à 6 m<sup>2</sup>. Les surplombs exposés à

l'est présentent un faciès à hydraires dans la partie la plus éclairée, et dans la partie plus obscure, un faciès à *Leptopsammia pruvoti* et *Agelas oroides*. On y a également noté de nombreuses colonies d'*E. cavolinii* colonisées, la présence des algues *Pseudolithophyllum* et *Peyssonnelia*, les spongiaires *C. crambe*, *S. cunctatrix*, *P. tenacior*, le madrépore *Caryophyllia inornata*, les bryozoaires *Cellepora pumicosa* et *Schizoporella*. Les surplombs exposés à l'ouest présentent, dans la partie extérieure, un faciès à hydraires et dans la partie intérieure un faciès à *P. axinellae*. Les colonies d'*E. cavolinii* sont beaucoup plus saines que celles observées précédemment. Très peu d'entre elles portaient des marques de colonisation. Sur ce surplomb exposé ouest, un taux de recouvrement élevé par *Halimeda tuna* a été noté, principalement dans la partie externe du surplomb. En outre, nous avons noté la présence de tapis du spongiaire *C. crambe*.

Ce site abrite une faune ichtyologique variée. Nous pouvons y observer des poissons demoiselles (*Chromis chromis*), des apogons (*Apogon imberbis*), des murènes (*Muraena helena*), des labres (*Labrus viridis*, *Symphodus ocellatus*, *S. mediterraneus*), des serrans (*Serranus cabrilla*, *S. scriba*), des sars (*Diplodus vulgaris* et *D. sargus*), des blennies (*Parablennius sp.*) ou encore des girelles (*Coris julis*). Au cours de notre plongée du 23 janvier 2008, nous avons pu observer trois bécunes (*Sphyaena sp.*) en train de chasser dans un banc de bogues (*Boops boops*). Ceci témoigne de l'installation à l'année de cette espèce, qui, il y a peu de temps était rarement observée et uniquement durant la période estivale. Le site abrite également des mollusques céphalopodes comme le poulpe (*Octopus vulgaris*) ou la seiche (*Sepia officinalis*).

- Pierre à baptême

Cette pierre est située à l'ouest du Petit Rouveau. Ce site est exploité par quelques clubs de plongée pour y effectuer des baptêmes, mais également par les apnéistes, les chasseurs et les pêcheurs. Le site est constitué d'une pierre ceinturée d'un herbier de posidonie. La profondeur minimale est de 3 m et la profondeur maximale de 13 m.

Au sud de cette pierre, nous avons localisé un tombant de près de 80 m<sup>2</sup> exposé sud. Celui-ci, très étendu dans sa longueur (environ 16 m) présente un faciès dominant à *Parazoanthus axinellae*. Nous y avons recensé des colonies du cnidaire *Eunicella cavolinii*, de nombreuses espèces de spongiaires (*Crambe crambe*, *Chondrosia reniformis*, *Cacospongia scalaris*, *Reniera cratera*, *Phorbis tenacior*), l'algue *Codium bursa* uniquement dans la partie supérieure du tombant, des bryozoaires (*Sertella septentrionalis*, *Schizoporella* ou *Cellepora pumicosa*) et le madrépore *Cladocora caespitosa*.

En contournant cette pierre, nous avons pu localiser trois voûtes sur la face nord. Ces voûtes sont de petites tailles, puisqu'elles ont une superficie à l'entrée de l'ordre de 5 m<sup>2</sup> et une profondeur de 1 à 2 m. La voûte centrale, qui est aussi la plus étroite et la plus profonde, a un faciès dominant à *Leptopsammia pruvoti* et *Agelas oroides*. Les deux autres présentent un faciès à *P. axinellae*. A l'entrée de ces voûtes, on observe des colonies d'*E. cavolinii* et de nombreuses espèces d'hydraires. Les parois des voûtes sont colonisées par de nombreux spongiaires tels *C. crambe*, *C. scalaris*, *C. reniformis* et *Clathrina clathrus*, des bryozoaires et notamment le faux corail *Myriapora truncata*, des serpulidés comme *Salmacina* et par le madrépore *Caryophyllia smithii*. De plus, nous avons pu constater un fort taux de recouvrement de l'algue calcaire *Peyssonnelia rubra*.

A l'est de ces voûtes, nous avons localisé deux tombants. Le premier, exposé à l'ouest présente un faciès à *P. axinellae*, et le second, exposé au nord, a un faciès dominant à hydraires. Le premier tombant a une superficie estimée à 30 m<sup>2</sup>, on y recense de nombreux spongiaires comme *C. scalaris*, *C. crambe*, *P. tenacior*, *R. cratera* ou *Axinella damicornis*, des bryozoaires encroûtants et des colonies d'*E. cavolinii*. Le second est nettement plus petit puisque sa superficie n'est que d'environ 4 m<sup>2</sup>. On y observe un tapis de *C. crambe* et *P. tenacior*, ainsi que quelques bryozoaires comme *M. truncata* et des ascidies comme *Aplidium proliferum*.

Au niveau ichtyologique, nous avons recensé toute la faune habituelle des sars, labres, serrans

et girelles. Des murènes et des congres ont également pu être observés dans les nombreuses anfractuosités.

- Petit Rouveau

A l'ouest du Petit Rouveau, se situent quelques éboulis rocheux souvent visités par les apnéistes, les chasseurs et les pêcheurs. Une série de petits tombants abritent l'habitat des grottes semi-obscurées (8330-3). La profondeur minimale n'est que de 2 m et la profondeur maximale n'excède pas 10 m.

Globalement ces tombants sont de petites tailles, de l'ordre de 3 à 6 m<sup>2</sup>. Toutefois, nous avons recensé un tombant dont la superficie a été estimée à 16 m<sup>2</sup>. Quelque soit leur exposition, le faciès dominant est à *Parazoanthus axinellae*. On y trouve de nombreux spongiaires comme *Crambe crambe*, *Cacospongia scalaris*, *Chondrosia reniformis*, *Phorbas tenacior*, *Hamigera hamigera*, *Clathrina coriacea*, *Reniera cratera* ou encore *Oscarella lobularis*. Ces tombants sont également colonisés par des bryozoaires tels *Schizoporella*, *Cellepora pumicosa* ou *Myriapora truncata* et le serpulidés *Salmacina*. Par contre, nous avons observé très peu de colonies de gorgone jaune *Eunicella cavolinii*. En outre, nous avons recensé une petite voûte d'environ 2,5 m<sup>2</sup> et d'une profondeur de l'ordre de 1 m. Le faciès dominant est à hydrides et les parois sont tapissées par les spongiaires *C. crambe* et *P. tenacior*. Nous avons également constaté la présence de nombreuses colonies du bryzoaire *M. truncata*.

- Sèche de Guénaud

Ce site est situé au sud-ouest de l'île des Embiez, face à la plage du Rix. La sèche de Guénaud est célèbre parmi les plongeurs et est très exploitée par les clubs de plongée de la région. Le site était matérialisé par une bouée d'amarrage du programme SUBMED. Le site est caractéristique puisqu'il est formé de deux "pains de sucre" qui remontent jusqu'à 6 m de profondeur. La profondeur maximale du site est de 20 m.

Le premier sec, situé côté île des Embiez, présente un tombant, exposé sud en allant vers l'ouest, d'une superficie estimée de 60 m<sup>2</sup>. Le faciès dominant est à *Parazoanthus axinellae* dans la partie supérieure et de surcroît la plus éclairée. Par contre, dans la partie inférieure du tombant et la plus obscure, le faciès dominant est à *Leptopsammia pruvoti*. Le long de ce tombant, on note la présence de colonies d'*Eunicella cavolinii* et de quelques colonies de *Paramuricea clavata*. Dans la partie supérieure du tombant, on observe les algues *Halimeda tuna* et *Udotea petiolata* ; puis, dans la partie inférieure, la présence d'algues calcaires encroûtantes comme *Pseudolithophyllum*, *Peyssonnelia* et *Mesophyllum*. Le tombant est colonisé par les spongiaires *Crambe crambe*, *Phorbas tenacior*, *Reniera cratera*, *Acanthella acuta*, *Cacospongia scalaris* ou encore *Clathrina clathrus*. On y a également noté la présence de bryozoaires tels *Sertella septentrionalis*, *Pentapora fascialis*, *Schizoporella* ou *Cellepora pumicosa*, mais aussi des ascidies comme *Clavelina* et de nombreuses colonies de *Diazona violacea* mais uniquement dans la partie obscure du tombant. Sur ce sec, nous avons pu observer deux comatules (*Antedon mediterranea*) et de nombreux nudibranches.

Le deuxième sec, situé côté large, présente un tombant également exposé sud en allant vers l'ouest. Celui-ci a une superficie de l'ordre 96 m<sup>2</sup>. Le faciès dominant est à *P. axinellae*, et dans la partie supérieure de la zone la plus à l'ouest du tombant, on note un faciès à hydrides. On peut observer des colonies d'*E. cavolinii* et quelques colonies de *P. clavata* dont quelques unes avaient une hauteur de l'ordre de 5 cm. Le tombant est fortement colonisé par des spongiaires comme *C. crambe*, *R. cratera*, *P. tenacior*, *A. acuta*, *Chondrosia reniformis* et par des ascidies comme *Clavelina* et *D. violacea*. Le bryzoaire *P. fascialis* est également présent, bien souvent directement fixé sur le substrat. Dans les cavités, on observe les madrépores *L. pruvoti* et *Caryophyllia smithii*. D'ailleurs, dans l'une d'entre elles, nous avons pu voir une ponte de seiche. Sur ce tombant, nous avons remarqué une colonie de gorgone blanche *Eunicella singularis*, ce qui est très rare autour des Embiez.

La sèche de Guénaud est également connue pour sa faune ichtyologique, puisqu'on peut y admirer des mérours *Epinephelus marginatus* et des sars tambours *Diplodus cervinus*. En outre, on peut voir des dorades grises (*Spondyliosoma cantharus*), des sars (*Diplodus vulgaris* et *D. sargus*), des labres (*Labrus viridis*, *Symphodus ocellatus*, *S. mediterraneus*), des serrans (*Serranus cabrilla*, *S. scriba*), des murènes (*Muraena helena*), des congres (*Conger conger*) et de nombreuses girelles (*Coris julis*, *Thalassoma pavo*). Des mollusques céphalopodes comme le poulpe (*Octopus vulgaris*) ou la seiche (*Sepia officinalis*) peuvent être observés.

### E.7.2. Synthèse

Les différents sites prospectés sont relativement en bon état. Dans la grande majorité de nos observations, nous avons noté la dominance de deux faciès principaux : faciès à *Parazoanthus axinellae* et faciès à hydraires. De plus, nous avons pu apprécier une diversité biologique et une densité élevée, notamment pour les spongiaires (*Crambe crambe*, *Chondrosia reniformis*, *Cacospongia scalaris*, *Phorbos tenacior*, *Reniera cratera*, *Acanthella acuta*, *Clathrina clathrus*...), les bryozoaires (*Sertella septentrionalis*, *Pentapora fascialis*, *Schizoporella* ou *Cellepora pumicosa*) et les ascidies (*Clavelina*, *Diazona violacea*). Par ailleurs, le bryzoaire *P. fascialis*, connu pour être un indicateur de l'impact de la plongée, a souvent été observé au niveau des pieds des gorgones, c'est-à-dire dans des zones abritées. Sur le site du sec des Magnons, nous avons été frappés par le diamètre des colonies pouvant atteindre 40 cm. Ce site a la particularité d'être relativement étendu, les impacts notamment induits par les plongeurs sont davantage "dilués" comparé à d'autres sites. Concernant les cnidaires, nous avons recensé majoritairement des colonies d'*Eunicella cavolinii*, dans certains sites notamment les plus profonds, des colonies de *Paramuricea clavata*, et une seule colonie d'*Eunicella singularis* sur le site de la sèche de Guénaud. Cette espèce est très peu présente à travers l'archipel des Embiez. A noter que nous avons observé deux colonies de *Lophogorgia ceratophyta* sur le site des Basses Moulinières mais aucune colonie de corail rouge *Corallium rubrum*. Dans les zones les plus obscures, nous avons noté la présence des madrépores *Leptopsammia pruvoti* et *Caryophyllia smithii* et sur deux sites une colonie de *Cladocora caespitosa*. Malgré tout, il s'agit de sites exploités par diverses activités de loisirs comme la plongée subaquatique, l'apnée, la chasse ou la pêche. Aussi, des traces d'impacts peuvent être mentionnées. La majorité de ces sites est matérialisée par des bouées d'amarrage qui permettent de limiter l'impact des ancres des bateaux. Cependant, certains sites en sont dépourvus, ce qui accentue l'impact anthropique. Durant la période estivale, lorsque les pressions anthropiques sont les plus denses, nous avons noté la présence de fragments de colonies de gorgones sectionnés ou arrachés, de lignes de pêche ou de palangres. La visite par les plongeurs peut accentuer la remise en suspension du sédiment, notamment chez les débutants, et l'accumulation de bulles d'air sur le sommet des voûtes et des grottes, ce qui contribue à l'asphyxie de la faune benthique. De plus, sur le site des Grottes de Magnons, nous avons constaté que les bulles relâchées dans les cavités traversent le sommet de celles-ci et s'échappent à travers l'herbier de posidonie localisé sur le dessus. Ceci nous renseigne sur la porosité de la roche et nous alerte sur sa fragilité et les risques, à terme, d'un éventuel effondrement.

**E.8. SYNTHÈSE DE L'ÉTAT ÉCOLOGIQUE**

La grille de repère est présentée au chapitre D3.

Habitat	Code	Statut	Représentativité	Valeur patrimoniale	Degré de conservation de la structure	Perspectives de conservation	Possibilités de restauration	Statut de conservation	Dynamique	Evaluation globale
Herbier de posidonie	1120*	HP	A	A	SII	PII	RIII	B	D	B-
Lagunes méditerranéennes	1150-2*	HP	C	A	SIII	PIII	RII	C	E	C
Sables grossiers et fins graviers sous influence de courant de fond	1110-7	HIC	B	A	SII	PIII	RIII	C	F	C
Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues	1110-8	HIC	D	D	SI			A	F	A
Galets infralittoraux	1110-9	HIC	D	D	SI			A	F	A
Sédiments détritiques médiolittoraux	1140-10	HIC	B	B	SII	PII		B	B	B
Sables vaseux de mode calme	1160-3	HIC	B	B	SII	PIII	RII	C	D	B
Roche médiolittorale inférieure	1170-12	HIC	A	A	SI	PI		A	B	A
Roche infralittorale à algues photophiles	1170-13	HIC	A	A	SI	PI		A	B	A
Coralligène	1170-14	HIC	B	A	SII	PII		B	B/E	B
Biocénoses des grottes semi-obscurcs	8330-3	HIC	B	A	SII	PII		B	C	B

## F. RECOMMANDATIONS ET PROPOSITIONS DE MESURES DE PROTECTION ET DE GESTION

### F.1. HERBIER A POSIDONIE (1120\*)

A l'instar des côtes de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, l'archipel des Embiez est extrêmement convoité par les vacanciers et notamment les plaisanciers durant la période estivale. Lors des grands week end d'affluence, on peut compter jusqu'à 260 bateaux ancrés sur l'ensemble du périmètre du site Natura 2000 FR 9302001 "Lagune du Brusç". L'impact des mouillages forains sur les fonds, et les herbiers de phanérogames en particulier, reste difficile à mesurer du fait de la multitude de paramètres influençant (spécificité du site, durée de fréquentation, effets indirects de l'accumulation de macrodéchets, ou de la pollution apportée par les détergents, les hydrocarbures, les peintures antissalissures et les rejets d'eaux usées) (Porcher, 1984). Néanmoins, les actions érosives des ancres sont bien visibles dans les zones de mouillage. Plusieurs études, notamment menées sur le territoire du Parc national de Port-Cros, ont montré l'impact négatif des ancres des bateaux sur l'état écologique des herbiers de posidonie (Robert, 1983 ; Jeudy de Grissac, 1984 ; Porcher, 1984 ; Francour, 1994 ; Boudouresque *et al.*, 1995 ; Francour *et al.*, 1997 ; Francour *et al.*, 1999 ; Milazzo *et al.*, 2004 ; Ganteaume *et al.*, 2005). Afin d'améliorer l'état écologique de l'herbier et de limiter ces impacts, il apparaît important de **réguler, aménager et gérer durablement des zones de mouillages avec la possibilité d'installer des bouées à cet effet durant la belle saison**. En outre, il conviendrait **d'étudier et d'estimer l'impact du mouillage forain autour de l'archipel des Embiez**, comme cela a été fait à Port-Cros, **afin d'aménager la zone de façon judicieuse et raisonnée**. Il conviendra évidemment de débattre de ce problème lors des réunions des groupes de travail prévues par l'opérateur avec les acteurs concernés (administration maritime, municipalité, plaisanciers, pêcheurs, S.A. P. Ricard,...).

L'herbier de posidonie est considéré comme l'écosystème pivot de Méditerranée du fait de son important rôle écologique (production primaire élevée, forte biodiversité, rôle de frayères et de nurseries, haute valeur patrimoniale). Mais au cours des dernières décennies, on note une régression quasi-généralisée des herbiers de posidonie sur l'ensemble du littoral de Méditerranée nord occidentale. Les aménagements littoraux, les rejets urbains et industriels, l'eutrophisation ou la turbidité affectent de façon négative l'équilibre des herbiers de posidonie. De plus la proximité des ports des Embiez et du Brusç ainsi que du chantier naval des Embiez place l'herbier de posidonie sous l'influence des pollutions inhérentes aux activités de ces ports (travaux d'entretien, rejets de détergents, peintures antissalissures). Il est donc essentiel **d'étudier, d'analyser et de surveiller tout projet d'aménagement côtier. Les décisions prises devront être en conformité avec la stricte protection de cet habitat**. De plus, l'objectif doit être de supprimer ou tout du moins de **limiter toutes les sources de pollution afin d'assurer une bonne qualité des eaux en favorisant notamment les traitements des eaux usées et de ruissellement**. Il convient également d'aménager et de gérer des aires de carénage avec des normes écologiques.

L'algue invasive *Caulerpa racemosa* est présente sur d'importantes zones d'herbier de posidonie autour des Embiez. Nous l'avons observé sur les trois zooms de la limite inférieure de l'herbier de posidonie, soit jusqu'à une profondeur de -32 m. **Il est donc impératif de suivre attentivement son évolution en actualisant régulièrement les données cartographiques et mener des relevés morphométriques (hauteur des frondes, largeur des stolons, ....)**.

Cette étude est une première du genre sur la zone des Embiez, il faut donc **poursuivre les inventaires et actualiser régulièrement les données cartographiques et des paramètres écologiques**. Certains paramètres important à mesurer ne figuraient pas dans le dossier de consultation, pourtant ils apporteraient des informations supplémentaires pertinentes pour mieux évaluer l'état écologique (tab. XXV).

**Tableau XXV** – Liste des paramètres écologiques à mesurer pour approfondir les données concernant l'état écologique de l'herbier de *Posidonia oceanica* autour de l'archipel des Embiez.

Profondeur de la limite inférieure de l'herbier Type de limite inférieure Densité Taux de recouvrement % de rhizomes palgiotropes Déchaussement Compacité de la matte  Biométrie foliaire <ul style="list-style-type: none"> <li>- nb. feuilles/faisceau</li> <li>- longueur des feuilles adultes</li> <li>- surface foliaire/faisceau</li> <li>- indice foliaire (Leaf Area Index)</li> <li>- coefficient A (% de feuilles ayant perdu leur apex)</li> </ul> Biomasse en épiphytes Lepidochronologie Teneur en métaux lourds (Argent, Mercure, Cuivre, Plomb) des posidonies
---

Toutes ces actions devront être associées à des campagnes de **sensibilisation et d'éducation du public** de manière à le documenter et à l'informer sur l'écologie de cet habitat, sur les impacts érosifs causés par les ancrages des bateaux ainsi que des menaces des espèces de caulerpes invasives, *Caulerpa racemosa* sans oublier *C. taxifolia*.

## F.2. LAGUNES MEDITERRANEENNES (1150-2\*)

La lagune du Brusç est un environnement écologiquement riche et important. Outre les prairies de cymodocée et de zostère et le récif barrière de posidonie, véritable monument patrimonial, elle abrite de nombreuses espèces de crustacés, mollusques, poissons et oiseaux dont bon nombre sont protégées par des conventions internationales. Or depuis des décennies, et nous avons pu le constater lors de notre expertise, les prairies des différentes magnoliophytes présentes sur le site diminuent, voire même ont quasi disparu pour ce qui est de la prairie de zostère. Il est urgent d'avoir pour objectif de **tout mettre en œuvre pour la reconquête de ces espèces et à terme leur maintien dans la lagune du Brusç**.

La lagune du Brusç est un milieu sablo vaseux à faible hydrodynamisme et soumis aux ruissellements d'eau de pluie, aux suintements de nappe phréatique et à l'action anthropique. De plus, la proximité du port du Brusç place la lagune sous l'influence des pollutions inhérentes à l'activité du port (travaux d'entretien, rejets de détergents, peintures antissalissures). Il est donc indispensable de **limiter toute source de pollution, en favorisant notamment les traitements des eaux usées et de ruissellement, et de s'assurer par des analyses régulières (tant au plan chimique que microbiologique) de la bonne qualité des eaux**. Il convient également de gérer des aires de carénage avec des normes écologiques. A ce titre, nous avons observé la présence d'hydrocarbures le 29 août 2008.

La lagune est un milieu convoité par l'homme au travers de diverses activités socio-économiques qui y sont pratiquées. Les aménagements côtiers sont une menace pour cet habitat qu'il convient de réguler et surveiller. **Tout projet d'aménagement doit être impérativement accompagné par des études d'impact** intégrant une cartographie précise de manière à déterminer les zones adéquates. **Les décisions devront s'accommoder d'une stricte protection de cet habitat**.

La fréquentation touristique est une autre menace pour la lagune. Bien que le piétinement et la navigation des engins de plage et engins nautiques non immatriculés à l'exception de la pratique de la pirogue, du kayak et de l'aviron en sculls soient interdits par les **arrêté préfectoral n°3/2000 et arrêté municipal n°24143**, il convient de **renforcer la surveillance du respect de cette réglementation. Le balisage marin disposé au niveau du récif barrière nord**, empêchant l'accès à la lagune des bateaux, **devrait être placé davantage vers le nord de façon à protéger le récif barrière dans son ensemble** ainsi que l'avant récif (fig. 99). A plusieurs reprises, nous avons constaté la présence de bateaux ancrés dans le périmètre autorisé mais en plein sur le récif barrière. **Ce balisage devra être maintenu et réparé suite aux actes de vandalisme** (régulièrement commis).



**Figure 99** – Balisage marin matérialisant l'interdiction de naviguer dans la lagune du Brusç (AP n°3/2000 et AM n°24143) situé au milieu du récif barrière de *Posidonia oceanica* (Photographie © E. Rouanet).

De nombreux bateaux abandonnés, en très mauvais état, sont amarrés dans le port du Brusç, en particulier dans la zone allant vers le Gaou. Ces bateaux sont source de pollution par hydrocarbures, huiles et autres, menaçant directement la faune et la flore de la lagune. En outre, par fort vent d'est, certains sont poussés sur les rives de l'île des Embiez. Les coques raclent le fond de la lagune altérant et détruisant les prairies de cymodocée et de zostère ainsi que les terriers d'upogébia. **Un aménagement de cette partie du port doit se poursuivre avec d'une part le retrait des bateaux détériorés, et d'autre part la mise en place de systèmes d'amarrage plus efficaces.** Les initiatives de requête du milieu menées par la municipalité de Six-Fours-les-Plages vont dans ce sens et doivent être encouragées. Ces mesures devraient endiguer les pollutions causées par ces bateaux et stopper les destructions mécaniques des habitats.

La récolte de "machottes" (upogébia) comme appât pour la pêche est nettement moins pratiquée qu'autrefois, mais on peut parfois rencontrer quelques pêcheurs (fig. 100). Cette pratique avait conduit à une forte diminution de ce crustacé. Aujourd'hui, son aire de répartition s'est accrue et il convient de **protéger cet habitat.**



**Figure 100** – Pêcheur de "machottes" dans la lagune du Brusç malgré l'interdiction de piétiner (AP n°3/2000 et AM n°24143 ; Photographie © Y. Martin).

L'algue invasive *Caulerpa racemosa* a colonisé une zone importante de la lagune. **Il faut suivre attentivement son évolution en actualisant régulièrement les données cartographiques et mener des relevés morphométriques** (cf. chapitre F.1). Les données sur *C. racemosa* sont encore rares pour bien comprendre sa biologie et son écologie (Klein et Verlaque, 2008). Par ailleurs, la lagune du Brusç présente des particularités écologiques du fait de son faible hydrodynamisme et de ses conditions physiques (température, salinité) fluctuantes. **Du fait de ces particularités, la lagune du Brusç doit être incluse dans des programmes de recherche concernant *C. racemosa*.** Il convient également de **suivre attentivement l'évolution de *C. taxifolia* qui présente sur ce site une dynamique particulière** (progression/régression).

**Poursuivre les inventaires et actualiser régulièrement les données cartographiques et des paramètres écologiques** (cf. chapitre F.1).

Toutes ces actions devront être associées à des campagnes de **sensibilisation et d'éducation du public** de manière à les documenter et les informer sur l'écologie de cet habitat, des récifs barrière de posidonie ainsi que des menaces des deux espèces de caulerpes invasives, *Caulerpa taxifolia* et *C. racemosa*.

### **F.3. SEDIMENTS DETRITIQUES MEDIOLITTORAUX (1140-10)**

Les banquettes de posidonie font mauvaise presse auprès du grand public. Leur esthétique et les odeurs qu'elles dégagent rebutent nombreux d'entre eux. Aussi chaque été les différentes municipalités organisent des campagnes d'extractions systématiques de ces banquettes pour offrir des plages de sables ou de galets à ses touristes. Or ces banquettes ont un rôle écologique majeur car elles protègent contre l'érosion des plages, limitent la perte sédimentaire et sont le siège d'une véritable biocénose. Il est donc important de **limiter les extractions et les destructions des banquettes de posidonie** par des engins motorisés. Cela va de pair avec **une éducation et une sensibilisation du public** à ces aspects écologiques. D'autre part **l'aménagement estival des plages par l'apport de sable et gravier est à proscrire** car il favorise la turbidité des eaux, l'ensablement de l'herbier de posidonie ainsi que la diminution de ses capacités à effectuer la photosynthèse.

Les banquettes sont des accumulations de feuilles et de débris de posidonie. Leur formation est donc directement liée à l'état écologique des herbiers adjacents aux plages. Il est donc indispensable de **s'acquitter d'un bon état écologique des herbiers**. Les différentes mesures de préservation et de conservation des herbiers sont présentées dans le chapitre F.1.

**Poursuivre les inventaires et actualiser régulièrement les données cartographiques et des paramètres écologiques.**

### **F.4. ROCHE MEDIOLITTORALE INFERIEURE (1170-12) ET ROCHE INFRALITTORALE A ALGUES PHOTOPHILES (1170-13)**

#### **F.4.1. *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoïdes*)**

L'algue *Lithophyllum lichenoides* (= *L. byssoïdes*) nécessite des exigences écologiques très strictes pour son développement. Une bonne qualité des eaux est indispensable pour que les thalles croissent correctement et à terme forment des encombres, à haute valeur patrimoniale. De plus, la croissance est relativement lente et l'édification d'un

encorbellement est très longue (plusieurs siècles). Il est donc impératif de **minimiser les sources de pollution, surveiller et s'assurer d'une bonne qualité des eaux, favoriser les traitements des eaux usées et de ruissellement.**

Les encorbellements sont des zones de débarquement régulièrement utilisées par les plaisanciers. Les impacts d'accostage couplés aux piétinements fragilisent cette bioconstruction. De plus, les quatre encorbellements localisés sur la zone d'étude sont de petites tailles ; il est donc indispensable de limiter tous types d'agressions et de destructions. Cela passe par une **interdiction totale d'accostage et de débarquement** sur les quatre zones à encorbellements répertoriées sur l'archipel. Cette action doit être associée à des campagnes de **sensibilisation et d'éducation du public** de manière à le documenter et l'informer sur l'écologie de cette algue calcaire et de son mode d'édification particulier.

Outre l'attractivité pour sa qualité paysagère, les encorbellements abritent de nombreux mollusques consommables. Bien qu'un bon nombre soit protégé, il convient d'**interdire toutes collectes de mollusques sur ces zones à encorbellements.**

**Poursuivre les inventaires et actualiser régulièrement les données cartographiques et les mesures morphométriques (densité, abondance, longueur, largeur des encorbellements).**

#### **F.4.2. *Cystoseira amantacea* var. *stricta***

*Cystoseira amantacea* var. *stricta* exige des conditions écologiques très strictes pour son développement. Pour sa croissance et son développement, la qualité des eaux doit être irréprochable et optimale. Il faut donc **minimiser les sources de pollution, surveiller et s'assurer d'une bonne qualité des eaux, favoriser les traitements des eaux usées et de ruissellement.**

De nombreux aménagements côtiers ont été menés le long des côtes françaises et notamment en Méditerranée. Outre la destruction et l'altération que provoquent ces aménagements sur les peuplements de cystoseire notamment, ils peuvent modifier les conditions écologiques comme la courantologie, la turbidité des eaux... Aujourd'hui, ces aménagements sont limités et contrôlés par l'application de la loi Littorale de 1986. Sur notre zone d'étude, aucun projet n'est à l'ordre du jour, mais il faut tout de même **surveiller et limiter les aménagements côtiers influençant fortement cet habitat.**

L'infralittoral est un étage écologique favorable à l'installation et à la prolifération d'espèces invasives comme *Caulerpa taxifolia* et *C. racemosa*. Ces espèces peuvent altérer voire détruire les peuplements de cystoseire. Sur notre zone d'étude, nous n'avons observé aucune de ces deux espèces dans l'étage de l'infralittoral. Toutefois, *C. racemosa* est actuellement présente dans la lagune au niveau du récif barrière nord de posidonie. Concernant *C. taxifolia*, elle n'a pas été observée depuis plusieurs années sur le site, mais elle avait colonisé la lagune par le passé. Cette présence d'espèces invasives sur le site d'étude, même si elles n'affectent pas cet étage écologique, renforce le fait qu'il est **indispensable de mettre en place des programmes de suivi de la colonisation de ces espèces invasives et éventuellement des campagnes d'éradications.**

**Poursuivre les inventaires et actualiser régulièrement les données cartographiques et des paramètres écologiques.**

En parallèle de ces mesures, il faut **informer, éduquer et sensibiliser le public** de cet habitat et des cystoseires. Près des 2/3 des espèces des cystoseires sont endémiques de Méditerranée ; elles ont une forte valeur patrimoniale.

## F.5. CORALLIGÈNE (1170-14)

Le coralligène est le siège d'une diversité exceptionnelle puisque près de 1700 espèces y sont recensés. Certaines de ces espèces de (gorgones, corail rouge, ...) sont sujettes à des épisodes de mortalités massives, comme cela a été le cas en 1999 et 2003. Il faut donc **surveiller d'éventuels nouveaux épisodes de mortalité, et suivre les stations étudiées mises en place pour cette étude.**

Cet habitat, bien que situé dans des zones profondes, est sensible à tous aménagements côtiers (digues, terrassements, etc...) qui l'influencent indirectement par la simple modification du milieu. Il faut donc **les surveiller, les limiter et proscrire les aménagements néfastes pour cet habitat.** De même, il faut **s'assurer d'une bonne qualité des eaux et minimiser les sources de pollution en favorisant les actions de traitements des eaux usées et de ruissellement.**

La plupart des sites abritant du coralligène sont exploités par les clubs de plongée. Une **sensibilisation** et une **éducation** de ce public devront être mises en place. Une **charte de bonne conduite** pourra servir de base dans cette démarche. On trouve de nombreux types de charte de bonne conduite comme par exemple celle éditée par l'association Longitude 181 Nature ([www.longitude181.com](http://www.longitude181.com)), le Parc National de Port Cros ([www.portcrosparcnational.fr/accueil](http://www.portcrosparcnational.fr/accueil)) ou le site Natura 2000 du Cap d'Agde. Ces sites sont également fréquentés par les pratiquants de la pêche récréationnelle qu'il faut **sensibiliser aux impacts qu'engendre leur matériel** (plomb de pêche, fil abandonné ; fig. 101) ainsi que **sur la nature et la taille des prises autorisées.**



**Figure 101** – Filet de pêche sur une roche à coralligène (Photographie © T. Rauby).

L'état écologique du coralligène est encore difficile à évaluer par manque de méthodes standardisées et validées par la communauté scientifique. Pour cette étude, nous avons répondu à la demande qui nous avait été faite de caractériser au mieux l'état écologique de cet habitat autour des Embiez. Pour cela, nous avons choisi plusieurs paramètres écologiques nous permettant de dresser un bilan. A l'issue de cette étude, nous disposons d'une base de données conséquente et d'un état initial pouvant servir de référence puisque aucune étude de ce genre n'avait été menée autour de l'archipel des Embiez. **Ces données et observations mériteraient d'être analysées plus en détail dans le cadre d'un programme de recherche approfondi, et surtout devront être actualisées régulièrement. Un Plan d'Action pour la protection du coralligène vient d'être mis en place, il serait intéressant d'intégrer ces données dans ce programme.**

Les zones à coralligène autour de l'archipel des Embiez se situent très souvent au-delà de l'isobathe -30 m, c'est-à-dire du périmètre de Natura 2000. Il conviendrait d'**organiser une campagne de cartographie de cet habitat jusqu'à l'isobathe -45 m** (profondeur maximale exploitée par les structures de plongée).

L'habitat coralligène, à l'instar des autres habitats de la directive, regroupe bon nombre d'espèces patrimoniales et commerciales (corail rouge, mérrou brun, grande cigale, langouste, homard...). **Ces espèces devront être étudiées de façon à évaluer l'état du stock des différents peuplements** (tab. XXVI). **Les données recueillies pourront servir de base pour la gestion durable de la pêche.**

**Tableau XXVI** – Quelques paramètres à étudier pour l'évaluation de l'état du stock des espèces commerciales (\* l'influence de la pêche récréative devra être prise en compte même si elle est difficilement quantifiable).

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diversité spécifique</li> <li>- Biomasse totale (abondance totale)</li> <li>- Biomasse de géniteurs (abondance totale de géniteurs)</li> <li>- Maturité par âge (proportion d'individus pouvant se reproduire pour chaque âge)</li> <li>- Recrutement (effectif des recrues)</li> <li>- Etude des classes de taille (taille, poids)</li> <li>- Débarquements de la pêche professionnelle*</li> </ul> |
|---|

Une des espèces phares de cet habitat est le corail rouge *Corallium rubrum*. Celui-ci fait l'objet d'une pêche réglementée pour la joaillerie. Par le passé, des épisodes de mortalité du corail rouge ont été mentionnés, ce qui fragilise l'état du stock. Outre l'**application de la réglementation de cette pêche**, il faut également **surveiller l'état de santé du corail rouge**.

Au cours de nos plongées, nous avons constaté la présence de l'algue invasive *Caulerpa racemosa* sur l'ensemble de nos sites d'étude, et ce jusqu'à une profondeur de -40 m. **Il faut donc suivre attentivement son évolution en actualisant régulièrement les données cartographiques et mener des relevés morphométriques** (cf. chapitre F.1). Une autre algue invasive *Womersleyella setacea* peut être présente sur les communautés algales qui constituent le coralligène. Elle forme un tapis dense, de 1 à 2 cm d'épaisseur, sur les algues corallines incrustantes qui constituent le concrétionnement (*Mesophyllum alternans*, *Lithophyllum cabiochae* et d'autres). Le tapis de *W. setacea* diminue sûrement la disponibilité de la lumière aux incrustations corallines (empêchant ou réduisant la photosynthèse et la croissance de ces algues), augmente le piégeage sédimentaire, exclut d'autres macroalgues par le biais d'une croissance trop rapide ainsi que la préemption et inhibe le recrutement d'algues corallines et d'autres algues et espèces animales peuplant le coralligène (Airoldi *et al.*, 1995 ; Ballesteros, 20065). ***W. setacea* doit faire l'objet d'une attention particulière et une cartographie de sa présence devra être dressée.**

## F.6. GROTTES SEMI-OBSCURES (8330-3)

Les sites dont nous avons évalué l'état écologique sont très souvent visités par les apnéistes, chasseurs ou plongeurs en scaphandre autonome du fait de leur valeur patrimoniale, esthétique et de leur facile accessibilité.

L'impact des plongeurs, par action directe ou indirecte, volontaire ou involontaire, se traduit de différentes manières :

- l'arrachage manuel et les coups de palme
- les contacts volontaires ou involontaires avec le milieu et les organismes
- les bulles d'air le long des parois et des surplombs asphyxiant la faune associée
- les éclairages avec les phares ou les flashes qui peuvent perturber le cycle nyctéméral de certaines espèces
- le retournement des pierres qui engendre la destruction de micro-habitat
- les ancres à bateaux et le dragage des chaînes sur le substrat qui provoquent l'arrachage de posidonie, la destruction des gorgones et qui favorise la dissémination d'espèces invasives comme *Caulerpa taxifolia* et *C. racemosa*.

Les altérations causées par les plongeurs (en apnée et en scaphandre autonome) peuvent être en parties limitées par la **sensibilisation** et l'**éducation** des pratiquants. Il serait envisageable de **favoriser des partenariats** avec les clubs et les associations, d'impliquer ces usagers au travers de **chartes de bonne conduite** à l'instar de celles éditées par l'association Longitude 181 Nature ([www.longitude181.com](http://www.longitude181.com)), le Parc National de Port Cros ([www.portcrosparcnational.fr/accueil](http://www.portcrosparcnational.fr/accueil)) ou le site Natura 2000 du Cap d'Agde.

Sur l'ensemble du périmètre Natura 2000 FR 930 2001 "Lagune du Brusç", seulement trois sites sont pourvus de bouée d'ancrage de type "Harmony<sup>®</sup>" ; elles sont fixées par un socle métallique directement sur la roche (fig. 102).



**Figure 102** – Bouée d'ancrage de type "Harmony<sup>®</sup>" directement fixée sur la roche par un socle métallique (Photographie © P. Lelong).

Ces bouées ont été placées dans le cadre du projet SUBMED mis en place en 2004 dans un but d'écotourisme. De plus, elles permettent de limiter un des impacts anthropiques que subit le milieu. Plusieurs expériences (TPM, Mairie de Cassis, Conseil Général 13, Cap d'Agde, Parc National de Port Cros...) montrent l'efficacité de ce système de mouillage organisé et favorisent même sa mise en place (Ganteaume *et al.*, 2005 ; Blouet *et al.*, 2006 ; Lelong *et al.*, 2007). Ce système d'ancrage répond aux critères suivants ([www.ancrages-sousmarin.com](http://www.ancrages-sousmarin.com)) :

- ancrage simple, résistant et fiable
- impact environnemental négligeable (la surface occupée sur le fond est infime)
- aucun contact de la ligne de mouillage sur le fond
- le point d'ancrage affleure le sol et de constitue aucun obstacle pour les engins de pêche
- parfaite adaptation à divers substrats : éboulis, sables divers, vase, matre vivante et morte de posidonie
- facilité de mise en place et d'enlèvement (favorise les zones de jachère)
- fonction polyvalente

**Le système d'ancrage type "Harmony<sup>®</sup>" devrait être privilégié et étendu sur la zone des Embiez.** Outre les bouées d'amarrage situées aux sites de Basse Reinette, du sec des Magnons, des grottes des Magnons et de Guénaud, il serait envisageable **d'instaurer d'autres bouées sur des sites tout aussi fréquentés** comme les Basses Moulinières. De plus, toujours en concertation avec les structures de plongée, il serait peut être envisageable de **doubler**

**les bouées sur les sites très fréquentés** comme la sèche de Guénaud, les grottes des Magnons et le sec des Magnons.

Ces sites sont privilégiés par les pratiquants de la chasse sous-marine. En plus de les sensibiliser aux impacts qu'ils engendrent avec leur matériel, il serait envisageable de **sensibiliser les chasseurs sur la nature et la taille des prises autorisées**. Une plaquette éditée par le Groupe d'Etude du Mérou peut servir de base et éventuellement être utilisée à cet effet.

Une pollution des eaux, qu'elle soit accidentelle ou chronique, entraîne une mortalité des espèces. Il est donc important de limiter cet impact en mettant en place un **réseau de surveillance de la qualité des eaux**, de surveiller le réseau d'évacuation des eaux domestiques et de contrôler la qualité des eaux de ruissellement.

Suite aux épisodes de mortalité massive de 1999 et 2003, il faudrait **mettre en place un suivi de températures de l'eau à différentes profondeurs**.

**Poursuivre les inventaires et actualiser régulièrement les données cartographiques et des paramètres écologiques.**

## **F.7. TABLEAU DE SYNTHÈSE**

Ce tableau reprend les enjeux de conservation et les différentes menaces potentielles. Les objectifs ainsi que les préconisations de gestion concourants à la conservation des habitats sont également présentés. Les propositions sont traitées habitat par habitat, au sein duquel nous avons présenté les préconisations générales de gestion par ordre de priorité.

HABITATS	ENJEUX	MENACES	OBJECTIFS	MESURES
Herbier à Posidonie 1120*	améliorer l'état écologique de l'herbier de posidonie	impact du mouillage forain	aménager et gérer durablement des zones de mouillage organisées	installer des bouées d'amarrage dans des zones de mouillage organisé
				étudier et estimer l'impact du mouillage forain afin d'aménager les zones judicieusement
		pollution, activités portuaires, aménagements côtiers	limiter toutes sources de pollution afin d'assurer une bonne qualité des eaux	traiter les eaux usées domestiques et industrielles, réprimer les rejets sauvages
				surveiller tous projets d'aménagements côtiers
	réduire ou tout du moins contenir l'expansion des algues invasives et notamment des caulerpes	expansion accrue des caulerpes, compétition pour le substrat	surveiller l'évolution des caulerpes	actualiser régulièrement les données cartographiques
				mener des campagnes de relevés morphométriques (hauteur des frondes, largeur des stolons...)
				éduquer et sensibiliser le public
	évaluer l'impact des mesures de gestion appliquées		suivre l'évolution de l'herbier de posidonie	actualiser régulièrement les données cartographiques
				mener et approfondir les relevés de vitalité en y ajoutant des mesures de déchaussement, compacité de la matre, biométrie foliaire, teneur en métaux lourds (plomb, cuivre...)

HABITAT	ENJEUX	MENACES	OBJECTIFS	MESURES	
Lagunes méditerranéennes 1150-2*	Améliorer l'état écologique de la lagune du Brusac et du récif barrière de posidonie	envasement de la lagune	réduire ou tout du moins limiter l'envasement de la lagune tout en maintenant un équilibre écologique favorable pour les habitats et espèces présents sur le site	engager des pistes de réflexion et mener des campagnes d'étude autour de cette problématique	
		pollution, activités portuaires, aménagements côtiers	limiter toutes sources de pollution afin d'assurer une bonne qualité des eaux	traiter les eaux usées domestiques et industrielles, réprimer les rejets sauvages	
			surveiller tous projets d'aménagements côtiers	suivre la présence de polluants par des analyses chimiques et microbiologiques régulières	
		fréquentation touristique, piétinement, plaisance	gérer la fréquentation touristique	renforcer la surveillance du respect de l'arrêté préfectoral n°3/2000 et l'arrêté municipal n°24143 interdisant le piétinement et la navigation des engins de plage et engins nautiques non immatriculés à l'exception de la pratique de la pirogue, du kayak et de l'aviron en sculls	
			protéger et empêcher tous mouillages sur le récif barrière	déplacer le balisage du récif barrière de posidonie vers le nord afin de le protéger dans son ensemble ainsi que l'avant récif	
			continuer l'aménagement du port du Brusac	continuer à retirer les bateaux détériorés	
		installer des systèmes d'amarrage plus efficaces dans certaines parties du port			
		éduquer et sensibiliser le public			
		actes de vandalisme au niveau du balisage du récif barrière de posidonie	maintenir le balisage matérialisant le récif barrière de posidonie	réparer et maintenir le balisage du récif barrière de posidonie	
		réduire ou tout du moins contenir l'expansion des algues invasives et notamment des caulerpes	expansion accrue des caulerpes, compétition pour le substrat	surveiller l'évolution des caulerpes	actualiser régulièrement les données cartographiques
					mener des campagnes de relevés morphométriques (hauteur des frondes, largeur des stolons...)
					éduquer et sensibiliser le public
évaluer l'impact des mesures de gestion appliquées		suivre l'évolution du récif barrière de posidonie et de la prairie de cymodocée	actualiser régulièrement les données cartographiques		
			mener et approfondir les relevés de vitalité en y ajoutant des mesures de déchaussement, compacité de la matse, biométrie foliaire, teneur en métaux lourds (mercure, plomb, cuivre...)		

HABITAT	ENJEUX	MENACES	OBJECTIFS	MESURES
Sédiments détritiques méditerranéens 1140-10	conserver les banquettes de posidonie qui protègent contre l'érosion des plages, limitent la perte sédimentaire et abrite une biocénose particulière	Fréquentation touristique, destruction mécanique ayant pour but de "nettoyer" les plages	limiter les extractions et les destructions des banquettes de posidonie	favoriser la promotion de plage écologique
			limiter l'impact négatif de l'apport de sable et gravier pour l'aménagement estival des plages	éduquer et sensibiliser le public
		mauvais état écologique des herbiers de posidonie adjacents	s'acquitter d'un bon état écologique des herbiers	proscrire l'apport de sable et gravier pour l'aménagement estival des plages
	évaluer l'impact des mesures de gestion appliquées			cf. mesures spécifiques aux herbiers de posidonie
			suivre l'évolution des banquettes de posidonie	actualiser régulièrement les données cartographiques actualiser régulièrement les données morphométriques (longueur, hauteur...)
Roche Méditerranéenne Inférieure 1170-12	maintenir l'état écologique des peuplements de <i>Lithophyllum lichenoïdes</i> (= <i>L. byssoïdes</i> )	pollution des eaux	limiter toutes sources de pollution afin d'assurer une bonne qualité des eaux	surveiller et s'assurer d'une bonne qualité des eaux
			favoriser les traitements des eaux usées et de ruissellement	interdire l'accostage et le débarquement
		fréquentation, destruction mécanique (chocs, accostage), piétinement	limiter les impacts anthropiques directs	interdire toutes collectes de mollusques dans les zones à encorbellements
			éduquer et sensibiliser le public	
évaluer l'impact des mesures de gestion appliquées			suivre l'évolution des peuplements de <i>Lithophyllum</i>	actualiser régulièrement les données cartographiques actualiser régulièrement les mesures morphométriques (densité, abondance, longueur, largeur des encorbellements)

HABITAT	ENJEUX	MENACES	OBJECTIFS	MESURES
Roche Infralittorale à algues photophiles 1170-13	maintenir l'état écologique des peuplements de <i>Cystoseira amantacea</i> var. <i>stricta</i>	pollution des eaux	limiter toutes sources de pollution afin d'assurer une bonne qualité des eaux	surveiller et s'assurer d'une bonne qualité des eaux favoriser les traitements des eaux usées et de ruissellement
		aménagements côtiers	surveiller tous projets d'aménagements côtiers	réaliser des études d'impact et rejeter les projets néfastes pour les peuplements de cystoseires éduquer et sensibiliser le public
	empêcher l'expansion des espèces invasives et notamment des caulerpes	expansion accrue des caulerpes, compétition pour le substrat	surveiller l'apparition des caulerpes au niveau de cet habitat	actualiser régulièrement les données cartographiques
				éduquer et sensibiliser le public
	évaluer l'impact des mesures de gestion appliquées		suivre l'évolution des peuplements de <i>Cystoseira amantacea</i> var. <i>stricta</i>	actualiser régulièrement les données cartographiques
				actualiser régulièrement les mesures morphométriques (densité, abondance)

HABITAT	ENJEUX	MENACES	OBJECTIFS	MESURES
Coralligène 1170-14	maintenir l'état écologique des peuplements du coralligène	épisodes de mortalité massive imputés au réchauffement climatique	prévenir et suivre l'apparition de tels épisodes	suivre l'évolution des stations étudiées
		pollution, activités portuaires, aménagements côtiers	limiter toutes sources de pollution afin d'assurer une bonne qualité des eaux	traiter les eaux usées domestiques et industrielles, réprimer les rejets sauvages
			surveiller tous projets d'aménagements côtiers	réaliser des études d'impact et rejeter les projets néfastes pour le coralligène éduquer et sensibiliser le public
		fréquentation, plongée sous marine, pêche, chasse	limiter les impacts anthropiques	charte de bonne conduite auprès des plongeurs, pêcheurs et chasseurs éduquer et sensibiliser
	approfondir les connaissances de cet habitat		approfondir les connaissances de cet habitat	analyser plus en détail les données dans le cadre d'un programme de recherche approfondi (Plan d'Action pour la protection du coralligène)
				cartographier cet habitat (l'essentiel de l'habitat coralligène se situe au-delà de l'isobathe -30 m c'est-à-dire du périmètre Natura 2000) étudier et évaluer l'état du stock des espèces patrimoniales et commerciales (corail rouge, mérrou brun, corb, grande cigale, langouste, homard...)
	réduire ou tout du moins contenir l'expansion des algues invasives	expansion accrue des caulerpes, apparition de <i>Womersleyella setacea</i> , compétition pour le substrat	surveiller l'évolution des caulerpes	actualiser régulièrement les données cartographiques mener des campagnes de relevés morphométriques (hauteur des frondes, largeur des stolons...)
			prévenir l'apparition de <i>W. setacea</i>	mener des campagnes de prospection et de cartographie
	évaluer l'impact des mesures de gestion appliquées		suivre l'évolution des peuplements du coralligène	actualiser régulièrement les données cartographiques
				actualiser régulièrement les mesures morphométriques (analyses gorgones, éponges, photo-quadrats des peuplements algaux...)

HABITAT	ENJEUX	MENACES	OBJECTIFS	MESURES
Grottes semi obscures 8330-3	maintenir l'état écologique des peuplements des grottes et tombants semi-obscurs	fréquentation touristique, piétinement, plaisance	limiter les impacts anthropiques	charte de bonne conduite auprès des plongeurs, pêcheurs et chasseurs
		ancrage	limiter la destruction imputée aux ancres des bateaux	installer des systèmes d'ancrage type "Harmony" sur des sites fréquentés comme les Basses Moulinières et doubler ces systèmes sur les sites très fréquentés comme la sèche Guénaud et les rochers des Magnons
		pollution	limiter toutes sources de pollution afin d'assurer une bonne qualité des eaux	traiter les eaux usées domestiques et industrielles, réprimer les rejets sauvages
		épisodes de mortalité massive imputés au réchauffement climatique	prévenir et suivre l'apparition de tels épisodes	suivre l'évolution des stations étudiées installer des sondes multifonctions pour suivre les paramètres physiques de l'eau (température, salinité, pH...)
	évaluer l'impact des mesures de gestion appliquées		suivre l'évolution des peuplements des grottes et tombants semi- obscurs	actualiser régulièrement les données de l'état écologique de cet habitat

## G. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbiati M, Virgilio M et Querci J (1996). Spatial and temporal variability of species distribution on a sublittoral rocky cliff in the Ligurian Sea. S. It. E. Proceedings 17: 337–340.
- Airoldi L et Cinelli F (1997). Effect of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a Mediterranean rocky shore. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 215: 271-290.
- André L (1965). Etude des variations journalières et saisonnières de la teneur en oxygène dissous de la formation lagunaire du Brusc (Var). DES Sci. Nat., Fac. Sci. Marseille: 88 + III vol. annexes
- Augier H, Robert P et Maffre R (1980). Etude du régime thermique annuel des eaux au niveau des peuplements de Phanérogames marines de la baie de Port-Cros (îles d'Hyères, Méditerranée, France). *Scientific reports of the Port-Cros National Park* 6: 69-131.
- Balata D, Piazzzi L, Cecchi E et Cinelli F (2005). Variability of Mediterranean coralligenous assemblages subject to local variation in sediment deposition. *Marine Environmental Research* 60: 403-421.
- Ballesteros E (2006). Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology* 44: 123-195.
- 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 de Doctorat, Univ. Liège, Belgique: 251 pp.
- BCEOM (2002). Port du Brusc, Travaux d'aménagement, Etude d'agitation.
- Bell J et Harmelin-Vivien ML (1982). Fish fauna of french mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. 1 : Community structure. *Tethys* 10: 337-347.
- Bellan-Santini D (1969). Contribution à l'étude des peuplements infralittoraux sur substrat rocheux. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume* 6 (47): 1-123.
- Bellan G (1993). Les indicateurs du milieu marin – Remarques introductives. In: Boudouresque C.F., Avon M., Pergent-Martini C. eds. *Qualité du milieu marin - Indicateurs biologiques et physico-chimiques*. GIS Posidonie publ.: 35-42.
- Belsher T (1974). Séquence des effets d'un égout urbain, en fonction de l'éloignement de la source de pollution, sur les peuplements photophiles de mode battu (fraction algale) : premiers résultats. *Bull. Soc. Phycol.* 19: 158-163.
- Belsher T (1979). Analyse des répercussions du rejet en mer du grand collecteur de Marseille sur la fraction algale des peuplements photophiles de l'infralittoral supérieur. *Tethys* 9: 1-16.
- Belsher T, Houlgatte E et Boudouresque CF (2005). Cartographie de la prairie à *Posidonia oceanica* et des principaux faciès sédimentaires marins du Parc national de Port-Cros (Var, France, Méditerranée). *Scientific reports of the Port-Cros National Park* 21: 19-28 + 11 carte h.t.
- Ben Alaya H (1972). Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de Tunis. *Bull. Inst. Océanogr. Pêche Salammbô* 2: 331-416.
- Benedetti-Cecchi L, Airoldi L, Abbiati M et Cinelli F (1996). Estimating the abundance of benthic invertebrates: a comparison of procedures and variability between observers. *Marine Ecology Progress Series* 138: 93-101.
- Benedetti-Cecchi L, Bulleri F et Cinelli F (2000). The interplay of physical and biological factors in maintaining mid-shore and low-shore assemblages on rocky coasts in the north-west Mediterranean. *Oecologia* 123: 406-417.
- Bernard G, Bonhomme P et Boudouresque CF (2004). Relevé des herbiers de magnoliophytes marines dans la lagune du Brusc (commune de Six-Fours-les-Plages, Var). Dans le cadre du projet de réorganisation des mouillages forains dans la lagune. GIS Posidonie - Ville de Six-Fours-les-Plages, GIS Posidonie publ., Fr.: 24 pp + annexes non num.
- Bernard G, Boudouresque CF, Charbonnel E, Bonhomme P et Cadiou G (2002). Cartographie et état de vitalité des peuplements marins du Brusc (Commune de Six-Fours, Var) : conseils et recommandations pour l'aménagement du port du Brusc. *Contrat Conseil Général du Var–Service des Ports et GIS Posidonie*. GIS Posidonie publ.: 87 pp.

- Bernard G, Denis J, Deneux F, Belsher T, Sauzade D, Boudouresque CF, Charbonnel E, Emery E, Herve G et Bonhomme P (2001). Etude et cartographie des biocénoses de la rade de Toulon - Rapport de synthèse final. Contrat d'étude pour le Syndicat Intercommunal de l'Aire Toulonnaise, IFREMER et GIS Posidonie. IFREMER publ., La Seyne, fr.: 150 pp.
- Bianchi CN, Peirano A, Salvati E et Morri C (2001). Assessing interannual and decadal changes in marine epibenthic assemblages through UW photography: an example from Punta Mesco, Ligurian sea. *Archo Oceanogr. Limnol.* 22: 83-86.
- Bianconi CH, Boudouresque CF, Meinesz A et Di Santo F (1987). Cartographie de la répartition de *Lithophyllum lichenoides* (Rhodophyta) dans la Réserve Naturelle de Scandola (Côte orientale de Corse, Méditerranée). *Travaux scientifiques du Parc Naturel Régional de Corse* 13: 39-63.
- Blacher J, Meinesz A et de Vaugelas J (1998). Répartition de *Lythophyllum lichenoides* (Rhodophyta), de *Cystoseira amentacea* (Chromophyta), de *Patella ferruginea* (Mollusca) dans la Réserve Naturelle des Lavezzi : îlots et littoral de la Pointe Cappicciolu à la Pointe de Spérone. *Travaux scientifiques du Parc Naturel Régional de Corse* 57: 103-141.
- Blanc JJ et Jeudy de Grissac A (1984). Erosions sous marines des herbiers à *Posidonia oceanica* (Méditerranée). In.: *International Workshop on Posidonia oceanica beds*. Boudouresque C.F., Jeudy De Grissac A., Olivier J. edits., GIS Posidonie publ., Fr. 1: 23-28.
- Blouet S, Foulquie M et Dupuy de la Grandrive R (2006). Restauration naturelle des populations de gorgones blanches *Eunicella singularis* (Esper, 1794) après installation d'ancrages écologiques Harmony, sur le site de plongée des Tables. Site Natura 2000 "Posidonies du Cap d'Agde" Défi territorial marin ELGA (Cap d'Agde, Hérault, France) - Année 2005 : Etat initial et mise en place du suivi. Contrat Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, Conseil Régional Languedoc-Roussillon et ADENA, ADENA publ.: 49 pp.
- Bonhomme P, Boudouresque CF, Bernard G, Verlaque M, Charbonnel E et Cadiou G (2001). Espèces, peuplements et paysages marins remarquables de la Ciotat, de l'île Verte à la calanque du Capucin (Bouches-du-Rhône, France). Contrat RAMOGE et GIS Posidonie, GIS Posidonie publi.: 132 pp.
- Bonhomme P, Charbonnel E, Bernard G et Cadiou G (2002). Système de surveillance de l'herbier de Posidonie sur le littoral des Maures dans le cadre de l'observatoire marin du SIVOM du littoral des Maures : résultats du premier suivi 2002 - Rapport final. Contrat SIVOM du littoral des Maures & GIS Posidonie. GIS Posidonie publ., Fr.: 67 pp.
- Boudouresque CF (1986). Longévité des rhizomes de *Posidonia oceanica*. *Travaux scientifiques du Parc Naturel Régional de Corse* 2: 12-13.
- Boudouresque CF (1996). Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée. GIS Posidonie publ., 2<sup>e</sup> édition: 243 pp.
- Boudouresque C-F, Arrighi F, Finelli F et Lefèvre JR (1995). Arrachage des faisceaux de *Posidonia oceanica* par les ancres : un protocole d'étude. *Rapp. Comm. int. Explor. sci. Médit.* 34: 21.
- Boudouresque CF, Ballesteros E, Ben-Maiz N, Boisset F, Bouladier E, Cinelli F, Cirik S, Cormaci M, Jeudy de Grissac A, Laborel J, Lanfranco E, B. L, Mayhoub H, Meinesz A, Panayotidis P, Semroud R, Sinnassamy JM, Span A et Vuignier G (1990). Livre rouge "Gérard Vuignier" des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de Méditerranée. Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE/PAM/CAR-ASP/IUCN) et GIS Posidonie publ.: 250 pp.
- Boudouresque CF, Gravez V, Meinesz A, Molenaar H, Pergent G et Vitiello P (1994). L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : protection légale et gestion. Actes Colloque « Pour qui la Méditerranée au 21<sup>e</sup> siècle ? Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée », Montpellier 209- 220.
- Boudouresque CF et Meinesz A (1982). Découvertes de l'herbier de Posidonie. *Cahier Parc National de Port-Cros* 4: 1-79 + 71-73.
- Buia MC, Gambi MC et Dappiano M (2004). Seagrass systems. In: Gambi M.C., Dappiano M. edits. *Mediterranean marine benthos : a manual of methods for its sampling and study*. *Biol. mar. Medit.* 11 (suppl. 1): 133-183.
- Cadiou G, Charbonnel E, Boudouresque CF, Meinesz A, Bonhomme P, Bernard G, Cottalorda JM, Garcia M, Kruczek R, Bertrand MC, Foret P, Bricout P et Marro C (2004). Le

- réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur: résultats du suivi 2003. Région PACA/GIS Posidonie/SM 13/DDE 83/Conseil Général 06. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr.: 146 pp.
- Cahiers d'Habitats Natura 2000 (2005). Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 : Habitats côtiers. La Documentation française, Paris: 398 p.
- Caye G (1989). Sur la morphogenèse, le cycle végétatif et la reproduction de deux phanérogames marines de Méditerranée : *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile et *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson. Thèse d'Habilitation à diriger des recherches en sciences, Univ. Nice: 229 pp.
- Cerrano C, Arillo A, Azzini F, Calcinai B, Castellano L, Muti C, Valisano L, Zega G et Bavestrello G (2005). Gorgonian population recovery after a mass mortality event. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 15: 147-157.
- Cerrano C, Bavestrello G, Bianchi CN, Cattaneo-Vietti R, Bava S, Morganti C, Morri C, Picco P, Sara G, Schiaparelli S, Siccardi A et Sponga F (2000). A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters* 3: 284.
- Charbonnel E, Boudouresque CF, Meinesz A, Bernard G, Bonhomme P, Patrone J, Kruczek R, Cottalorda JM, Bertrand MC, Foret P, Ragazzi M et Le Direach L (2000a). Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Première partie : présentation et guide méthodologique. Année 2000. Région PACA, Agence de l'Eau RMC, GIS Posidonie, CQEL 13, CQEL 83, Conseil Général 06, GIS Posidonie publ. : 76 pp.
- Charbonnel E, Boudouresque CF, Meinesz A, Pergent-Martini C, San-Martin G, Bertrand MC, Foret P, Ragazzi M et Leccia G (2000b). Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Première partie : Présentation et Guide Méthodologique 1999. Seconde partie : résultats du suivi 1999. Région PACA, GIS Posidonie, CQEL 13, CQEL 83, Conseil Général 06, CQEL 06. GIS Posidonie publ.: 1-60 + 61-116.
- Cocito S, Bedulli D et Sgorbini S (2002). Distribution patterns of the sublittoral epibenthic assemblages on a rocky shoal in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Scientia Marina* 66: 175-181.
- Cocito S, Sgorbini S et Bianchi CN (1998). Aspects of the biology of the bryozoan *Pentapora fascialis* in the northwestern Mediterranean. *Marine Biology* 131: 73-82.
- Comité de Bassin RMC (1995). Qualité des eaux et sources de pollution. Carte: 3 pp.
- Cottalorda JM, Meinesz A, Thibaut T et Chiaverini D (2004). Représentation cartographique de l'abondance de quelques algues et invertébrés sur le littoral des îlots du Rascas et de la Gabinière (Parc national de Port-Cros, Var, France). *Scientific reports of the Port-Cros National Park* 20: 195-209.
- Delepine R, Boudouresque CF, Frada-Orestano C, Noailles MC et Asensi A (1987). Algues et autres végétaux marins. Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche : Méditerranée et mer Noire, zone de pêche 37, Révision 1, volume 1. Fischer W., Schneider M., Bauchot M.L. édits. FAO publ., Ital.: 136 pp.
- Dethier MN, Graham ES, Cohen S et Tear LM (1993). Visual versus random-point percent cover estimations: 'objective' is not always better. *Marine Ecology Progress Series* 96: 93-100.
- Ferdeghini F, Acunto S, Cocito S et Cinelli F (2000). Variability at different spatial scales of a coralligenous assemblage at Giannutri Island (Tuscan Archipelago, northwest Mediterranean). *Hydrobiologia* 440: 27-36.
- Fichez R (1990). Les pigments chlorophylliens : indices d'oligotrophie dans les grottes sous-marines. *Compte-rendu de l'Académie des Sciences, Paris* 310: 155-161.
- Foster MS, Harrold C et Hardin DD (1991). Point vs photo quadrat estimates of the cover of sessile marine organisms. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 146: 193-203.
- Francour P (1990). Dynamique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le parc national de Port-Cros. Analyse des compartiments mat, litière, faune vagile, échinodermes et poissons. Thèse de Doctorat, Univ. Paris VI: 373 pp.
- Francour P (1994). Impact des mouillages sur l'herbier à *Posidonia oceanica* dans la baie de

- Port-Cros (Var, Méditerranée nord-occidentale). Contrat Parc naturel de Port-Cros et GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Marseille, Fr.: 1-19.
- Francour P, Ganteaume A et Poulain M (1999). Effects of boat anchoring in *Posidonia oceanica* seagrass beds in the Port-Cros National Park (North-Western Mediterranean Sea). *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 9: 391-400.
- Francour P et Koukouras A (2000). Methods for studying the impact of diver frequentation and mooring on coralligenous communities. In.: *Introductory guide to methods for selected ecological studies in marine reserves*. Goñi R., M.Harmelin-Vivien, F.Badalamenti, L. Le Direac'h, G.Bernard edits. GIS Posidonie publ.: 69-74.
- Francour P, Poulain M, Bernard G et Charbonnel E (1997). Impact des mouillages forains sur l'herbier à *Posidonia oceanica* dans le Parc National de Port-Cros (Méditerranée nordoccidentale, France). Contrat Parc naturel de Port-Cros et GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Marseille, Fr.: 1-51.
- Ganteaume A, Bonhomme P, Bernard G, Poulain M et Boudouresque C-F (2005). Impact de l'ancrage des bateaux de plaisance sur la prairie à *Posidonia oceanica* dans la Parc national de Port-Cros (Méditerranée nord-occidentale). *Travaux scientifiques Parc National de Port-Cros* 21: 147-162.
- Garrabou J (1999). Life-history traits of *Alcyonium acaule* and *Parazoanthus axinellae* (Cnidaria, Anthozoa), with emphasis on growth. *Marine Ecology Progress Series* 178: 193-204.
- Garrabou J et Ballesteros E (2000). Growth of *Mesophyllum alternans* and *Lithophyllum frondosum* (Corallinales, Rhodophyta) in the northwestern Mediterranean. *European Journal of Phycology* 35: 1-10.
- Garrabou J et Harmelin JG (2002). A 20-year study on life-history traits of a harvested long-lived temperate coral in the NW Mediterranean: insights into conservation and management needs. *Journal of Animal Ecology* 71: 966-978.
- Garrabou J, Perez T, Sartoretto S et Harmelin JG (2001). Mass mortality event in red coral *Corallium rubrum* populations in the Provence region (France, NW Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series* 217: 263-272.
- Garrabou J, Riera J et Zabala M (1998a). Landscape pattern indices applied to Mediterranean subtidal rocky benthic communities. *Landscape Ecology* 13: 225-247.
- Garrabou J, Sala E, Arcas A et Zabala M (1998b). The impact of diving on rocky sublittoral communities: a case study of a Bryozoan population. *Conservation Biology* 12: 302-312.
- Gili JM, Murillo J et Ros J (1989). The distribution pattern of benthic Cnidarians in the Western Mediterranean. *Scientia Marina* 53: 19-35.
- Giraud G (1977). Contribution à la description et à la phénologie des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse de Doctorat, Univ. Aix-Marseille II 150 pp.
- Glasby TM (1999). Effects of shading on subtidal epibiotic assemblages. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 234: 275-290.
- Gravez V, Gelin A, Charbonnel E, Francour P, Abellard O et Remonnay L (1995). Surveillance de l'herbier de Posidonie de la baie du Prado (Marseille) – Suivi 1995. Ville de Marseille & GIS Posidonie, Fr.: 56 pp.
- Harmelin-Vivien ML (1983). Etude comparative de l'ichtyofaune des herbiers de phanérogames marines en milieu tropical et tempéré. *Revue d'Ecologie (Terre Vie)* 38: 179-210.
- Harmelin-Vivien ML, Harmelin JG et Leboulleux V (1995). Microhabitat recruitment for settlement of juveniles Sparid fishes on Mediterranean rocky shores. *Hydrobiologia* 300/301: 309-320.
- Harmelin JG (1985). Organisation spatiale des communautés sessiles des grottes sous-marines de Méditerranée. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 29: 149-153.
- Harmelin JG (1994). Les Peuplements des substrats durs circalittoraux. In: Bellan-Santini D, Lacaze JC, Poizat C, edits. *Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée*. Museum national d'histoire naturelle, Paris 118-126.
- Harmelin JG (2000). Ecology of cave and cavity dwelling bryozoans. *Proceedings of the 11th International Bryozoology Association Conference*: 38-53.
- Harmelin JG et Garrabou J (2005). Suivi d'une population de *Paramuricea clavata* (Risso, 1826) (Cnidaire, Octocorallia, Gorgonacea) dans le parc national de Port-Cros (Méditerranée,

- France): comparaison des états 1992 et 2004 sur le site de la Galère. Scientific reports of the Port-Cros National Park 21: 175-191.
- Harmelin JG, Sartoretto S et Francour P (1996). Patrimoine biologique de l'archipel de Riou : première évaluation. Contrat Ville de Marseille DED/Centre d'Océanologie de Marseille, COM publ., Marseille, Fr.: 86 pp.
- Harmelin JG, Vacelet J et Vasseur P (1985). Les grottes sous-marines obscures: un milieu extrême et un remarquable biotope refuge. *Tethys* 1: 214-229.
- Hartog C (1970). The seagrass of the world. North Holland publ., Co, Amsterdam, Pays-Bas: 1-275 + 231 pl. h.t.
- Hong JS (1980). Etude faunistique d'un fond de concrétionnement de type coralligène soumis à un gradient de pollution en Méditerranée nord-occidentale (Golfe de Fos). Thèse de Doctorat, Univ. Aix-Marseille II: 268 p.
- Hughes TP (1984). Population dynamics based on individual size rather than age: a general model with a reef coral example. *American Naturalist* 123: 778-795.
- Hughes TP et Connell JH (1987). Population dynamics based on size or age? A reef coral analysis. *American Naturalist* 129: 818-829.
- Hughes TP et Jackson JBC (1980). Do corals lie about their age? Some demographic consequences of partial mortality, fission, and fusion. *Science* 209: 713-715.
- Ifremer (2006). Résultats de la Surveillance de la Qualité du Milieu Marin Littoral - Régions : Provence-Alpes-Côte d'Azur et Corse. Bulletin de la Surveillance, édition 2006 - Laboratoire environnement ressources Provence Azur Corse: 74 pp.
- Irving AD et Connell SD (2002). Sedimentation and light penetration interact to maintain heterogeneity of subtidal habitats: algal vs invertebrate dominated assemblages. *Marine Ecology Progress Series* 245: 83-91.
- Jeudy de Grissac A (1984). Mouillages dans les herbiers de Posidonies en Provence Alpes Côte d'Azur. Parc National Port-Cros publ., Hyères: 1-50.
- Jeudy de Grissac A et Boudouresque CF (1985). Rôle des herbiers de phanérogames marines dans les mouvements des sédiments côtiers: les herbiers à *Posidonia oceanica*. Colloque France-Japon d'Océanographie, Marseille 16-21 sept. 1: 143-151.
- Klein J et Verlaque M (2008). The *Caulerpa racemosa* invasion: A critical review. *Marine Pollution Bulletin* 56: 205-225.
- Kollman H et Stachowitsch M (2001). Long-term changes in the benthos of the Northern Adriatic Sea: a phototranssect approach. *Marine Ecology* 22: 135-141.
- Laborel J (1961). Le concrétionnement algal "coralligène" et son importance géomorphologique en Méditerranée. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume* 23: 37-60.
- Laborel J (1987). Marine biogenic constructions in the Mediterranean: a review. *Scientific reports of the Port-Cros National Park* 13: 97-126.
- Laborel J, Boudouresque CF et Laborel-Deguen F (1994). Les bioconcrétionnements littoraux de Méditerranée. In.: Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèses, menaces et perspectives. Bellan-Santini D., Lacaze J.C. edits. Muséum National d'Histoire Naturelle publ., Paris: 88-97.
- Laborel J, Delibrias G et Boudouresque CF (1983). Variations récentes du niveau marin à Port-Cros (Var, France), mises en évidence par l'étude de la corniche littorale à *Lithophyllum tortuosum*. *Compte-Rendu de l'Académie des Sciences de Paris, Sciences de la vie* 297: 157-160.
- Laubier L (1966). Le coralligène des Albères: monographie biocénotique. *Annales de l'Institut Océanographique de Monaco* 43: 139-316.
- Ledoyer M (1962). Etude de la faune vagile des herbiers superficiels de zostéracées et de quelques biotopes d'algues littorales. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume Bull.* 25, Fasc. 39: 117-235.
- Lefevre JR, Valerio C et Meinesz A (1984). Optimisation de la technique de la photographie aérienne pour la cartographie des herbiers de posidonie. In.: International Workshop on *Posidonia oceanica* beds. Boudouresque C.F., Jeudy De Grissac A., Olivier J. edits., GIS Posidonie publ., Fr. 1: 49-55.
- Legendre L et Legendre P (1979). Ecologie numérique. T2 : la structure des données écologiques. Masson, Paris et les presses de l'Université du Québec: 247 pp.

- Lelong P (1977). Etude comparée des populations microplanctoniques. Bassins fermés et lagune du Brusç (Var). Supplément n°5 au Bulletin n°3 de la Fondation scientifique Ricard: 65 pp.
- Lelong P, Martin Y et Bonnefont J-L (2007). Evaluation de l'impact des plongeurs sur des sites touristiques sous-marins. Contrat SUBMED, Toulon Provence Méditerranée et Institut Océanographique Paul Ricard: 29 pp.
- Leonard GH et Clark RP (1993). Point quadrat versus video transect estimates of the cover of benthic red algae. *Marine Ecology Progress Series* 101: 203-208.
- Libes M (1984). Production primaire d'un herbier à *Posidonia oceanica* mesurée *in situ* par la méthode du carbone 14. Thèse de Doctorat, Univ. Aix-Marseille II: 199 pp.
- Linares C, Coma R, Diaz D, Zabala M, Hereu B et Dantart L (2005). Immediate and delayed effects of a mass mortality event on gorgonian populations dynamics and benthic community structure in the NW Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series* 305: 127-137.
- Linares C, Coma R et Zabala M (2008). Effects of a mass mortality event on gorgonian reproduction. *Coral Reefs* 27: 27-34.
- Linares C, Doak DF, Coma R, Diaz D et Zabala M (2007). Life history and viability of a long-lived marine invertebrate: the octocoral *Paramuricea clavata*. *Ecology* 88: 918-928.
- Madec G et Crepon M (1991). Thermohaline-driven deep water formation in the Northwestern Mediterranean Sea. *Elsevier Oceanography Series* 57: 241-267.
- Mari X, Meinesz A et De Vaugelas J (1998). Répartition de *Lythophyllum lichenoides* (Rhodophyta), de *Cystoseira amentacea* (Chromophyta), de *Patella ferruginea* (Mollusca) et des zones polluées par les hydrocarbures de l'île Lavezzi (Réserve Naturelle des Lavezzi-Corse). *Travaux scientifiques du Parc Naturel Régional de Corse* 57: 145-162.
- Mateo MA et Romero J (1997). Detritus dynamics in the seagrass *Posidonia oceanica*: elements for an ecosystem carbon and nutrient budget. *Marine Ecology Progress Series* 151: 43-53.
- Meese RJ et Tomich PA (1992). Dots on the rocks: a comparison of percent cover estimation methods. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 165: 59-73.
- Meinesz A, Cottalorda JM, Chiaverini D, Garcia M, Thibaut T et Vaugelas de J (2002). Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée : situation en France au 31 décembre 2001. *LEML - UNSA publ.*: 74 pp.
- Menconi M, Benedetti-Cecchi L et Cinelli F (1999). Spatial and temporal variability in the distribution of algae and invertebrates on rocky shores in the northwest Mediterranean. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 233: 1-23.
- Milazzo M, Badalamenti F, Ceccherelli G et Chemello R (2004). Boat anchoring on *Posidonia oceanica* beds in a marine protected area (Italy, western Mediterranean) : effect of anchor types in different anchoring stages. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 299: 51-62.
- Mistri M et Ceccherelli VU (1994). Growth and secondary production of the Mediterranean gorgonian *Paramuricea clavata*. *Marine Ecology Progress Series* 103: 291-296.
- Molinier R (1960). Etude des biocénoses marines du Cap Corse. *Vegetation Netherl.* 9 (3-5): 121-192, 217-312 + 121 Fig., 122 Tabl. h.t.
- Molinier R et Picard J (1952). Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanogr.* 27 (3): 157-234.
- Paillard M, Gravez V, Clabaut P, Blanc JJ, Boudouresque CF, Belsher T, Urscheler F, Poydenot F, Sinnassamy JM, Augris C, Peyronnet JP, Kessler M, Augustin JM, Le Drezen E, Prudhomme C, Raillard JM, Pergent G, Hoareau A et Charbonnel E (1993). Cartographie de l'herbier de Posidonie et des fonds marins environnants de Toulon à Hyères (Var, France). Reconnaissance par sonar latéral et photographie aérienne. Notice de présentation. IFREMER & GIS Posidonie publ.: 36 p + 33 cartes annexes.
- Panayotidis P, Boudouresque CF et Marcot-Coqueugniot J (1981). Microstructure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Botanica Marina* 24: 115-124.
- Pasqualini V, Pergent-Martini C, Clabaut P et Pergent G (1997). Mapping of *Posidonia oceanica* using Aerial Photographs and Side Scan Sonar : Application off the Island of Corsica (France). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 47 (3): 359-367.

- Peres JM et Picard J (1964). Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume 31: 137 pp.
- Perez T et Capo S (2001). Eponges commerciales du Parc National de Port-Cros : estimation de la densité de deux populations de *Spongia officinalis* (Linné 1759). Scientific reports of the Port-Cros National Park 18: 143-148.
- Perez T, Garrabou J, Sartoretto S, Harmelin JG, Francour P et Vacelet J (2000). Mortalité massive d'invertébrés marins: un événement sans précédent en Méditerranée nord-occidentale. Compte-Rendu de l'Académie des Sciences de Paris, Sciences de la vie 323: 853-865.
- Perez T, Graille R, Bourry-Esnault N et Vacelet J (2004). Suivi des populations de *Spongia officinalis* du Parc National de Port-Cros. Contrat Parc National de Port-Cros et GIS Posidonie - GIS Posidonie publ.: 25 pp.
- Pergent-Martini C, Léoni V, Pasqualini V, Ardizzone GD, Balestri E, Bedini R, Belluscio A, Belsher T, Borg J, Boudouresque CF, Boumaza S, Bouquegneau JM, Buia MC, Calco S, Cebrian J, Charbonnel E, Cinelli F, Cossu A, Di Maida G, Dural B, Francour P, Gobert S, Lepoint G, Meinesz A, Molenaar H, Mansour HM, Panayotidis P, Peirano A, Pergent G, Piazzì L, Pirrotta M, Relini G, Romero J, Sanchez-Lizaso JL, Semroud R, Shembri P, Shili A, Tomasello A et Velimirov B (2005). Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: use and application. Ecological Indicators 5: 213-230.
- Pergent G (1991). Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée. Océanis 17: 341-350.
- Pergent G, Pergent-Martini C et Boudouresque CF (1995). Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : état des connaissances. Mésogée 54: 3-27.
- Pergent G, Romero J, Pergent-Martini C, Mateo MA et Boudouresque CF (1994). Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. Marine Ecology Progress Series 106: 139-146.
- Piazzì L, Balata D, Pertusati M et Cinelli F (2004). Mediterranean coralligenous phytobenthic assemblages: temporal dynamics and influence of substrate inclination. Botanica Marina 47: 105-115.
- Piazzì L, Ceccherelli G et Cinelli F (2001). Threat to macroalgal diversity: effects of the introduced green alga *Caulerpa racemosa* in the Mediterranean. Marine Ecology Progress Series 210: 149-159.
- Porcher M (1984). Impact des mouillages forains sur l'herbier à *Posidonie oceanica*. International Workshop *Posidonia oceanica* Beds. Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. (édit.), GIS Posidonie publ., Fr. 1: 145-148.
- Procaccini G, Buia MC, Gambi MC, Perez M, Pergent G, Pergent-Martini C et Romero J (2003). Seagrass status and extent along the Mediterranean coasts of Italy, France and Spain. In: Green E.P., Short F.T. and Spalding M.D. edits. World atlas of seagrass: Present status and future conservation, University of California Press publ.
- R-Development-Core-Team (2007). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- Rico-Raimondino V (1995). Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica*. Thèse de Doctorat, Univ. Aix-Marseille II: 248 pp.
- Robert P (1988). Etude du régime thermique des principales biocénoses marines benthiques du Parc national de Port-Cros (Var, France). Diplôme de Recherche universitaire, Univ. Aix-Marseille II, Fr.: 209 pp.
- Roig i Munar FX et Prieto JA (2005). Efectos de la retirada de bermas vegetales de *Posidonia oceanica* sobre playas de las islas Baleares: consecuencias de la presión turística. Investigaciones Geográficas, Universidad Nacional Autónoma de México 57: 21-38.
- Romero J (1986). Note sur une méthode d'évaluation de la densité des faisceaux dans les herbiers de Posidonies. Rapport P.V. Réunion Commission internationale. Explor. sci. Médit 30: 1-266.
- Ros J, Romero J, Ballesteros E et Gili JM (1985). The circalittoral hard bottom communities: the coralligenous. In: Margalef edits. Western Mediterranean. Pergamon Press, Oxford: 263-273.

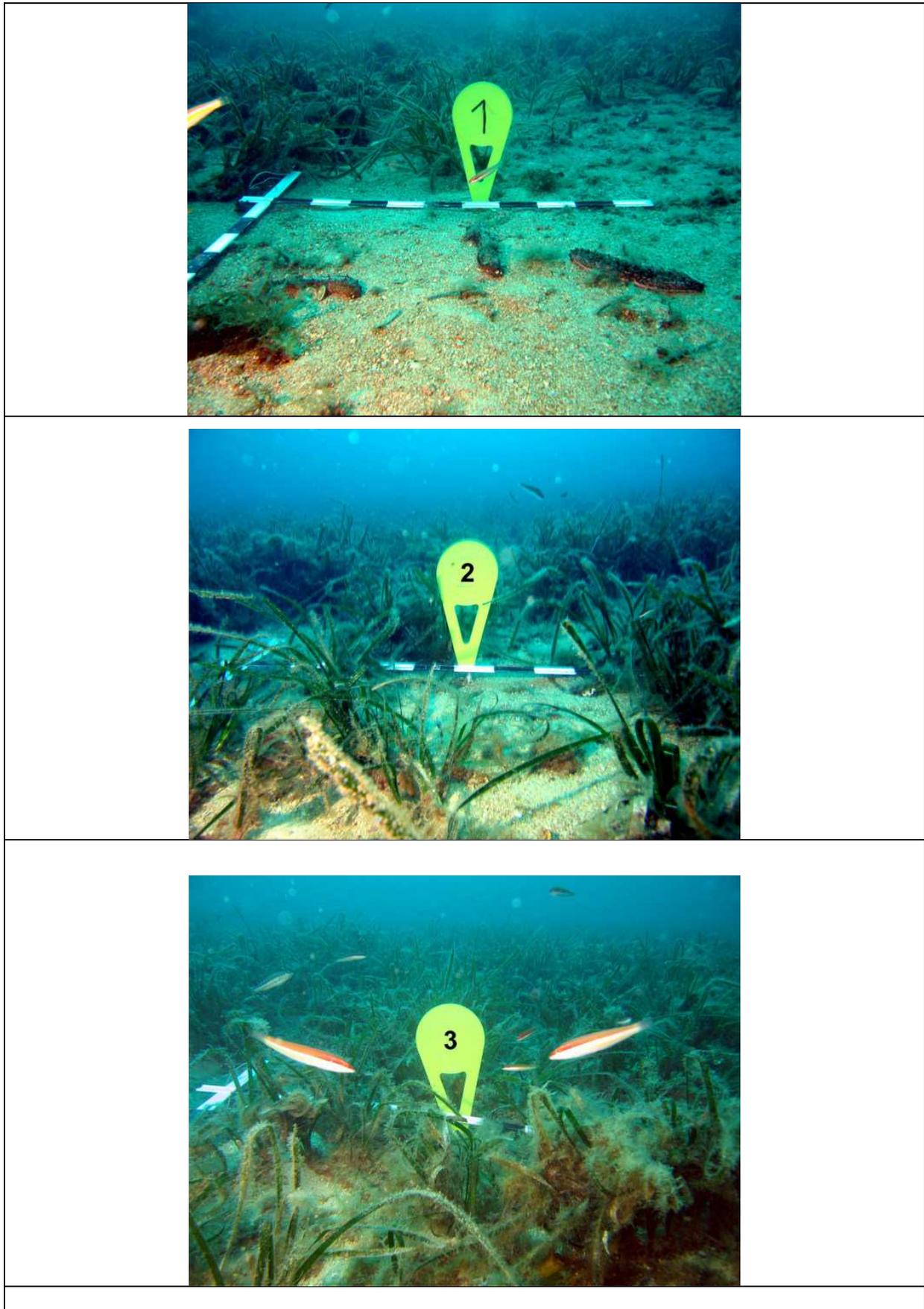
- Ruitton S, Javel F, Culioli J-M, Meinesz A, Pergent G et Verlaque M (2005a). First assessment of the *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) invasion along the French Mediterranean coast. *Marine Pollution Bulletin* 50: 1061-1068.
- Ruitton S, Verlaque M et Boudouresque C-F (2005b). Seasonal changes of the introduced *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) at the northwest limit of its Mediterranean range. *Aquatic Botany* 82: 55-70.
- SAFEGE - CETIS (2003). Etude courantologique port et lagune du Brusç : aménagement du port du Brusç. Contrat Conseil Général du Var – SAFEGE CETIS: 102 pp. + annexes
- Sala E, Garrabou J et Zabala M (1996). Effects of divers frequentation on Mediterranean sublittoral populations of the bryozoan *Pentapora fascialis*. *Marine Biology* 126: 451-459.
- Sartoretto S (2002). Le Réseau de Surveillance Gorgones en région Provence-Alpes-Côte d'Azur: deuxième campagne de mesure et recommandations. Conseil Régional PACA - Agence de l'Eau RMC - DIREN PACA - Conseil Général 13 - Conseil Général 83 - Conseil Général 06 - Ville de Marseille - GIS Posidonie - Centre d'Océanologie de Marseille. GIS Posidonie publ., Fr.: 1-81.
- Sartoretto S, Verlaque M et Laborel J (1996). Age of settlement and accumulation rate of submarine "coralligène" (-10 to -60 m) of the north western Mediterranean Sea, relation to Holocene rise in sea level. *Marine Geology* 130: 317-331.
- Sicsic M (1967). Répartition des formations à base de *Lithophyllum tortuosum* (Esper) Foslie, le long du littoral rocheux de la presqu'île de Giens. *Ann. Soc. Sci. nat. Archéol. Toulon, Var, Fr.* 19: 173-179.
- Soltan D (2001). Etude de l'incidence de rejets urbains sur les peuplements superficiels de macroalgues en Méditerranée Nord-Occidentale. Thèse de Doctorat, Univ. Aix-Marseille II: 157 pp.
- Terrados J et Ros J (1992). Growth and primary production of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson in a Mediterranean coastal lagoon: The Mar Menor (SE Spain). *Aquatic Botany* 43: 63-74.
- Thibaut T, Pinedo S, Torras X et Ballesteros E (2005). Long-term decline of the populations of Fucales (*Cystoseira* spp. and *Sargassum* spp.) in the Albères coast (France, North-western Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin* 50: 1472-1489.
- Verlaque M (1996). Etude des encorbellements à *Lithophyllum lichenoides* de la Réserve Naturelle de Scandola (Année 1995). Travaux scientifiques du Parc Naturel Régional de Corse Papier-bibliothèque Aquarium: 40 pp.
- Verlaque M et Tine J (1979). Végétation marine de la rade de Toulon (Var, France) : la rade-abri. *Revue de Biologie et Ecologie méditerranéenne* 5: 67-86.
- Viala C, Noel C, Coquet M, Zerr B, Lelong P et Bonnefont J-L (2007). Pertinence de la méthode DIVA pour l'interprétation des mosaïques sonar latéral. Third Mediterranean Symposium on Marine Vegetation, Marseille: 209-214.
- Vicente N (1975). Pour la sauvegarde de la lagune du Brusç. Supplément au Bulletin Observatoire de la Mer 2: 13 pp.
- Vicente N et de Gaulejac B (1993). *Pinna nobilis* L. (Mollusque bivalve), indicateur biologique du littoral méditerranéen. In: Boudouresque C.F., Avon M., Pergent Martini C. edits. Qualité du milieu marin - Indicateurs biologiques et physicochimiques. GIS Posidonie publ.: 141-150.
- Vicente N, Lardeau AG, Lelong P et Descatoire J (2001). Suivi de l'évolution de *Caulerpa taxifolia* dans la lagune du Brusç (Var, France). Impact des activités humaines. Fourth International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. GIS Posidonie publ.: 57-65.
- Vicente N et Moreteau JC (1991). Statut de *Pinna nobilis* L. en Méditerranée (Mollusque Eulamellibranche). In.: Les espèces marines à protéger en Méditerranée. GIS Posidonie publ. Fr: 159-168.
- Vicente N, Taieb N et Lelong P (1993). Disparition naturelle de l'algue *Caulerpa taxifolia* dans la lagune du Brusç (Var, France). *Marine Life* 3: 61-65.
- Virgilio M, Airolidi L et Abbiati M (2006). Spatial and temporal variations of assemblages in a Mediterranean coralligenous reef and relationships with surface orientation. *Coral Reefs* 25: 265-272.

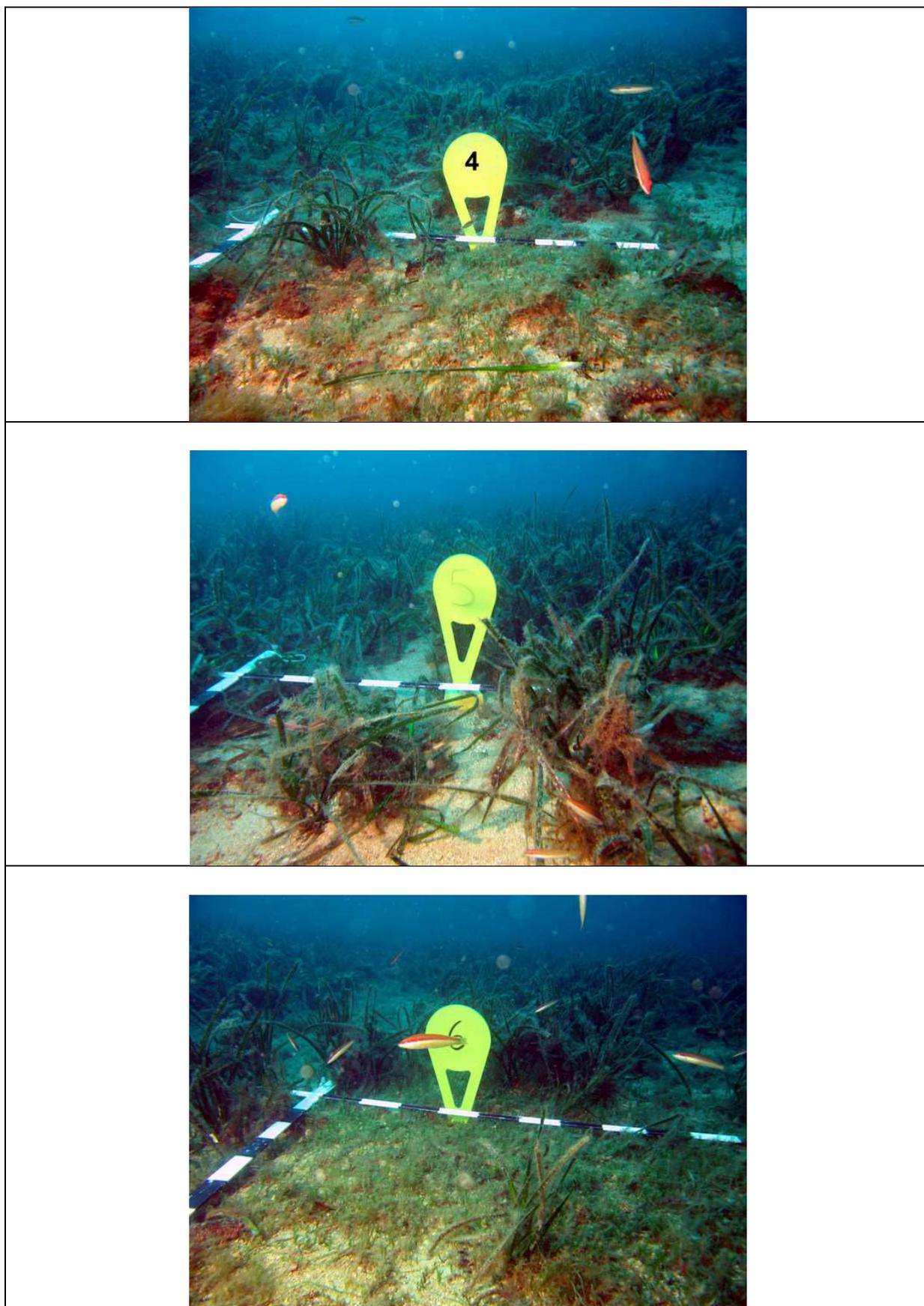
## **H. ANNEXES**

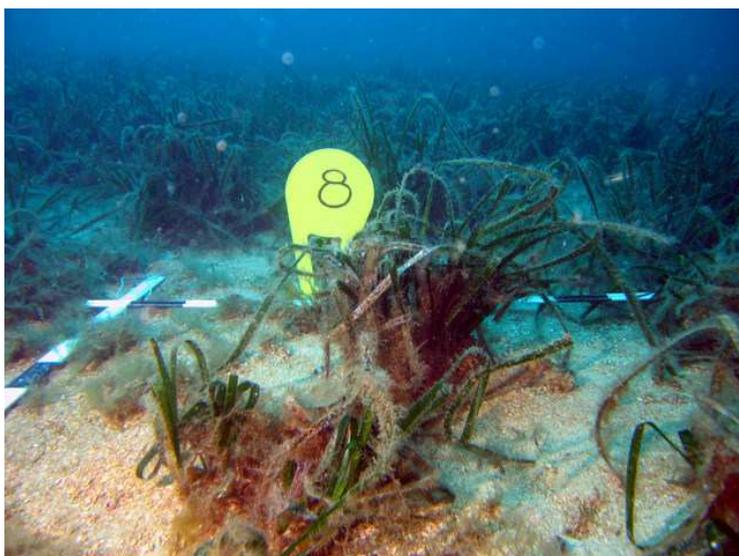
---

---

**Annexe 1** - Photographies des balises positionnées au zoom nord de la limite inférieure de l'herbier de posidonie. La balise n°7 est remplacée par la balise n°12 afin de couvrir les 100 m de linéaire.

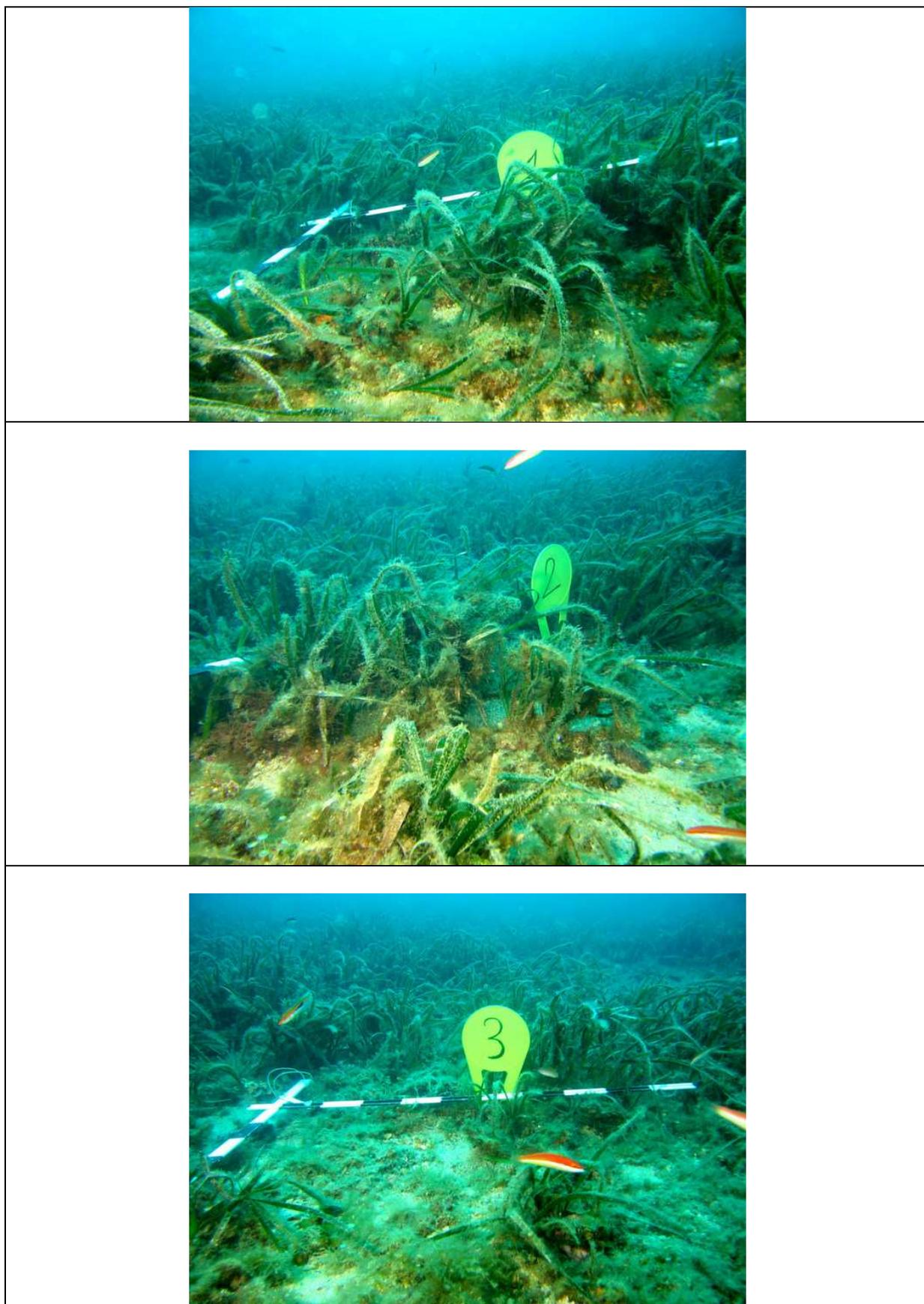


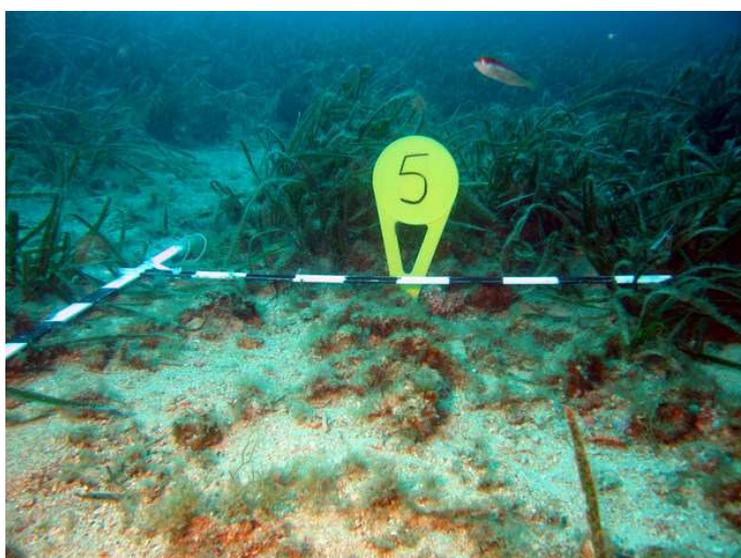
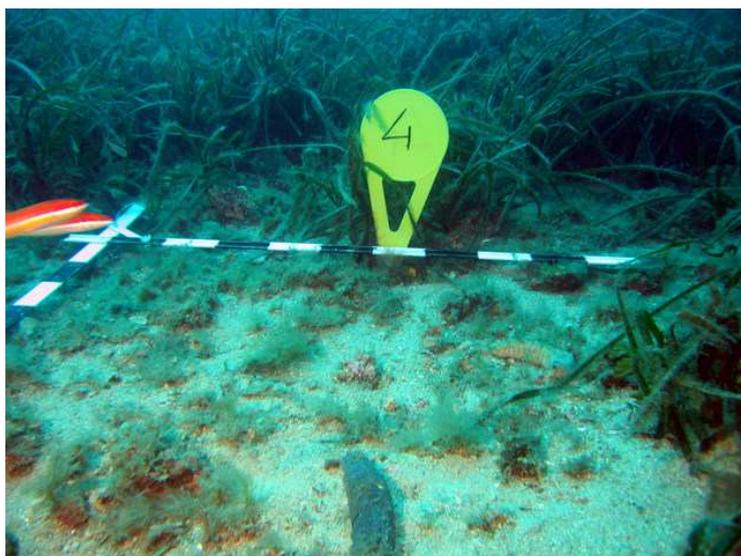


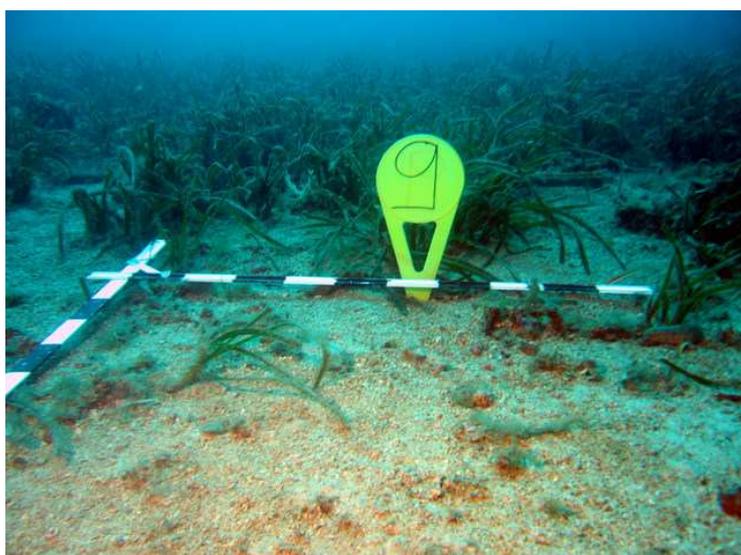
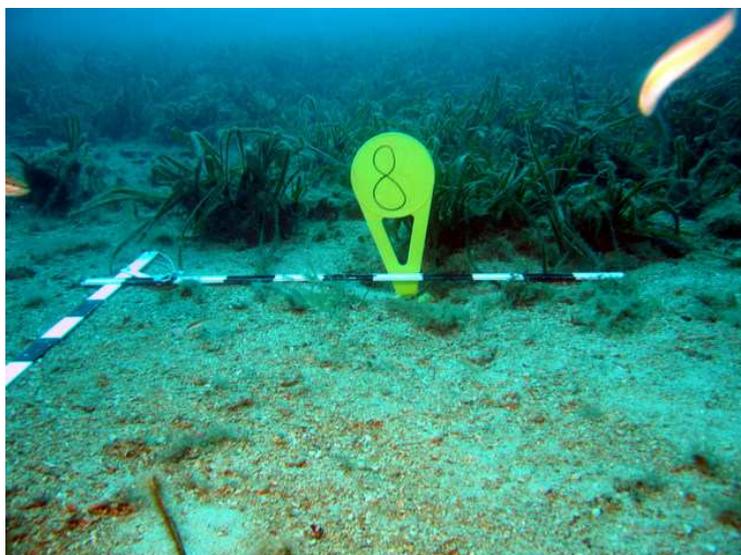


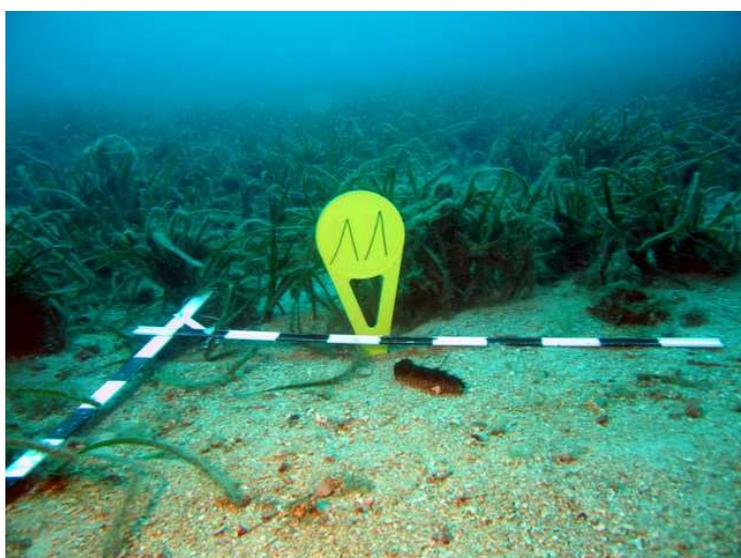


**Annexe 2** - Photographies des balises positionnées au zoom ouest de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.









**Annexe 3** - Photographies des balises positionnées au zoom sud de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.

