

PROJET DE MODERNISATION DU PORT DE PLAISANCE DE L'ANSE DU PRADET AU CAP BENAT

—

EXPERTISE ENVIRONNEMENTALE DU MILIEU MARIN

Inspection sous-marine faune/flore/habitat

Prélèvement et analyse de sédiments



Version provisoire

Septembre 2018

Citation du rapport :

Jouvenel J.-Y., Picard-Afrac I. 2018. Projet de modernisation du port de plaisance de l'anse du Pradet au Cap Bénat – expertise environnementale du milieu marin. Inspection sous-marine faune/flore/habitat. Prélèvement et analyse de sédiments (64 p).

Sommaire

1. INTRODUCTION	7
2. METHODOLOGIE D'INTERVENTION	8
2.1. ZONE D'ETUDE	8
2.2. CARTOGRAPHIE DES BIOCENOSSES	8
2.3. ESPECES A ENJEU ECOLOGIQUE	9
2.3.1. <i>Grandes nacres de Méditerranée (Pinna nobilis)</i>	9
2.3.2. <i>Herbier de posidonie</i>	10
2.4. INVENTAIRE BIOLOGIQUE.....	15
2.5. PRELEVEMENTS ET ANALYSES DE SEDIMENTS MARINS	16
2.6. CAMPAGNE DE TERRAIN	19
3. RESULTATS.....	20
3.1. CARTOGRAPHIE DES BIOCENOSSES	20
3.1.1. <i>Zone de la future ZMEL</i>	20
3.1.2. <i>Zone du port</i>	22
3.2. ESPECES A ENJEU ECOLOGIQUE	24
3.2.1. <i>Grandes nacres de Méditerranée</i>	24
3.2.2. <i>Herbier de posidonie : Caractérisation de l'état de vitalité</i>	29
3.2.2.1. Station ZMEL.....	30
3.2.2.2. Station Port.....	31
3.2.3. <i>Herbier de cymodocée</i>	32
3.2.4. <i>Inventaire biologique</i>	34
3.3. QUALITE DES SEDIMENTS.....	36
3.3.1. <i>Granulométrie</i>	37
3.3.2. <i>Qualité physico-chimique</i>	38
4. SYNTHESE DES ENJEUX ECOLOGIQUES	40
4.1. ESPECES PROTEGEES PRESENTES DANS LA ZONE D'ETUDE	41
4.1.1. <i>Herbier de posidonie (Posidonia oceanica)</i>	41
4.1.1.1. Fiche espèce	41
4.1.1.2. Enjeu écologique pour le projet	46
4.1.2. <i>Herbier de cymodocée (Cymodocea nodosa)</i>	46
4.1.2.1. Fiche espèce	46
4.1.2.2. Enjeu écologique pour le projet	49
4.1.3. <i>Grande nacre de Méditerranée (Pinna nobilis)</i>	49
4.1.3.1. Fiche espèce	49
4.1.3.2. Enjeu écologique pour le projet	51
4.2. AUTRES ESPECES DE FAUNE ET DE FLORE MARINE	52
4.3. ESPECE INVASIVE : CAULERPE GRAPPE (<i>CAULERPA RACEMOSA</i>)	52
4.4. SYNTHESE DES ENJEUX ECOLOGIQUES.....	53
5. MESURES EVITER, REDUIRE ET COMPENSER	54
5.1. MESURES D'EVITEMENT	54
5.2. MESURES DE REDUCTION	54
5.2.1. <i>Augmentation de la turbidité dans la zone d'intervention</i>	54
5.2.1.1. Suivi de la turbidité.....	55
5.2.1.2. Mise en place d'un filet anti-MES.....	55
5.2.2. <i>Pollution accidentelle</i>	55
5.3. MESURES DE COMPENSATION	56

5.3.1.	<i>Transplantation des grandes nacres de Méditerranée</i>	56
5.3.2.	<i>Mise en protection d'une zone d'herbier de posidonie</i>	56
5.4.	SUIVI DES MESURES.....	57
6.	CONCLUSIONS	58
6.1.	ZONE DE LA FUTURE ZMEL.....	58
6.2.	ZONE DU PORT	58
7.	BIBLIOGRAPHIE	60
8.	ANNEXES	62
8.1.	PHOTOGRAPHIES DES RECOUVREMENTS	62
8.1.1.	<i>Station ZMEL</i>	62
8.1.2.	<i>Station Port</i>	63

Tables des illustrations

Tableau 1 : Interprétation de la vitalité de l’herbier (tendance à la progression) en fonction des pourcentages de recouvrement moyens mesurés le long du balisage en limite supérieure d’herbier (Gravez et al., 1995).	11
Tableau 2 : Classification de l’herbier selon la profondeur (m).	13
Tableau 4 : Echelle d’évaluation du déchaussement en fonction des valeurs moyennes mesurées le long du balisage (Lizaud O., Serantoni Ph., 2006)	14
Tableau 5 : Interprétation de la vitalité de l’herbier (tendance à la progression) en fonction des pourcentages moyens mesurés le long du balisage.....	14
Tableau 3 : Classification des densités au m ² de l’herbier de posidonie en fonction de la profondeur (profondeur en mètres). La densité d’un herbier est classée en « très bonne », « bonne », « moyenne », « médiocre » ou « mauvaise » (Pergent, 2007).	15
Tableau 6 : Typologie des sédiments (Dauvin et al., 1993 modifié in Harmelin et al., 2006)	18
Tableau 7 : Caractéristiques des nacres observées.....	24
Tableau 8 : Inventaire des espèces de faune observées.....	34
Tableau 9 : Synthèse des prélèvements de sédiments	36
Tableau 10 : Classification des sédiments selon leur composition granulométrique	37
Tableau 11 : Paramètres physico-chimiques des sédiments	38
Tableau 12 : Paramètres de qualité des sédiments	39
Tableau 13 : Caractéristiques moyenne et taux de croissance des espèces d’herbier européens (Borum et al, 2004).....	48
Tableau 14 : Liste des statuts de protection et d’inventaires de <i>Pinna nobilis</i> (Source : INPN)	51
Figure 1 – Localisation de la zone d’étude (en jaune) - (GoogleEarth modifié P2A).....	7
Figure 2 – Carte de localisation des zones d’études	8
Figure 3 – Logiciels de cartographie Digiterra® et GPS différentiel (DGPS).	8
Figure 4 – Plongeur réalisant les mesures d’une grande nacre (P2A Développement).....	9
Figure 5 – Présentation des différents types de limite inférieure de l’herbier de posidonie	10
Figure 6 – Estimation du recouvrement (exemple station Posidonie et Cymodocée) - (©P2A Développement).....	11
Figure 7 – Mesure de la densité des faisceaux - (©P2A Développement).....	12
Figure 8 – Convention pour la mesure du déchaussement des rhizomes plagiotropes (à gauche) et orthotropes (à droite), d’après Boudouresque et.al. (1980a) / Photographie de la mesure du déchaussement	13
Figure 9 – Prélèvement / homogénéisation et mise en flacons.....	16
Figure 10 – Equipe et embarcation P2A	19
Figure 11 – Cartographie des biocénoses – ZMEL (P2A Développement)	21
Figure 12 – Cartographie des espèces à enjeu écologique – Zone du port (P2A Développement).....	23
Figure 13 – Carte de localisation des Grandes Nacres de Méditerranée (P2A Développement)	25
Figure 14 – Photographies des nacres, de 1 à 7 (P2A Développement)	26
Figure 15 – Photographies des nacres, de 8 à 13 (P2A Développement)	27
Figure 16 – Photographies des nacres, de 14 à 21 (P2A Développement)	28
Figure 17 – Carte de localisation des stations de vitalité (P2A Développement)	29
Figure 18 – Localisation de l’herbier de cymodocée (P2A Développement)	32

Figure 19 – Herbier de cymodocée	33
Figure 20 – Détail de l’herbier de cymodocée	33
Figure 21 – Prises de vue montrant les poissons observés : banc de muges / castagnoles / sar et girelles / serran écriture / sar à tête noire dans le port (©P2A Développement)	35
Figure 22 – Carte de localisation des stations de prélèvements de sédiments (P2A Développement)	36
Figure 23 – Graphique représentant les sédiments selon leur composition granulométrique	37
Figure 24 – Composition granulométriques des sédiments par station	38
Figure 25 – Localisation de la zone d’impact des travaux de réaménagement du port	40
Figure 26 – Illustration de la posidonie	42
Figure 27 – <i>Cymodocea nodosa</i> : rhizome et faisceau (Marc Verlaque in DORIS)	47
Figure 28 – Observation de <i>caulerpa racemosa</i>	52

1.Introduction

La société P2A Développement a été contractée par Corinthe Ingénierie, dans le cadre de la mission de maîtrise d'œuvre du projet de redéploiement portuaire pour le port du Pradet, localisé sur la commune de Bormes-les-Mimosas (Var).

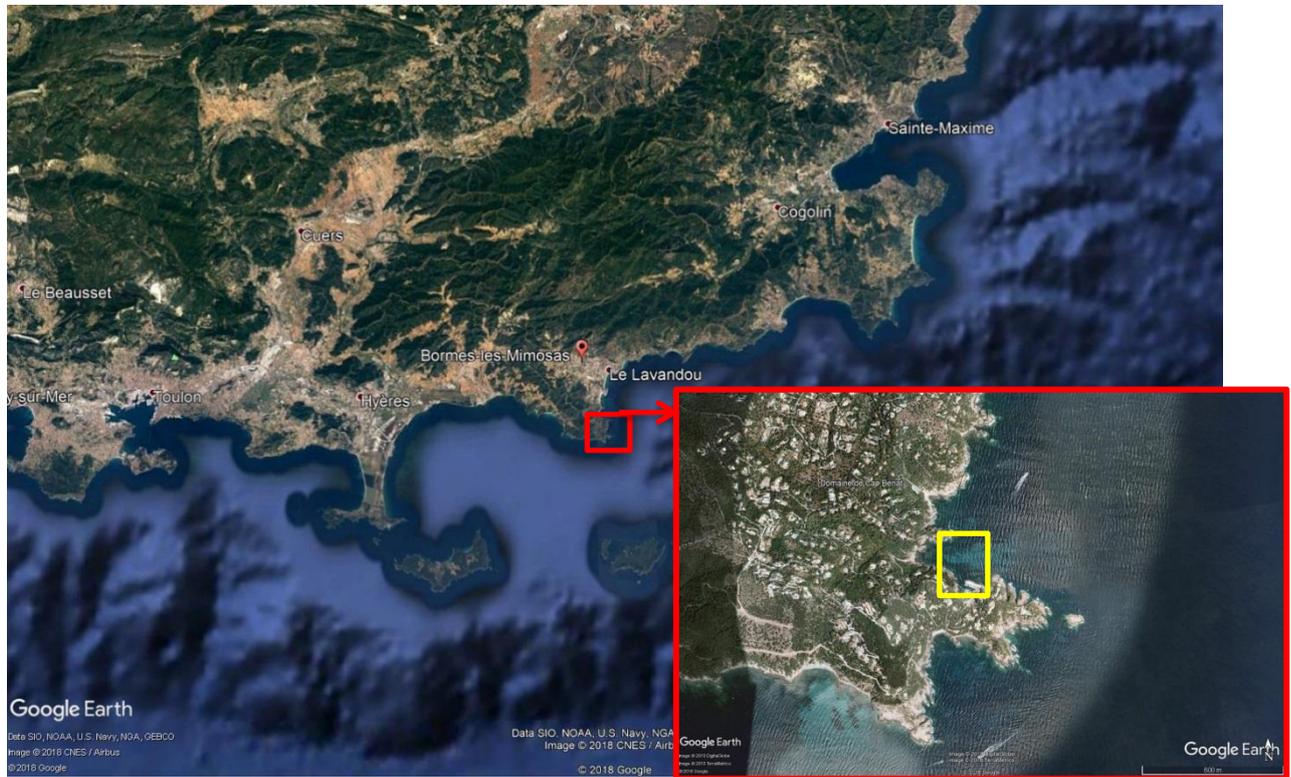


Figure 1 – Localisation de la zone d'étude (en jaune) - (GoogleEarth modifié P2A)

Les missions réalisées dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

- Investigations de terrain sous-marines :
 - inventaire faune/flore,
 - relevé des biocénoses,
 - géoréférencement des espèces protégées,
 - prélèvements et analyses physico-chimiques de sédiments marins ;

- Rédaction de l'étude d'expertise environnementale :
 - Evaluation de l'état écologique initial ;
 - Définition des enjeux écologiques ;
 - Propositions de mesures d'évitement, de réduction et de compensation (si nécessaire).

2. Méthodologie d'intervention

2.1. Zone d'étude

Les investigations de terrain ont été menées sur deux zones :

- La zone de la future ZMEL
- La zone du port.



Figure 2 – Carte de localisation des zones d'études

2.2. Cartographie des biocénoses

Une cartographie complète des biocénoses a été réalisée sur la zone de ZMEL. Les plongeurs ont arpenté la zone en délimitant les contours des différents habitats à l'aide d'un GPS différentiel disposé dans un conteneur étanche flottant. Un PC Tablet, équipé du logiciel de cartographie Digiterra®, relié par Bluetooth avec le GPS différentiel (DGPS) est utilisé pour réaliser la géolocalisation des habitats et des points remarquables.



Figure 3 – Logiciels de cartographie Digiterra® et GPS différentiel (DGPS).

Les biocénoses relevées sont :

- L'herbier de posidonie,
- Les fonds meubles : sable,
- Les substrats durs : roche.

Les données collectées sur le terrain ont ensuite été reportées dans le logiciel de SIG QGis pour réaliser les cartographies, en utilisant la projection RGF93/Lambert93.

Pour la zone du port, une inspection exhaustive a été menée par des plongeurs scientifiques pour valider les données existantes (localisation de l'herbier de posidonie et de nacres, Sémantic TS, 2017). Les éléments remarquables observés ont également été géoréférencés.

2.3. Espèces à enjeu écologique

2.3.1. Grandes nacres de Méditerranée (*Pinna nobilis*)

Lors des investigations sous-marines, les individus de *Pinna nobilis* ont été recherchés.

Pour chaque individu observé, les informations suivantes ont été collectées :

- profondeur,
- localisation précise,
- adulte/juvénile,
- dimensions :
 - Hs = hauteur au sédiment,
 - Lc = plus grande largeur de la coquille,
 - lc = plus petite largeur au niveau du sédiment,
- photographie.



Figure 4 – Plongeur réalisant les mesures d'une grande nacre (P2A Développement)

2.3.2. Herbier de posidonie

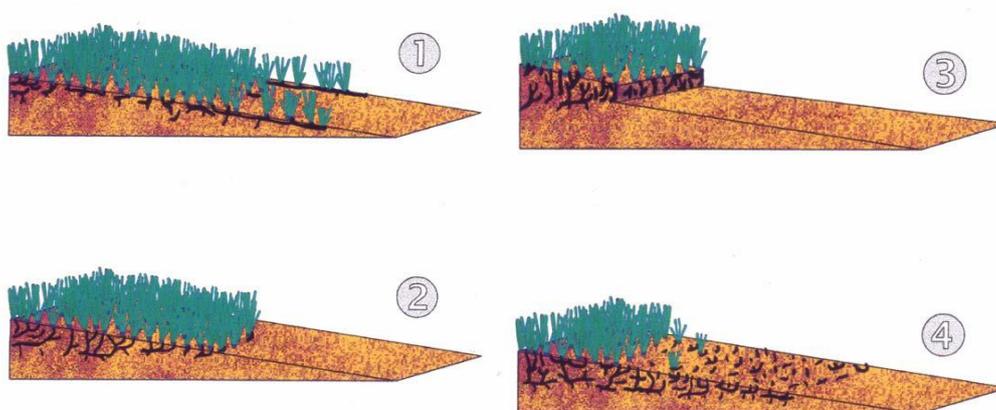
Caractérisation de l'état de vitalité des herbiers

Deux stations de vitalité ont été réalisées dans les herbiers de posidonie : une localisée dans la ZMEL, l'autre dans la zone du port.

Les paramètres analysés pour les stations de vitalité sont détaillés ci-dessous. Ces paramètres sont standardisés pour l'évaluation du niveau de vitalité des herbiers de posidonie.

Typologie de la limite de l'herbier

Le type de limite inférieure de l'herbier est déterminé selon les typologies ci-dessous :



1 = limite progressive ; 2 = limite franche ; 3 = limite érosive ; 4 = limite régressive (d'après MEINESZ & LAURENT, 1978, modifié par BOUDOURESQUE, redessiné par PALLUY).

Figure 5 – Présentation des différents types de limite inférieure de l'herbier de posidonie

La classification de Pergent 2007 est également utilisée pour qualifier l'état de la limite de l'herbier, selon le descriptif ci-dessous :

Type de limite	Caractéristiques principales
Progressive	Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite
Franche – Fort recouvrement (R+)	Limite nette présentant un recouvrement supérieur à 25%
Franche – Faible recouvrement (R-)	Limite nette présentant un recouvrement inférieur à 25%
Clairsemée	Densité inf. à 100 faiscs./m ² , recouvrement inf. à 15%
Régressive	Présence de mattes mortes en avant de la limite

Type de limite	Interprétation
Progressive (Pr)	Très bonne
Franche – Fort recouvrement (F+)	Bonne
Franche – Faible recouvrement (F-)	Normale
Clairsemée (Cl)	Médiocre
Régressive (Re)	Mauvaise

Taux de recouvrement

Le recouvrement est estimé par l'analyse de clichés pris au droit de chaque station, avec mise en place d'une pîge d'un mètre pour visualiser l'étendue de la surface couverte (10 mesures sont réalisées pour chaque station). Un quadrillage est ensuite appliqué sur la prise de vue. Les carrés contenant de l'herbier sont comptés pour estimer le recouvrement de chaque prise de vue. La moyenne des résultats permet d'obtenir la valeur du recouvrement.

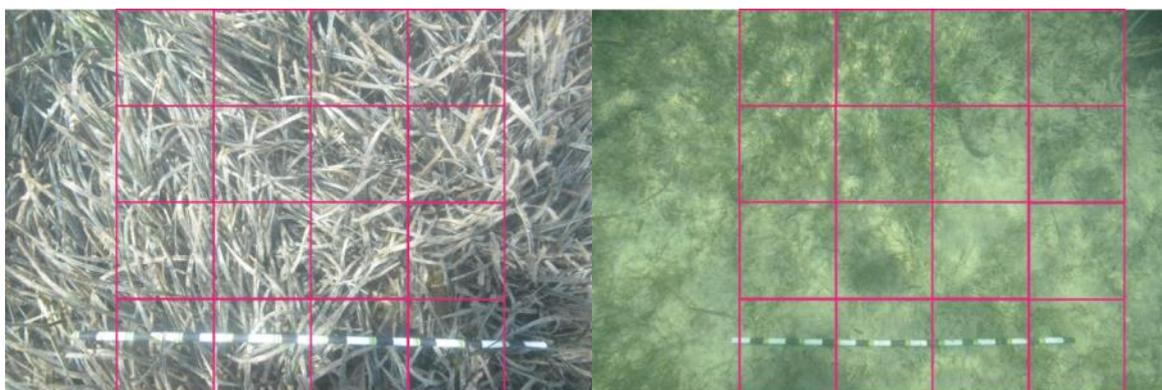


Figure 6 – Estimation du recouvrement (exemple station Posidonie et Cymodocée) - (©P2A Développement)

Une échelle d'évaluation du recouvrement le long des limites de l'herbier (faible, moyen, fort) est utilisée en fonction des valeurs moyennes mesurées ou estimées. Les valeurs seuils considérées par cette échelle sont différentes selon la position de la limite (supérieure ou inférieure).

Tableau 1 : Interprétation de la vitalité de l'herbier (tendance à la progression) en fonction des pourcentages de recouvrement moyens mesurés le long du balisage en limite supérieure d'herbier (Gravez et al., 1995).

Pourcentage de recouvrement (valeurs seuils)		
Limite supérieure	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

L'interprétation des résultats peut également être affinée selon la grille suivante (Charbonnel et al., 2000) :

Recouvrement (%)	Interprétation
>80%	Très fort recouvrement
60% < valeur < 80%	Fort recouvrement
40% < valeur < 60%	Recouvrement moyen
20% < valeur < 40%	Faible recouvrement
< 20%	Très faible recouvrement

Densité des faisceaux

Le faisceau est défini comme un ensemble de feuilles de posidonie regroupées autour d'un même axe de croissance.

La densité des faisceaux est établie en comptant les faisceaux de feuilles dans des quadrats de 0,2 x 0,2 m soit 0,04 m². Un total de **5 réplicats** a été réalisé par station. Les réplicats permettent de calculer un nombre moyen de faisceaux /m² pour chacune des deux stations.



Figure 7 – Mesure de la densité des faisceaux - (©P2A Développement)

Une classification de la vitalité de l'herbier selon la profondeur a été proposée d'après les critères de Pergent-Martini et Pergent (1994).

Tableau 2 : Classification de l'herbier selon la profondeur (m).

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

DA = densité anormale, DSI= densité subnormale inférieure, DN = densité normale, DSS= densité subnormale supérieure, Pergent-Martini (1994) et Pergent et.al (1995).

Déchaussement

Le déchaussement des rhizomes de posidonie correspond à :

- Pour un rhizome orthotrope : à la distance entre la base des feuilles et la surface du sédiment, moins deux centimètres ;
- Pour un rhizome plagiotrope : à la distance entre la partie inférieure des rhizomes et la surface du sédiment.

Les mesures s'effectuent directement en plongée à l'aide d'une règle graduée au millimètre dans chacune des stations avec **5 répliqués** par station.

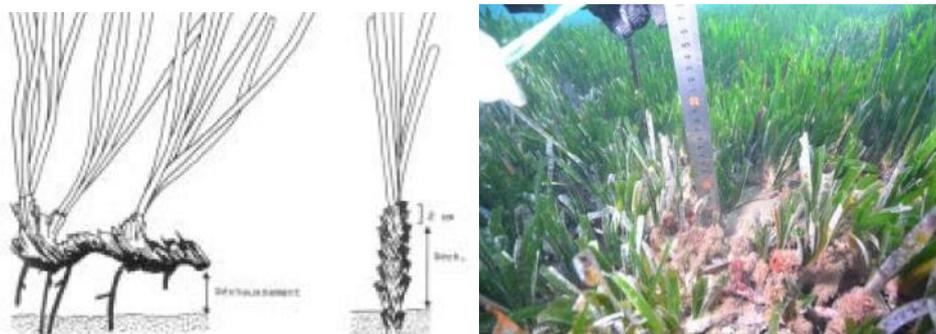


Figure 8 – Convention pour la mesure du déchaussement des rhizomes plagiotropes (à gauche) et orthotropes (à droite), d'après Boudouresque et.al. (1980a) / Photographie de la mesure du déchaussement

Tableau 3 : Echelle d'évaluation du déchaussement en fonction des valeurs moyennes mesurées le long du balisage (Lizaud O., Serantoni Ph., 2006)

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

Proportion de rhizomes plagiotropes (traçants)

Les rhizomes de Posidonie peuvent croître soit horizontalement (rhizomes plagiotropes), ce qui permet à l'herbier de rétablir ou d'étendre sa surface de recouvrement, soit verticalement (rhizomes orthotropes) pour lutter contre l'enfouissement. La proportion de rhizomes plagiotropes nous permet de connaître la dynamique de colonisation des différentes taches d'herbier.

La proportion de rhizomes plagiotropes par rapport aux rhizomes orthotropes (en %) a été déterminée sur une longueur d'un mètre, en limite d'herbier, sur chacune des stations.

Tableau 4 : Interprétation de la vitalité de l'herbier (tendance à la progression) en fonction des pourcentages moyens mesurés le long du balisage

Pourcentage de rhizomes plagiotropes (valeurs seuils)		Interprétation
Inférieur à 30 %	Herbier généralement stable, avec peu ou pas de progression	
30 % à 70 %	Légère tendance à la progression	
Supérieur à 70 %	Nette tendance à la progression	

Biométrie foliaire

Pour chaque station, les feuilles de 20 faisceaux sont dénombrées et la longueur de la feuille la plus longue de chacun des 20 faisceaux est mesurée.

Les mesures biométriques sont effectuées selon la méthode non destructive définie par Gobert *et al.* (2009) pour le calcul de l'indice PREI (Posidonia Rapid Easy Index). Ainsi, les mesures sont réalisées en plongée, sans prélèvement de faisceaux ni découpe des feuilles. La mesure de la longueur Lmax des feuilles est réalisée depuis la base de la feuille à la limite de la dernière écaille.

L'interprétation de la densité de l'herbier de posidonie est également évaluée selon le tableau suivant :

Tableau 5 : Classification des densités au m² de l'herbier de posidonie en fonction de la profondeur (profondeur en mètres). La densité d'un herbier est classée en « très bonne », « bonne », « moyenne », « médiocre » ou « mauvaise » (Pergent, 2007).

Profondeur (m)	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
1	>1195	1195-964	964-732	732-501	<501
2	>1126	1126-903	903-679	679-456	<456
3	>1061	1061-846	846-630	630-415	<415
4	>1000	1000-792	792-585	585-377	<377
5	>942	942-742	742-543	543-343	<343
6	>887	887-696	696-504	504-312	<312
7	>836	836-652	652-468	468-284	<284
8	>788	788-611	611-435	435-259	<259
9	>742	742-573	573-404	404-235	<235
10	>699	699-538	538-376	376-214	<214
11	>659	659-504	504-350	350-195	<195
12	>621	621-473	473-325	325-177	<177
13	>585	585-444	444-303	303-161	<161
14	>551	551-416	416-282	282-147	<147
15	>519	519-391	391-262	262-134	<134
16	>489	489-367	367-244	244-122	<122
17	>461	461-344	344-227	227-111	<111
18	>434	434-323	323-212	212-101	<101
19	>409	409-303	303-197	197-92	<92
20	>385	385-285	285-184	184-83	<83
21	>363	363-267	267-172	172-76	<76
22	>342	342-251	251-160	160-69	<69
23	>322	322-236	236-149	149-63	<63
24	>304	304-221	221-139	139-57	<57
25	>286	286-208	208-130	130-52	<52
26	>269	269-195	195-121	121-47	<47
27	>254	254-184	184-113	113-43	<43
28	>239	239-173	173-106	106-39	<39
29	>225	225-162	162-99	99-36	<36
30	>212	212-152	152-92	92-32	<32
31	>200	200-143	143-86	86-30	<30
32	>188	188-135	135-81	81-27	<27
33	>178	178-127	127-76	76-24	<24
34	>167	167-119	119-71	71-22	<22
35	>158	158-112	112-66	66-20	<20
36	>148	148-105	105-62	62-18	<18
37	>140	140-99	99-58	58-17	<17
38	>132	132-93	93-54	54-15	<15
39	>124	124-87	87-51	51-14	<14
40	>117	117-82	82-47	47-13	<13

2.4. Inventaire biologique

La diversité des espèces dans la zone d'étude a été établie grâce à un inventaire visuel de la faune ichtyologique visible en plongée. Cet inventaire a été mené par un plongeur biologiste marin muni d'une écritoire permettant de noter les noms d'espèces sous l'eau. Le plongeur note à chaque fois qu'il rencontre une nouvelle espèce dans son champ de vision. Le nombre d'individus observés, ainsi que le stade (adulte / juvénile) est également indiqué. Les observations remarquables sont géoréférencées.

2.5. Prélèvements et analyses de sédiments marins

Les sédiments superficiels ont été prélevés en 3 stations de prélèvement par zone. Les positions des stations de prélèvement ont été géoréférencées et reportées sur le logiciel de cartographie.

Le prélèvement a été effectué de façon manuelle par un plongeur, à l'aide d'une pelle à sédiment. Le sédiment est pelleté délicatement et transféré dans un sac hermétique posé sur le fond. Une fois la quantité de sédiment prélevée suffisante, le sac est fermé et remonté en surface, garantissant la conservation de l'intégralité du prélèvement. Cette technique est particulièrement adaptée pour les petits fonds et les fonds compacts.

Chaque prélèvement a fait l'objet d'une fiche de description des conditions de prélèvement.

Les 3 prélèvements réalisés dans chaque zone ont été homogénéisés pour produire un échantillon moyen. Les deux échantillons moyens ainsi constitués (un par zone) ont été envoyés au laboratoire d'analyses Eurofins, agréé COFRAC, dans une glacière réfrigérée.



Figure 9 – Prélèvement / homogénéisation et mise en flacons

Pour chaque échantillon, les paramètres suivants ont été déterminés :

Propriétés physiques et caractérisation de base

- granulométrie laser à pas variable ou sur tamis humides (minimum 5 classes de taille de 0 à 2000 μm).
- MS : % de matières sèches (pesées différentielles à 105°C).
- MM : % de matières minérales (perte au feu à 550°C)
- densité (pesée différentielle).
- teneur en Al, sur la fraction inférieure à 2 mm.
- Teneur en matière organique.
- Carbone organique total (COT, mg/kg MS), sur la fraction inférieure à 2 mm.

Propriétés chimiques (sur la fraction inférieure à 2 mm) :

- Métaux-traces : Arsenic (As), Chrome (Cr), Mercure (Hg), Plomb (Pb), Cadmium (Cd), Cuivre (Cu), Nickel (Ni), Zinc (Zn).
- Polychlorobiphényles (PCB) suivants: 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180.

- 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques individuels (HAP) : naphtalène, acénaphthylène, acénaphtène, fluorène, phénanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, dibenzo(ah)anthracène, benzo(ghi)pérylène, indéno (123-cd)pyrène
- Organo-staniques et produits de dégradation (TBT, etc.).
- Nutriments : Azote (N) et phosphore (P) totaux.

Les résultats obtenus permettent d'évaluer les caractéristiques granulométriques et géochimiques des sédiments. La qualité des sédiments est évaluée en utilisant les seuils de référence N1 et N2 fournis par l'arrêté du 9 août 2006¹ et par l'arrêté du 17 juillet 2014².

L'étude des résultats de la granulométrie permettent de qualifier les sédiments selon leur composition (pourcentages d'argiles, limons, sables fins à moyens et sables grossiers à très grossiers) ainsi que sur le pourcentage de particules fines (<63µm).

La granulométrie des éléments sédimentaires est définie par Larssonneur (Larssonneur, 1977 modifié)

- Chaos rocheux
- Blocs : supérieurs à 10 cm ;
- Galets et coquilles : éléments supérieurs à 2 cm ;
- Gros graviers : éléments compris entre 1 et 2 cm ;
- Graviers moyens : éléments compris entre 5 et 10 mm ;
- Petits graviers et granules : éléments compris entre 2 et 5 mm ;
- Sables grossiers : éléments compris entre 1 et 2 mm ;
- Sables moyens : éléments compris entre 0,5 et 1 mm ;
- Sables fins : éléments compris entre 0,2 et 0,5 mm ;
- Sablons : éléments compris entre 0,1 et 0,2 mm ;
- Sablons fins : éléments compris entre 0,0063 et 0,1 mm ;
- Particules fines, lutites, silts + argiles : fraction inférieure à 0,05 mm.
- Sédiment bien classé
- Sédiment mal classé, hétérogène

¹ Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement

² Arrêté du 17 juillet 2014 modifiant l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement - Article 1.

Tableau 6 : Typologie des sédiments (Dauvin et al., 1993 modifié in Harmelin et al., 2006)

Type de sédiment	% de particules fines (< 63 µm)	Autres composants	Médiane
Vases	> 75 %		
Vases sableuses	25 à 75 %		
Sables fins plus ou moins envasés	5 à 25 %		
Sables fins	Moins de 5 %	Fraction supérieure à 2 mm < 15 %	< 250 µm
Sables moyens dunaires	0 %	Fraction supérieure à 2 mm < 15 %	Entre 315 et 800 µm
Sables hétérogènes envasés	10 à 30 %	Sables grossiers et graviers entre 50 et 80 %	
Sables grossiers	Moins de 5 %	Plus de 50 % de sables + particules fines	< 2 mm
Sédiment hétérogène envasé	Plus de 5 %	Fort % de galets ou coquilles	> 500 µm
Graviers	Moins de 5 %	Moins de 50% de galets + coquilles	> 2 mm
Cailloutis	Moins de 5 %	Plus de 50% de galets + coquilles	

2.6. Campagne de terrain

La campagne d'acquisition des données s'est déroulée du 30 au 31 août 2018.

Les conditions météo ont été favorables, temps voilé à beau, sans vent.

Pour la collecte des données sur le terrain, P2A a mobilisé une équipe de 4 personnes, ingénieurs et techniciens de l'environnement marin pratiquant la plongée sous-marine. L'embarcation utilisée est un bateau rigide de 4,7 m de marque FunYak.

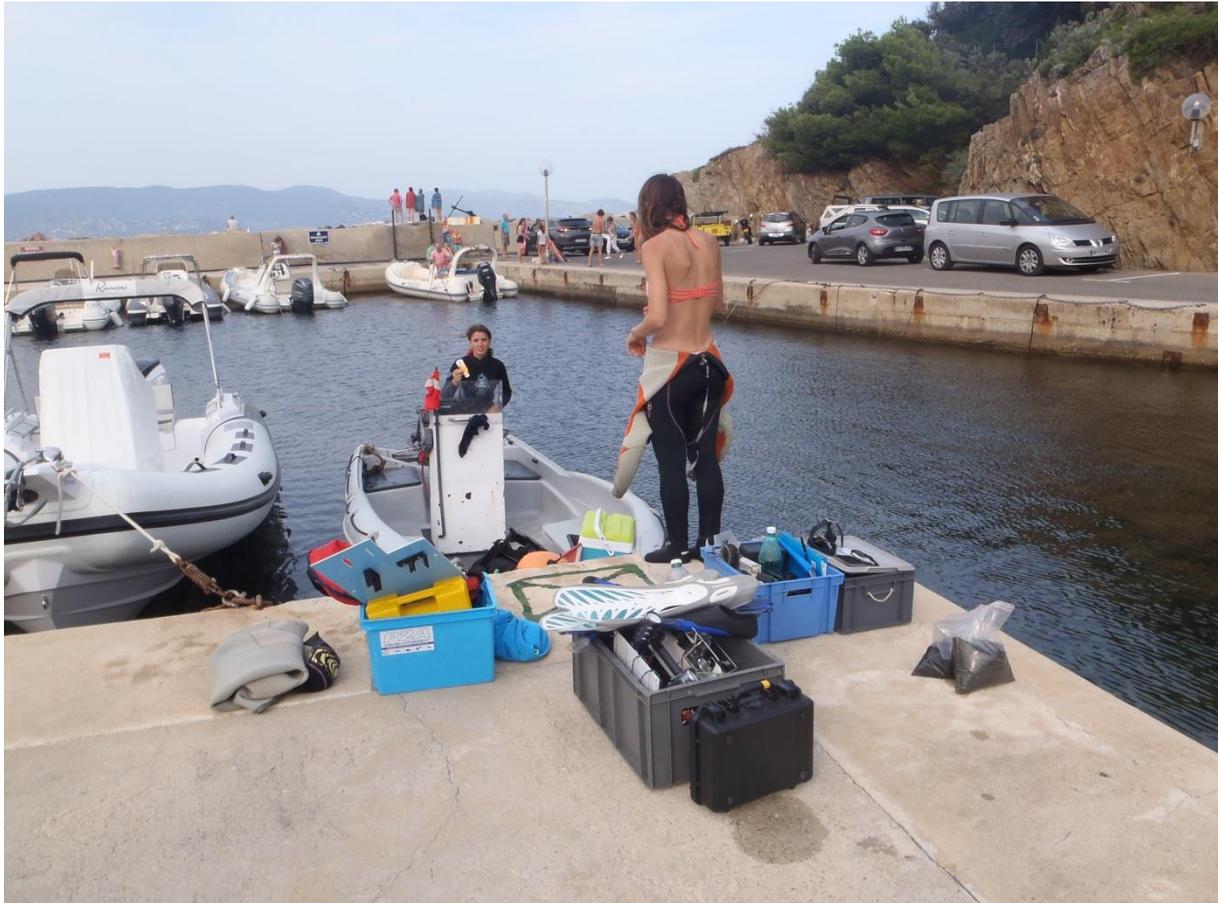


Figure 10 – Equipe et embarcation P2A

3. Résultats

3.1. Cartographie des biocénoses

3.1.1. Zone de la future ZMEL

Les investigations de terrain ont permis de réaliser la cartographie détaillée des biocénoses observées sur la zone de la future ZMEL. Les habitats observés sont variés (herbier de posidonie sur roche, fonds meubles, roche). La moitié de la zone est couverte par un herbier de posidonie sur roche, principalement implanté au nord et à l'ouest. Un fond sableux, parfois recouvert de laisses de posidonie (feuilles mortes), est observé, plutôt à l'est de la zone. Au sud-ouest, à proximité de la côte, on constate une plus grande présence de substrat dur (roche).

La répartition des biocénoses observées est la suivante :

Biocénose	Surface (en m ²)	Pourcentage de recouvrement
Herbier de posidonie sur roche	4 213	50%
Fonds meubles	3 516	41%
<i>Sable</i>	2 154	
<i>Sable recouvert de laisses de posidonie</i>	1 362	
Substrat dur (roche)	771	9%
TOTAL	8 500	100%

La cartographie des biocénoses de la zone d'étude est la suivante :

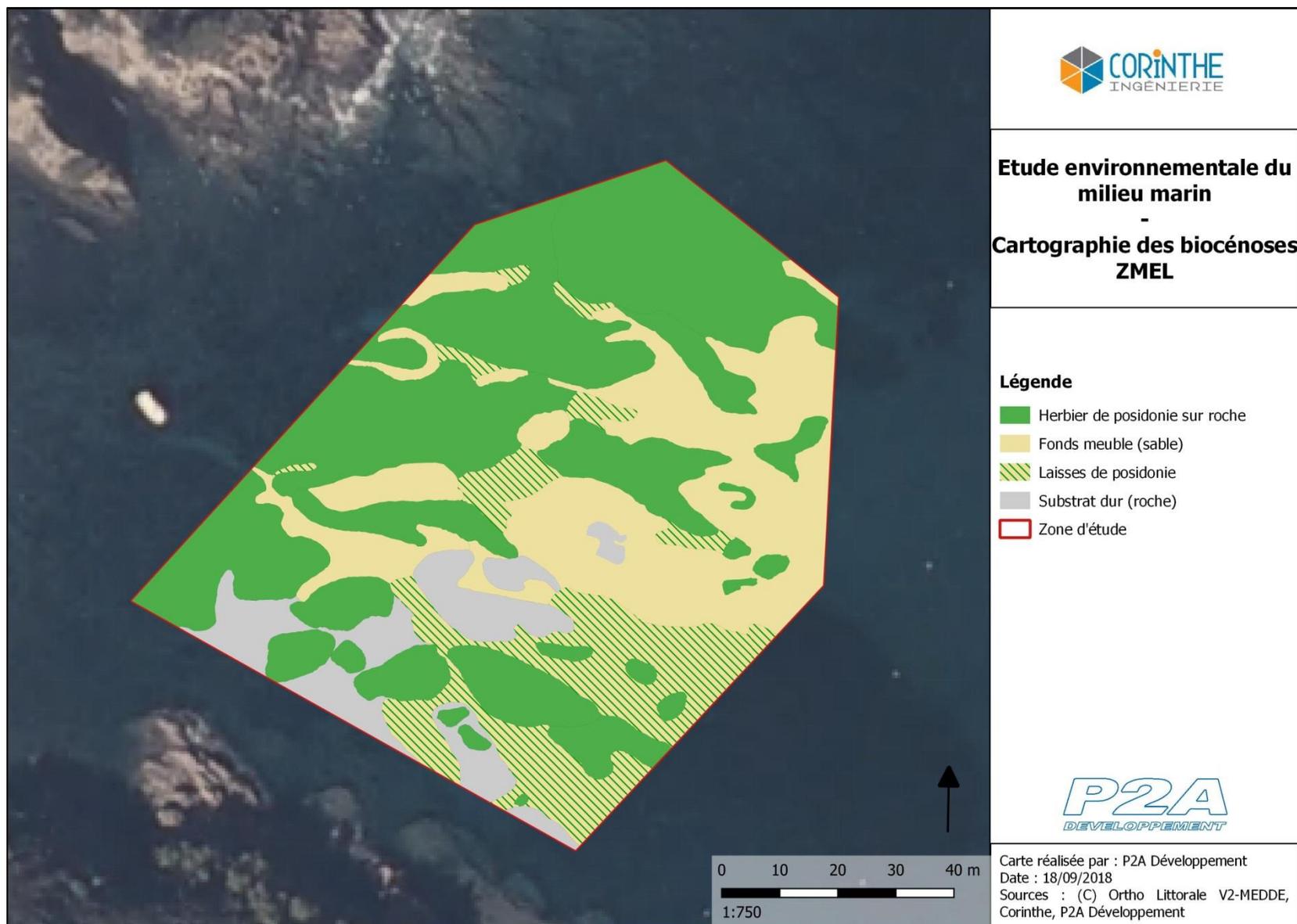


Figure 11 – Cartographie des biocénoses – ZMEL (P2A Développement)

3.1.2. Zone du port

Au niveau de la zone du port, des investigations ont été menées en 2017 par la société Semantic TS. Une cartographie détaillée de la présence des espèces à enjeu écologique (herbier de posidonie et grandes nacres de Méditerranée) avait alors été réalisée. Les investigations menées au cours de la présente étude ont pour objectif de valider et/ou compléter ces observations de 2017.

Les investigations menées par les plongeurs scientifiques ont permis de valider la majorité des observations antérieures. Quelques faisceaux d'herbier de posidonie non répertoriés ont néanmoins été observés ainsi que plusieurs nacres et un petit herbier de cymodocées, à proximité du quai situé contre la digue.

La cartographie actualisée synthétisant les observations réalisées en août 2018 est présentée ci-après.

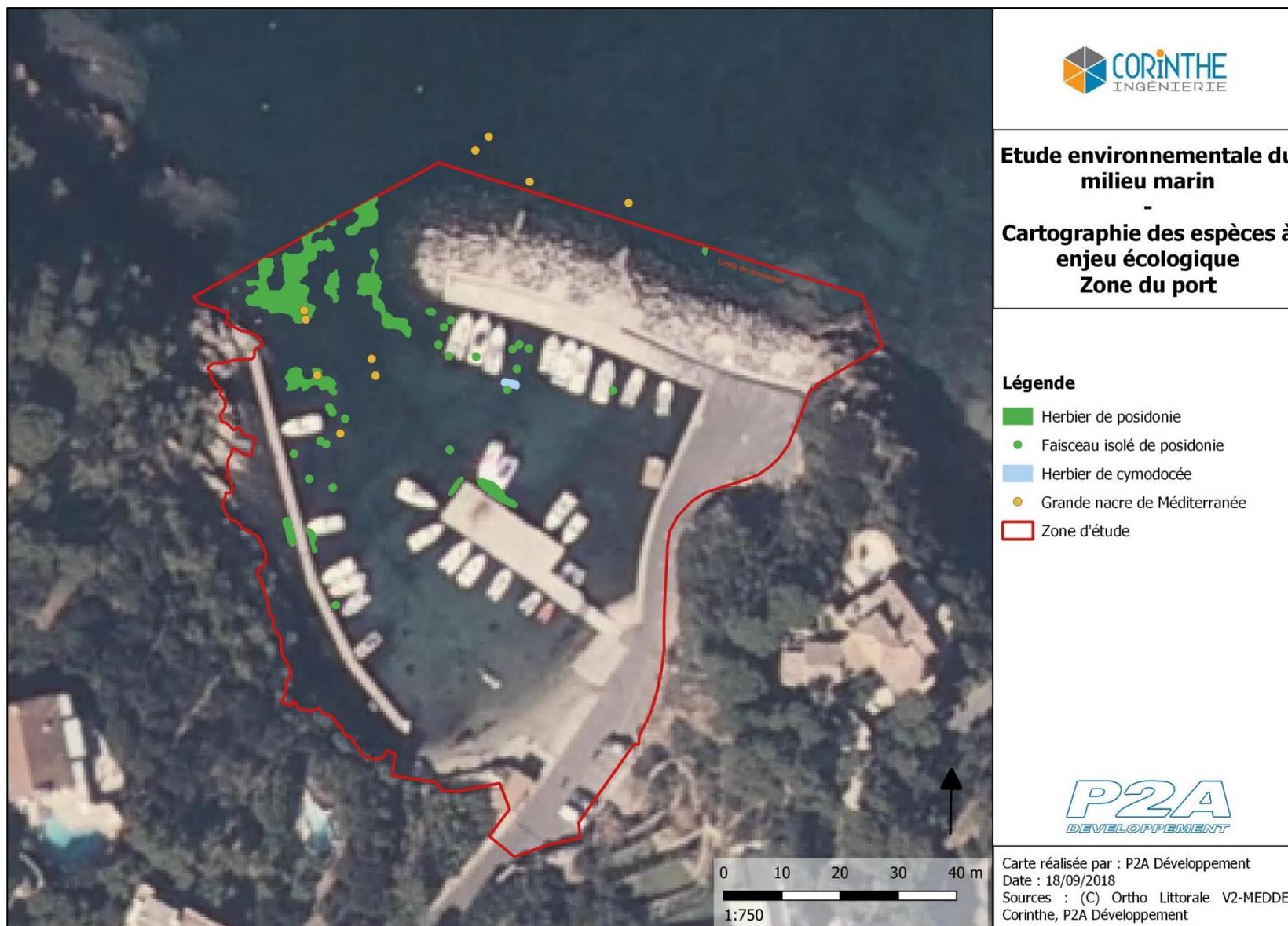


Figure 12 – Cartographie des espèces à enjeu écologique – Zone du port (P2A Développement)

3.2. Espèces à enjeu écologique

3.2.1. Grandes nacres de Méditerranée

Les investigations de terrain ont permis de détecter la présence de 21 nacres sur la zone d'étude, 11 dans la zone de ZMEL ou à proximité et 10 dans la zone du port.

Les caractéristiques de ces nacres sont les suivantes :

Tableau 7 : Caractéristiques des nacres observées

Nacre n°	Largeur base	Largeur max	Hauteur (hors sol)	Observations (environnement, espèces associées, état, etc.)
1	6	8	10	Juvenile
2	11	18	19,5	Peu épiphytée
3	10	14	14,5	Juvenile – Epiphytée / Caulerpe
4	4,5	7	7,5	Juvenile - Epiphytée / Caulerpe
5	7,5	16	22	Epiphytée / Caulerpe / Girelle, castagnoles
6	10	16,5	19,5	MORTE / Caulerpe / Girelle, serran chevrette
7	6	20	23	Epiphytée / Caulerpe / Girelle, sars
8	7	8	9	Juvenile - Epiphytée / Girelle, sars
9	6	23	22	Epiphytée
10	6	9	25	Epiphytée / Girelle, serran écriture
11	10	17	25	Peu épiphytée
12	10	19	32,5	Epiphytée
13	13	21	25	Epiphytée / Sars, girelle, padines
14	15	26	33	Epiphytée / Très large
15	12	20	30,5	Peu épiphytée
16	12	18,5	26	Peu épiphytée
17	12	22	28	Epiphytée / Proximité cordage
18	18	21	30	Epiphytée / Padines / Proximité cordage
19	16	21,5	24	Epiphytée / Padines
20	6	7	5	Juvenile - Sur corde / Sar, serran chevrette, girelle
21				MORTE – non mesurée / Caulerpe

Sur les 21 individus recensés, deux individus adultes morts ont été observés. On observe également 6 individus juvéniles (hauteur totale estimée inférieure à 24 cm).

La présence de *Caulerpa racemosa* a été observée au niveau de plusieurs nacres, principalement dans la zone ZMEL mais également dans le port. La présence de cette espèce invasive requiert la mise en place de mesures spécifiques visant à éviter sa propagation.

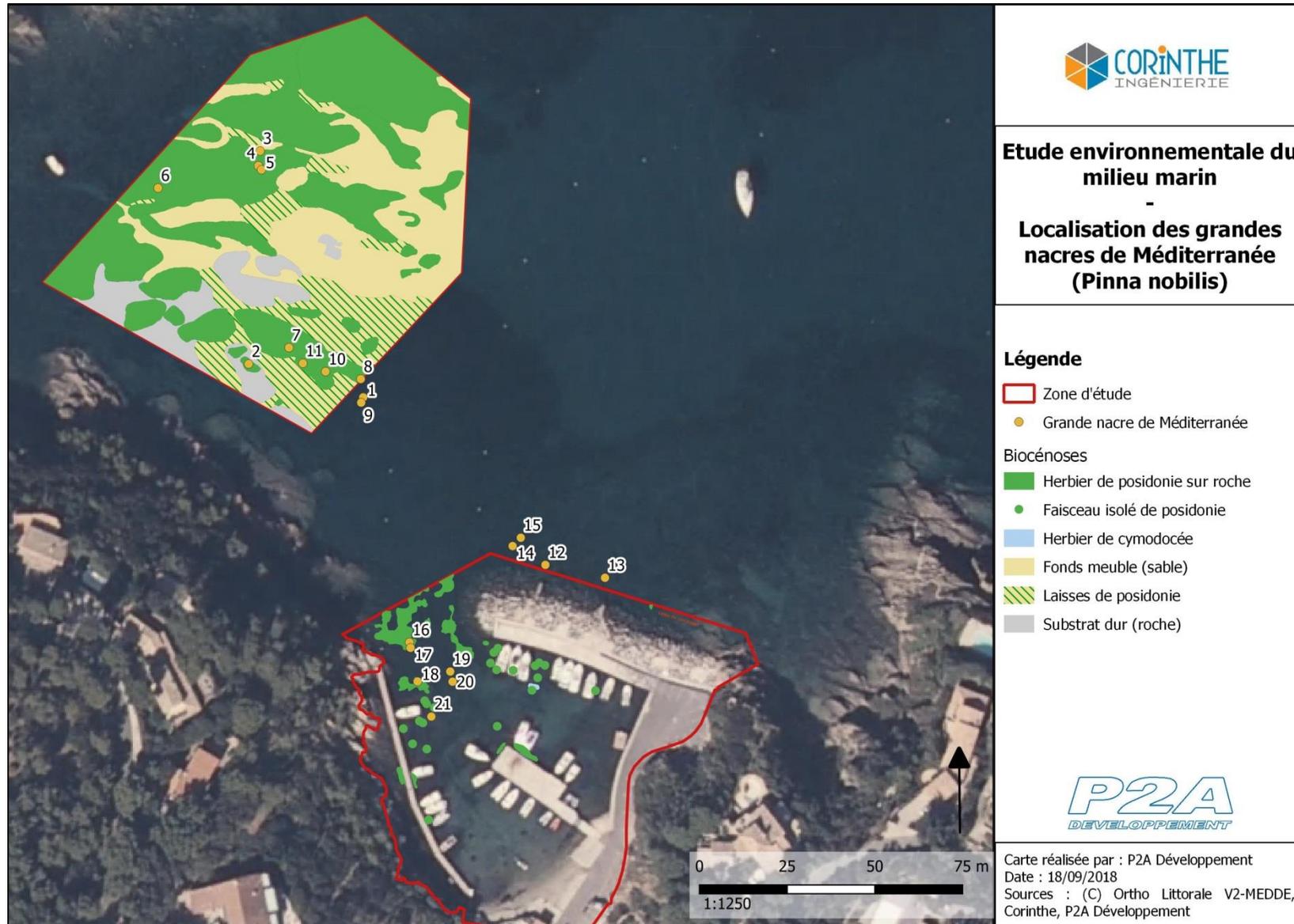


Figure 13 – Carte de localisation des Grandes Nacres de Méditerranée (P2A Développement)

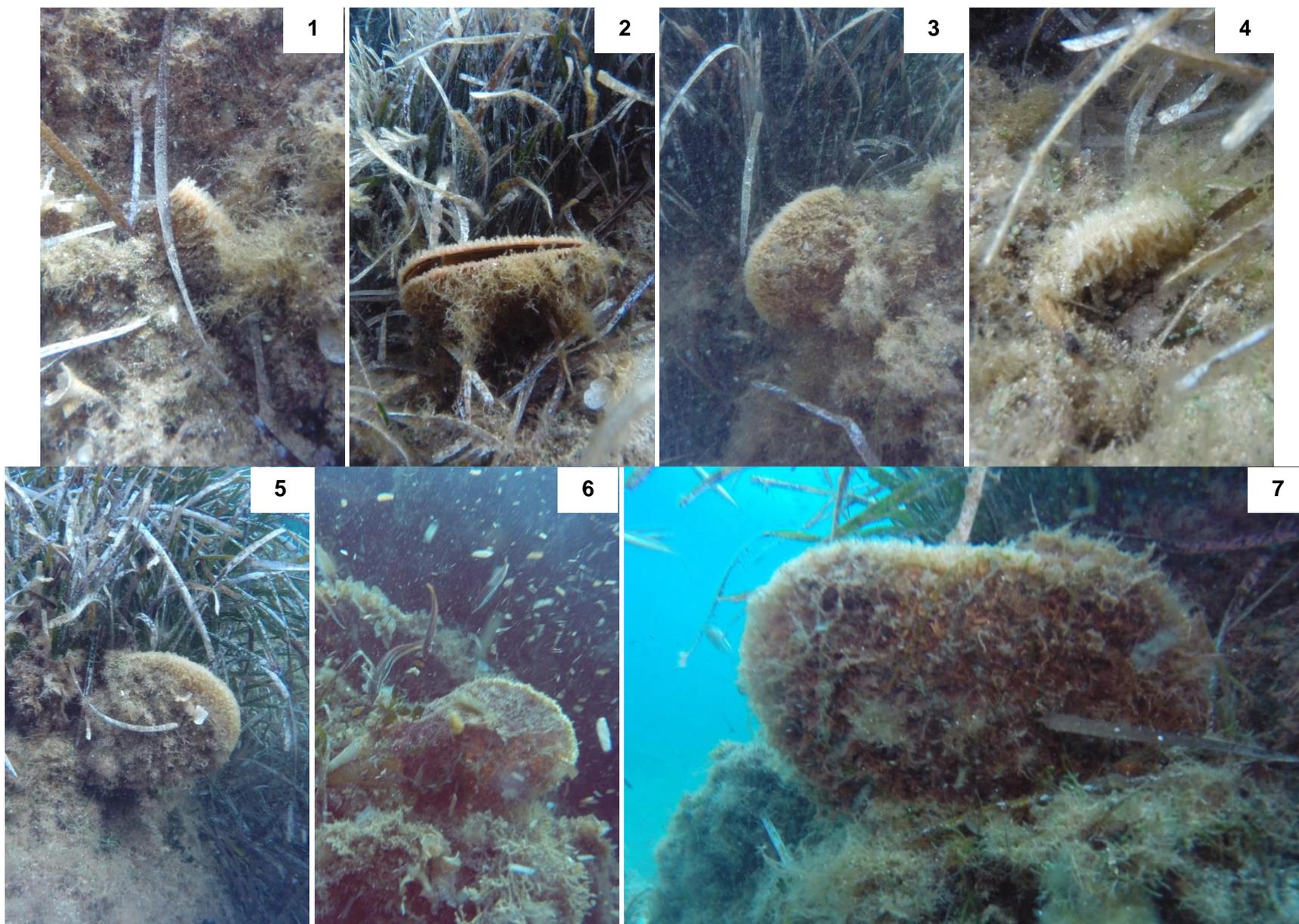


Figure 14 – Photographies des nacres, de 1 à 7 (P2A Développement)

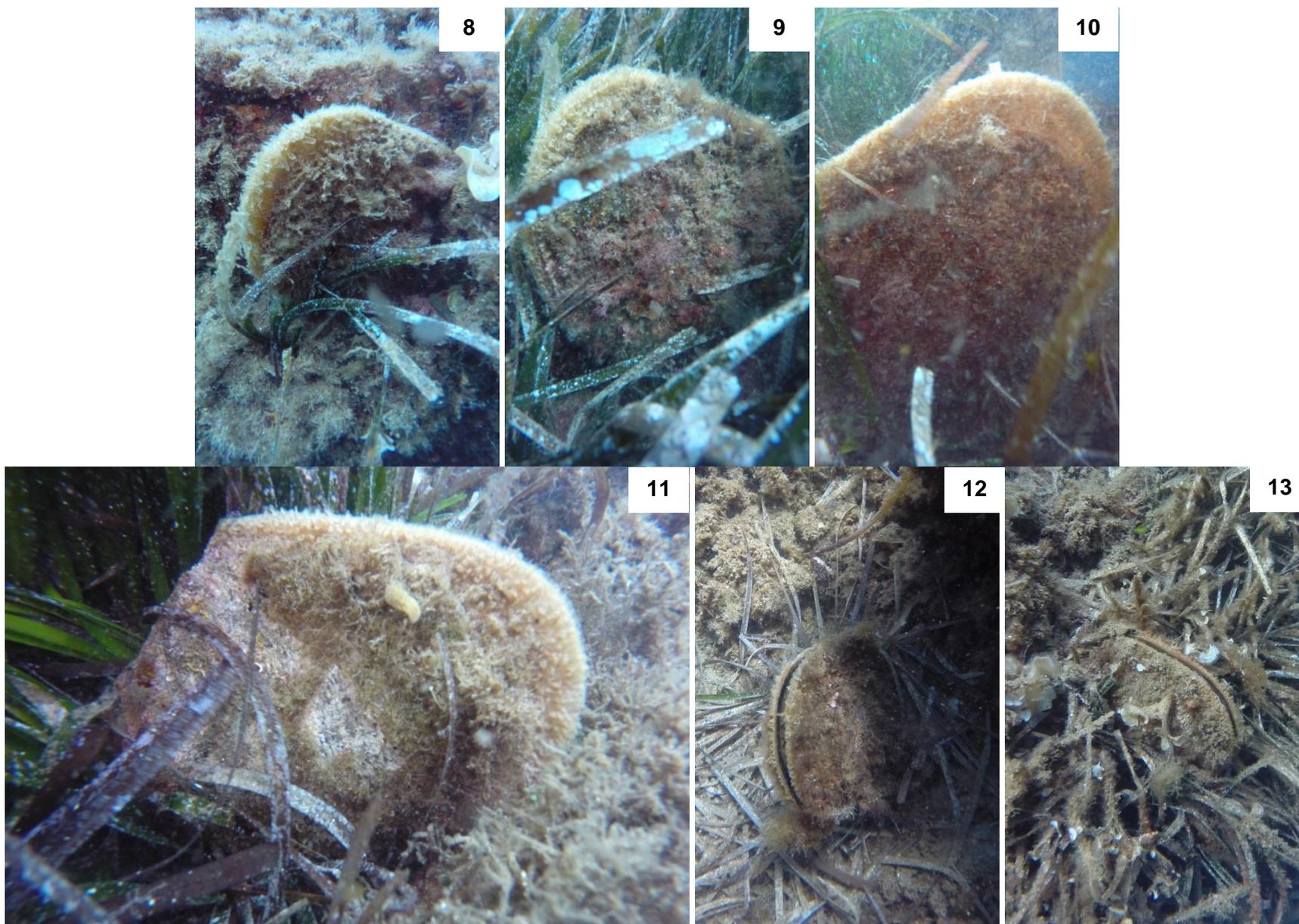


Figure 15 – Photographies des nacres, de 8 à 13 (P2A Développement)

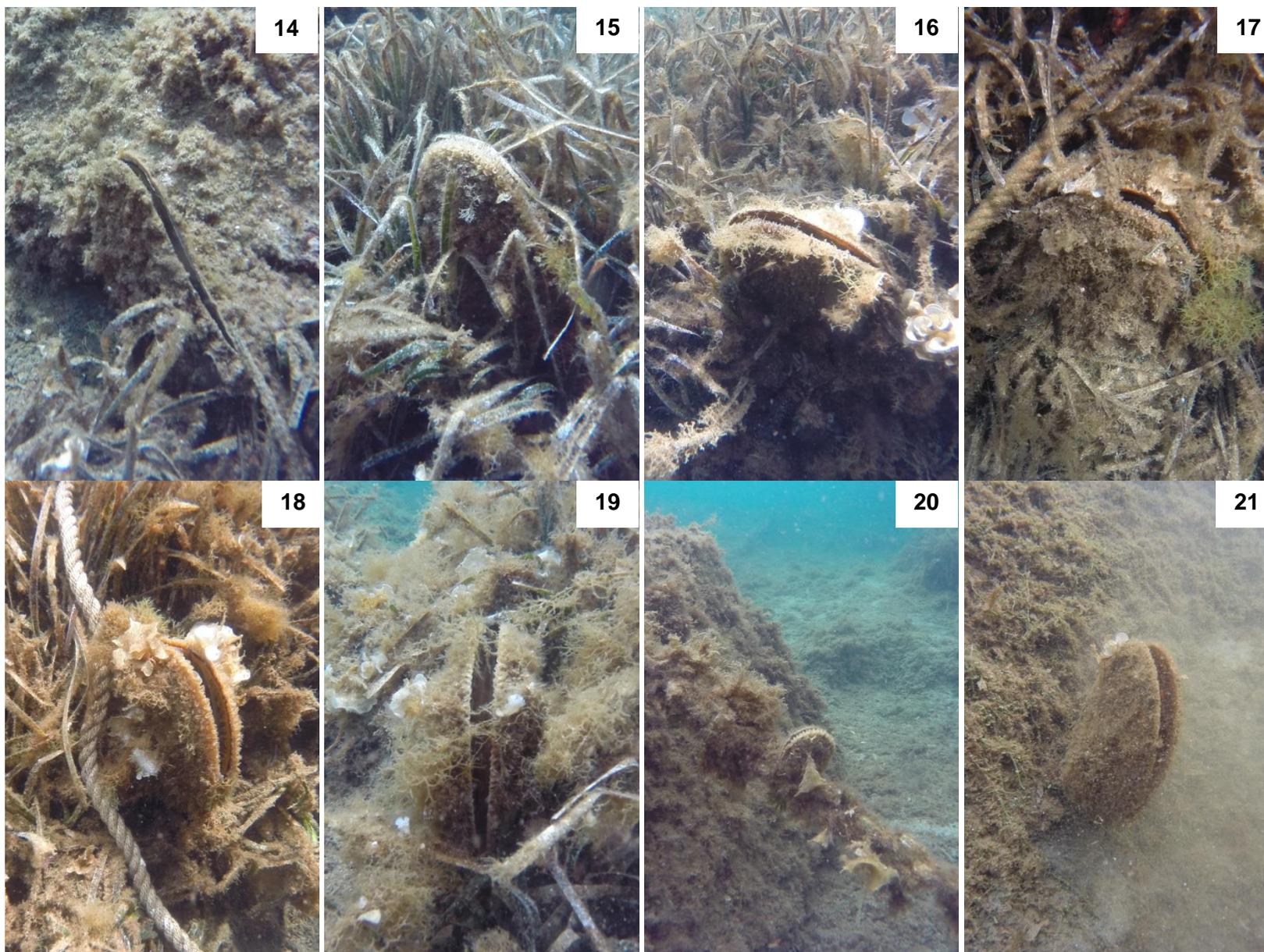


Figure 16 – Photographies des nacres, de 14 à 21 (P2A Développement)

3.2.2. Herbier de posidonie : Caractérisation de l'état de vitalité

La vitalité des herbiers a été évaluée au niveau de 2 stations, une dans la zone de la future ZMEL, l'autre dans la zone du port.

La localisation des stations est reportée sur la carte ci-dessous.

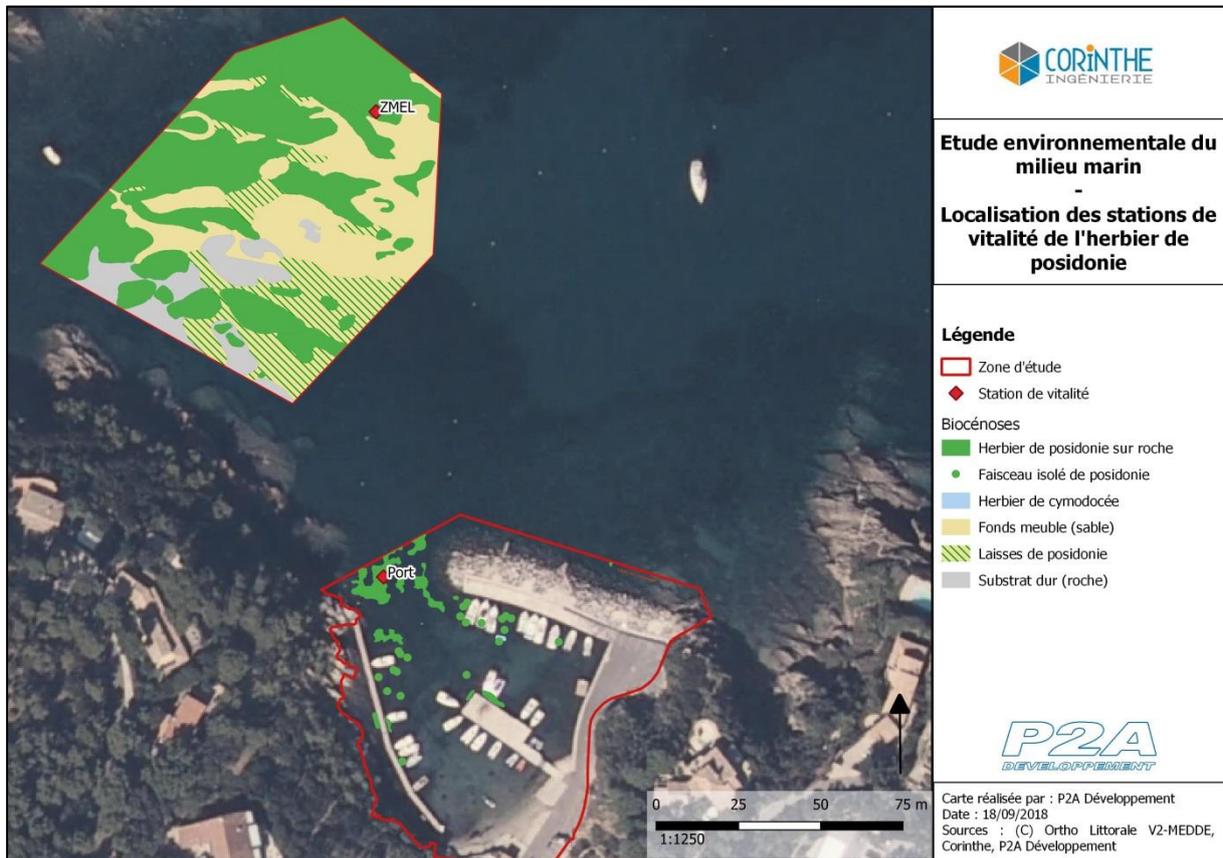


Figure 17 – Carte de localisation des stations de vitalité (P2A Développement)

3.2.2.1. Station ZMEL

Station	ZMEL	
Date	30/08/2018	
Observateur	AM	
Profondeur (m)	6,6	
Limite	Franche	
Morphologie	Continu	
Nature du fond	Sable coquiller sur roche	
Densité foliaire (nb faisceaux/m ²)	865	
Classification Pergent 1995	Densité subnormale supérieure	
Pergent 2007	Très bonne	
Nombre de feuilles par faisceau	5,2	
Lmax (cm)	56,2	
Recouvrement	65,5%	
Classification	Fort recouvrement	
Déchaussement ortho	2,2	
plagio	0	
Classification	Déchaussement faible	
% plagio/ortho	100% ortho	
Interprétation	Herbier stable, peu ou pas de progression	
Observations		Etat de vitalité : Bon
Epiphytes	oui	
Broutage	oui	
Faune / flore	Sars, crénilabre, girelles, castagnoles, saupes	

L'herbier, situé au nord de la zone de la future ZMEL, présente un bon état de vitalité. Il est dense avec un bon taux de recouvrement et des feuilles longues et peu épiphytées. L'herbier de type continu, bien que la configuration d'herbier sur roche induise une implantation hétérogène, en fonction du relief du substrat.

3.2.2.2. Station Port

Station	Port	
Date	31/08/2018	
Observateur	CM	
Profondeur (m)	3,2	
Limite	Franche	
Morphologie	Mosaïque	
Nature du fond	Sablo-vaseux sur roche	
Densité foliaire (nb faisceaux/m ²)	780	
Classification Pergent 1995	Densité normale	
Pergent 2007	Moyenne	
Nombre de feuilles par faisceau	4,05	
Lmax (cm)	37,8	
Recouvrement	74,9%	
Classification	Fort recouvrement	
Déchaussement ortho	2,4	
plagio	0	
Classification	Déchaussement faible	
% plagio/ortho	100% ortho	
Interprétation	Herbier stable, peu ou pas de progression	
Observations		Etat de vitalité : moyen
Epiphytes	Oui	
Broutage	Oui	
Faune / flore	Labre, girelle, sars, saupe, padines	

La station de vitalité est située dans l'herbier de posidonie implanté dans l'entrée du port. L'herbier y est en mosaïque, c'est-à-dire qu'il est discontinu, les zones recouvertes d'herbier sont séparées les unes des autres par des zones de substrat nu.

Les feuilles sont assez grandes mais très épiphytées ce qui les alourdit et les incline vers le sol. L'herbier présente une densité considérée comme moyenne à normale pour un herbier situé à cette profondeur. Le recouvrement est bon.

3.2.3. Herbier de cymodocée

Au cours des investigations dans le port, un herbier de cymodocée a été observé. Il s'agit d'une petite zone d'implantation (environ 4 m²) d'herbier épars, peu dense.

Il se situe à proximité du quai de la digue, dans une zone où quelques faisceaux de posidonie sont également présents.



Figure 18 – Localisation de l'herbier de cymodocées (P2A Développement)

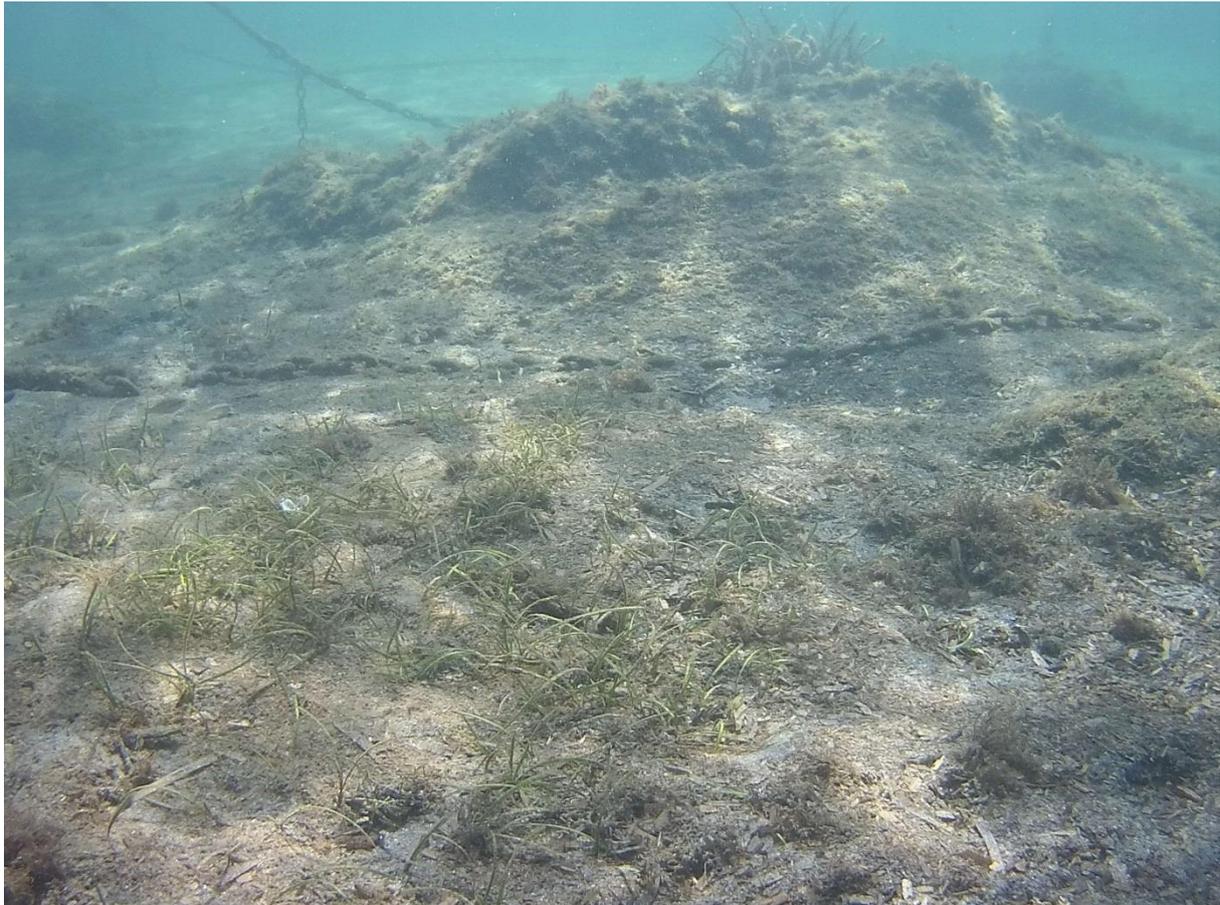


Figure 19 – Herbier de cymodocées



Figure 20 – Détail de l'herbier de cymodocées

3.2.4. Inventaire biologique

Plusieurs espèces de faune et de flore ont été observées au cours des investigations des différentes biocénoses présentes sur la zone d'étude.

Il s'agit des espèces typiques et représentatives de l'ichtyofaune des herbiers de posidonie.

Tableau 8 : Inventaire des espèces de faune observées

Familles	Espèces		ZMEL	Port	Observations
Atherinidae	<i>Atherina boyeri</i>	Atherine / Joel	+++	+++	Juveniles / Adultes
Blenniidae	<i>Parablennius gattorugine</i>	Blennie gattorugine	-	+	Adultes
Sparidae	<i>Diplodus annularis</i>	Sparaillon	++	++	Adultes
Sparidae	<i>Diplodus sargus</i>	Sar commun	++	++	Adultes
Sparidae	<i>Diplodus vulgaris</i>	Sar à tête noire	++	++	Adultes
Sparidae	<i>Sarpa salpa</i>	Saupe	++	++	Juveniles / Adultes
Sparidae	<i>Sparus aurata</i>	Dorade royale	++	+	Juveniles (ZMEL)/ Adultes
Sparidae	<i>Oblada melanura</i>	Oblade	++		Juveniles / Adultes
Sparidae	<i>Lithognathus mormyrus</i>	Marbré	-	+	Adultes
Sparidae	<i>Boops boops</i>	Bogue	+	-	Adulte
Labridae	<i>Symphodus</i>	Crénilabre	+++	++	Juveniles / Adultes
Labridae	<i>Coris julis</i>	Girelle	+	++	Adultes
Labridae	<i>Symphodus rostratus</i>	Sublet	-	++	Adultes
Mugilidae	<i>Chelon labrosus</i>	Muge	++	++	Juveniles / Adultes
Mullidae	<i>Mullus surmulletus</i>	Rouget	++	++	Juveniles / Adultes
Gobiidae	<i>Gobius sp</i>	Gobie	++	+	Adultes
Pomacentridae	<i>Chromis chromis</i>	Castagnoles	+++	++	Juveniles / Adultes
Serranidae	<i>Serranus scriba</i>	Serran écriture	+++	+++	Juveniles / Adultes
Serranidae	<i>Serranus cabrilla</i>	Serran chevrette	+	+	Adultes
Moronidae	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Loup	-	++	Juveniles / Adultes
Carangidae	<i>Seriola dumerili</i>	Sériole de Duméril	++	-	Juveniles
Octopodidae	<i>Octopus vulgaris</i>	Poulpe	+	+	Adulte

Aucune espèce protégée n'a été observée lors des investigations.



Figure 21 – Prises de vue montrant les poissons observés : banc de muges / castagnoles / sar et girelles / serran écriture / sar à tête noire dans le port (©P2A Développement)

3.3. Qualité des sédiments

Les prélèvements de sédiments ont été réalisés au niveau de 6 stations, localisées dans les deux zones d'étude. La localisation des stations est reportée sur la carte ci-dessous.

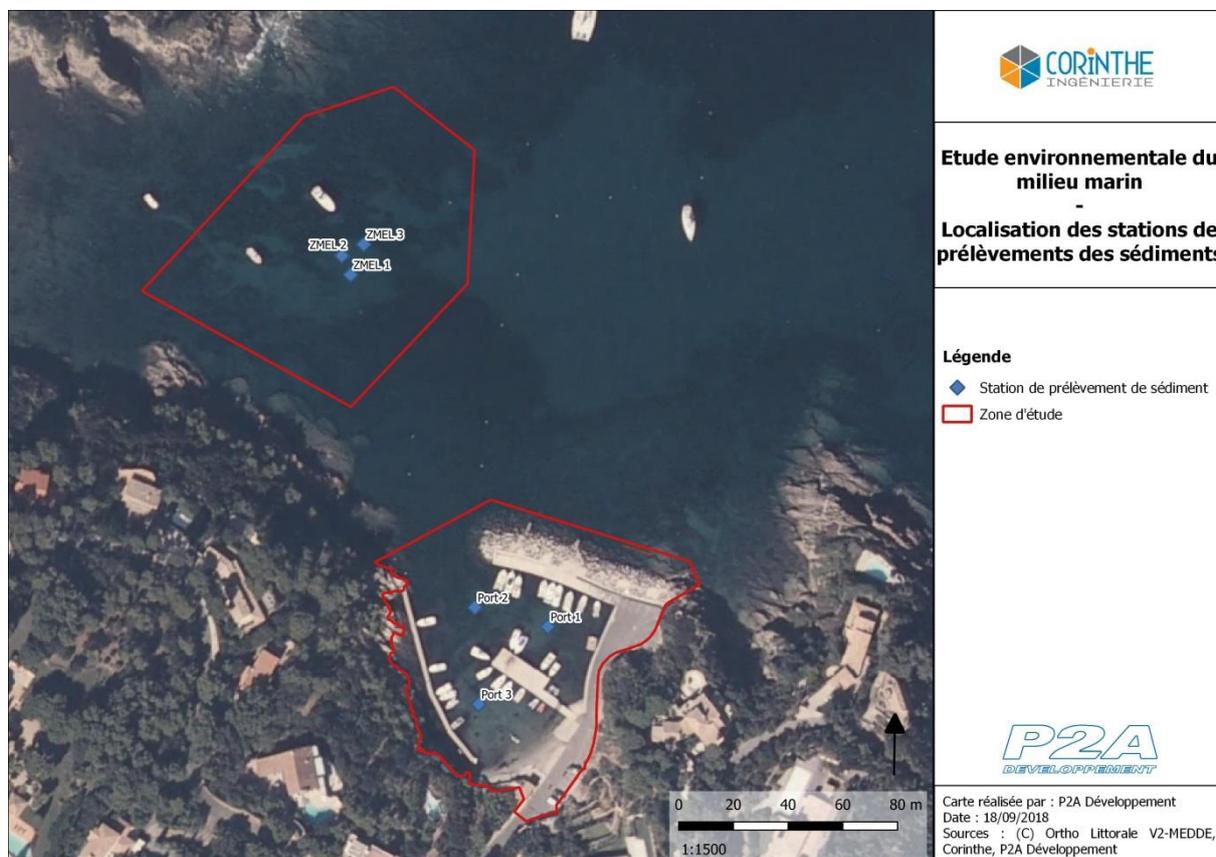


Figure 22 – Carte de localisation des stations de prélèvements de sédiments (P2A Développement)

Les paramètres concernant le prélèvement des échantillons élémentaires sont décrits ci-dessous :

Tableau 9 : Synthèse des prélèvements de sédiments

Site	ZMEL	Port
Date de prélèvement	30/08/2018	30/08/2018
Heure de début de prélèvement	16h37	17h10
Profondeur	7 m	1,5 m
Type de sédiments	Sable	Sable
Couleur	Gris	Noir
Odeur	Pas d'odeur	Faible odeur

3.3.1. Granulométrie

La composition granulométrique des échantillons a été mesurée. La figure ci-après représente les pourcentages cumulés des différentes fractions des sédiments pour les deux stations.

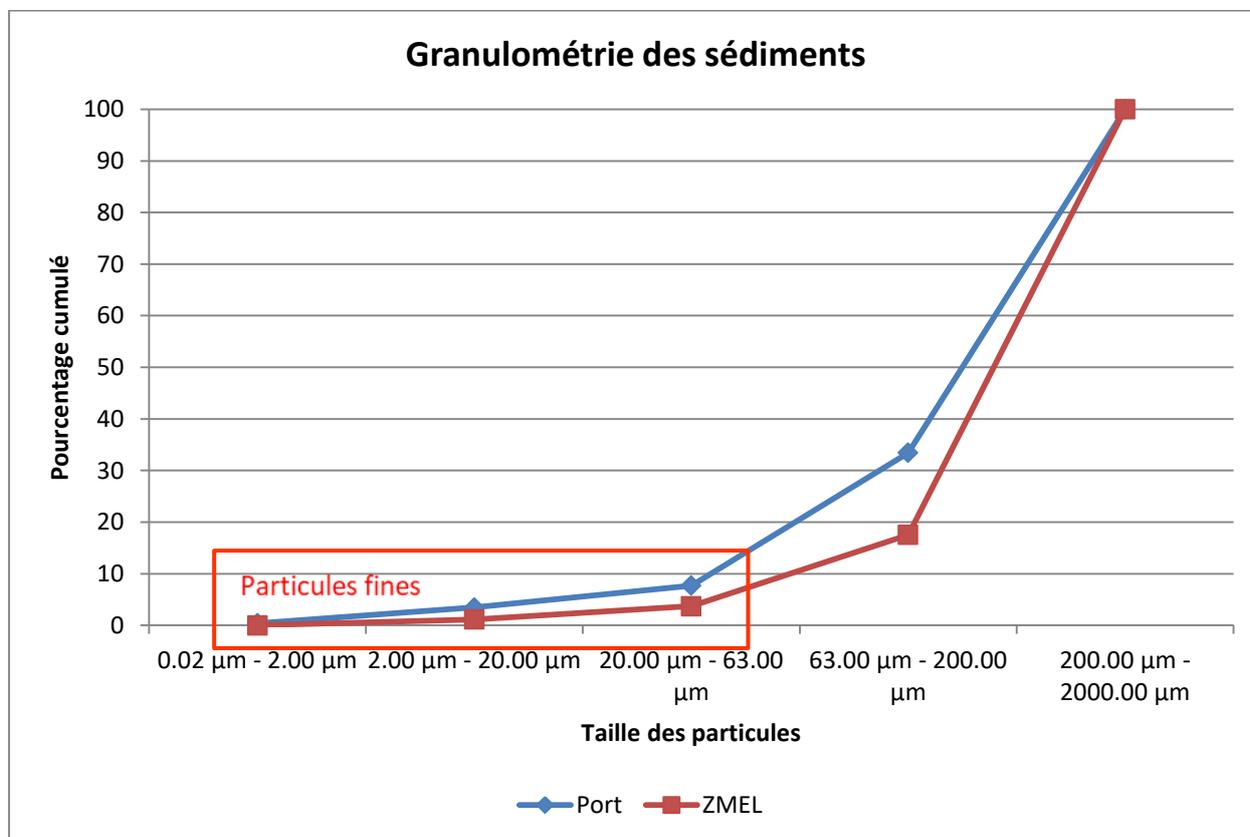


Figure 23 – Graphique représentant les sédiments selon leur composition granulométrique

On observe que les sédiments sont de nature plutôt homogène pour les deux stations, ils contiennent tous une faible proportion de particules fines.

Tableau 10 : Classification des sédiments selon leur composition granulométrique

Station	Port	ZMEL
Limons et argiles (%<63 µm)	7,71	3,71
Fraction sableuse (63 µm < % < 200 µm)	25,73	13,84
Fraction grossière (200 µm < % < 2 mm)	66,56	82,45
Refus pondéral à 2 mm	<1% PB	<1% PB
Médiane	271,29 µm	320,64 µm
Typologie des sédiments	Sables fins plus ou moins envasés	Sables fins plus ou moins envasés

Les sédiments sont des sables fins plus ou moins envasés.

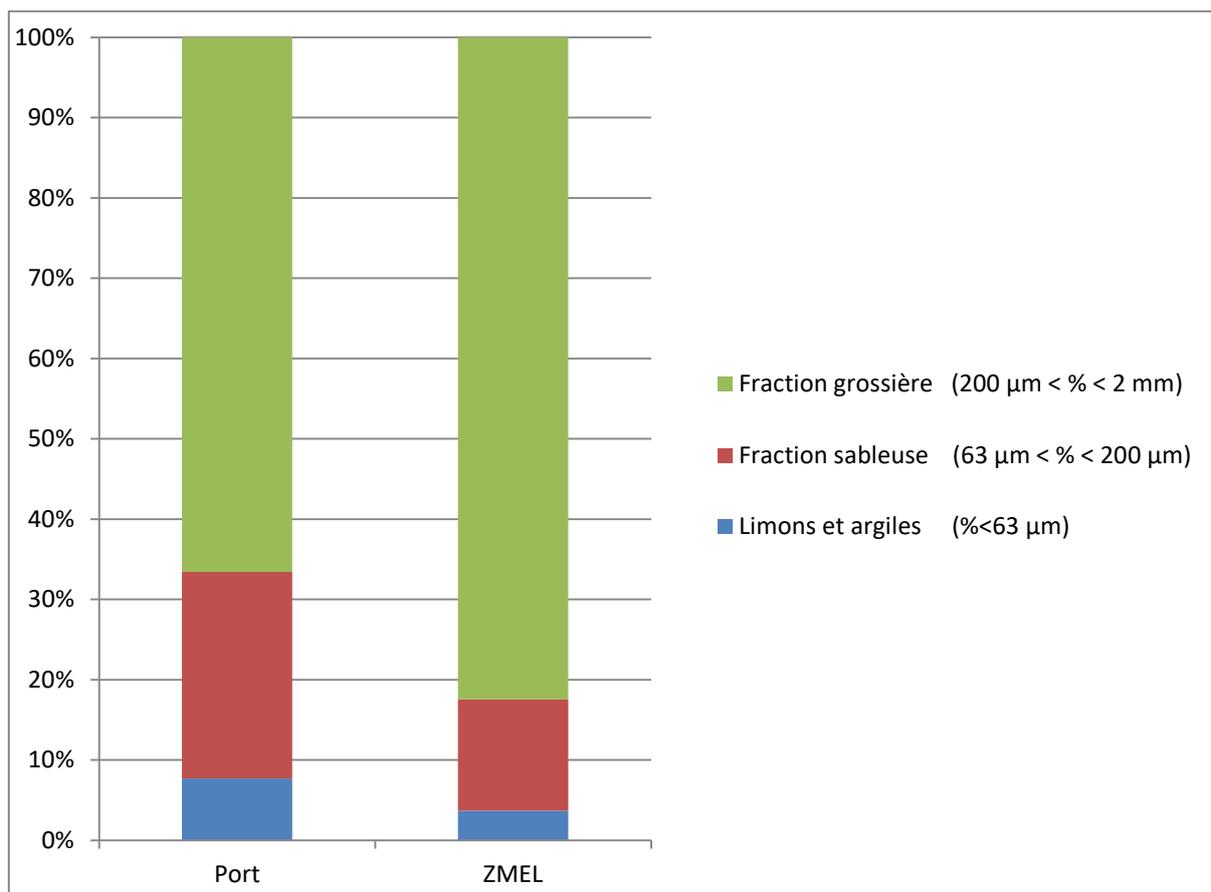


Figure 24 – Composition granulométrique des sédiments par station

Les deux stations présentent une répartition similaire des différentes fractions granulométriques, avec cependant un pourcentage de particules fines (limons et argiles et sables) plus important pour le port que pour la zone d'implantation de la future ZMEL.

3.3.2. Qualité physico-chimique

Les résultats des analyses de la qualité des sédiments sont présentés ci-dessous :

Tableau 11 : Paramètres physico-chimiques des sédiments

Station		Port	ZMEL
Date		30/08/2018	
Paramètres	unité		
Paramètres physiques			
Carbone Organique Total	mg/kg MS	1 290	<1000
Masse volumique	g/cm3	1,55	1,44
Matière sèche	% P.B.	73,6	80,1
Refus pondéral à 2 mm	% P.B.	<1,00	<1,00
Matière organique (Perte au feu)	% MS	2,93	1,05
pH		9	9,5
Azote Kjeldahl	g/kg MS	<0,5	<0,5
Phosphore	mg/kg MS	158	133
Phosphore (P2O5)	mg/kg MS	362	305
Aluminium	mg/kg	2 810	1 540

Tableau 12 : Paramètres de qualité des sédiments

Station	Port	ZMEL	NIVEAU N1	NIVEAU N2	
Date	30/08/2018				
Paramètres	unité				
Éléments traces					
Arsenic	mg/kg	6,80	5,2	25	50
Cadmium	mg/kg	<0,10	<0,10	1,2	2,4
Chrome	mg/kg	6,4	3,8	90	180
Cuivre	mg/kg	6,3	<5,00	45	90
Mercure	mg/kg	<0,10	<0,10	0,4	0,8
Nickel	mg/kg	4,0	2,2	37	74
Plomb	mg/kg	<5,00	<5,00	100	200
Zinc	mg/kg	30,5	10,1	276	552
Polychlorobiphényles (PCB)					
PCB congénère 28	µg/kg	<1	<1	5	10
PCB congénère 52	µg/kg	<1	<1	5	10
PCB congénère 101	µg/kg	<1	<1	10	20
PCB congénère 118	µg/kg	<1	<1	10	20
PCB congénère 138	µg/kg	<1	<1	20	40
PCB congénère 153	µg/kg	<1	<1	20	40
PCB congénère 180	µg/kg	<1	<1	10	20
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)					
Acénaphène	µg/kg	<2,3	<2,2	15	260
Acénaphylène	µg/kg	<2,3	2,3	40	340
Anthracène	µg/kg	<2,3	<2,2	85	590
Benzo [a] anthracène	µg/kg	2,5	2,6	260	930
Benzo [a] pyrène	µg/kg	3,6	4,4	430	1 015
Benzo [b] fluoranthène	µg/kg	5,5	3,9	400	900
Benzo [g,h,i] pérylène	µg/kg	<2,3	<2,2	1 700	5 650
Benzo [k] fluoranthène	µg/kg	<2,3	<2,2	200	400
Chrysène	µg/kg	<2,3	2,3	380	1 590
Di benzo [a,h] anthracène	µg/kg	<2,3	<2,2	60	160
Fluoranthène	µg/kg	6,3	4,8	600	2 850
Fluorène	µg/kg	2,3	<2,2	20	280
Indéno [1,2,3-cd] pyrène	µg/kg	<2,3	<2,2	1 700	5 650
Naphtalène	µg/kg	5,3	21,0	160	1 130
Phénanthrène	µg/kg	<2,3	<2,2	240	870
Pyrène	µg/kg	4,4	4,4	500	1 500
Organoétains					
Tributylétain (TBT)	µg/kg	<2,5	<2,5	100	400
Dibutylétain (DBT)	µg/kg	<2,5	<2,5	-	-
DiOctylétain (DOT)	µg/kg	<2,0	<2,0	-	-
Monobutylétain (MBT)	µg/kg	<2,5	<2,5	-	-
MonoOctylétain (MOT)	µg/kg	<2,0	<2,0	-	-
Tétrabutylétain (TeBT)	µg/kg	<15	<15	-	-
Tricyclohexylétain (TcHexT)	µg/kg	<2,0	<2,0	-	-
Triphénylétain (TPHT)	µg/kg	<2,0	<2,0	-	-

On observe que les sédiments sont de bonne qualité pour tous les paramètres testés, pour les deux stations.

4.Synthèse des enjeux écologiques

Les enjeux écologiques sont analysés sur la zone d'étude du port, afin d'évaluer et de hiérarchiser les enjeux présents dans la zone d'impact des futurs travaux de réaménagement des infrastructures portuaires.

Les ouvrages envisagés ont été reportés sur la cartographie de la zone d'étude, avec la zone d'impacts directs associée (10 m autour des ouvrages). La carte ci-dessous permet de visualiser les espèces impactées par la réalisation des nouveaux aménagements portuaires.

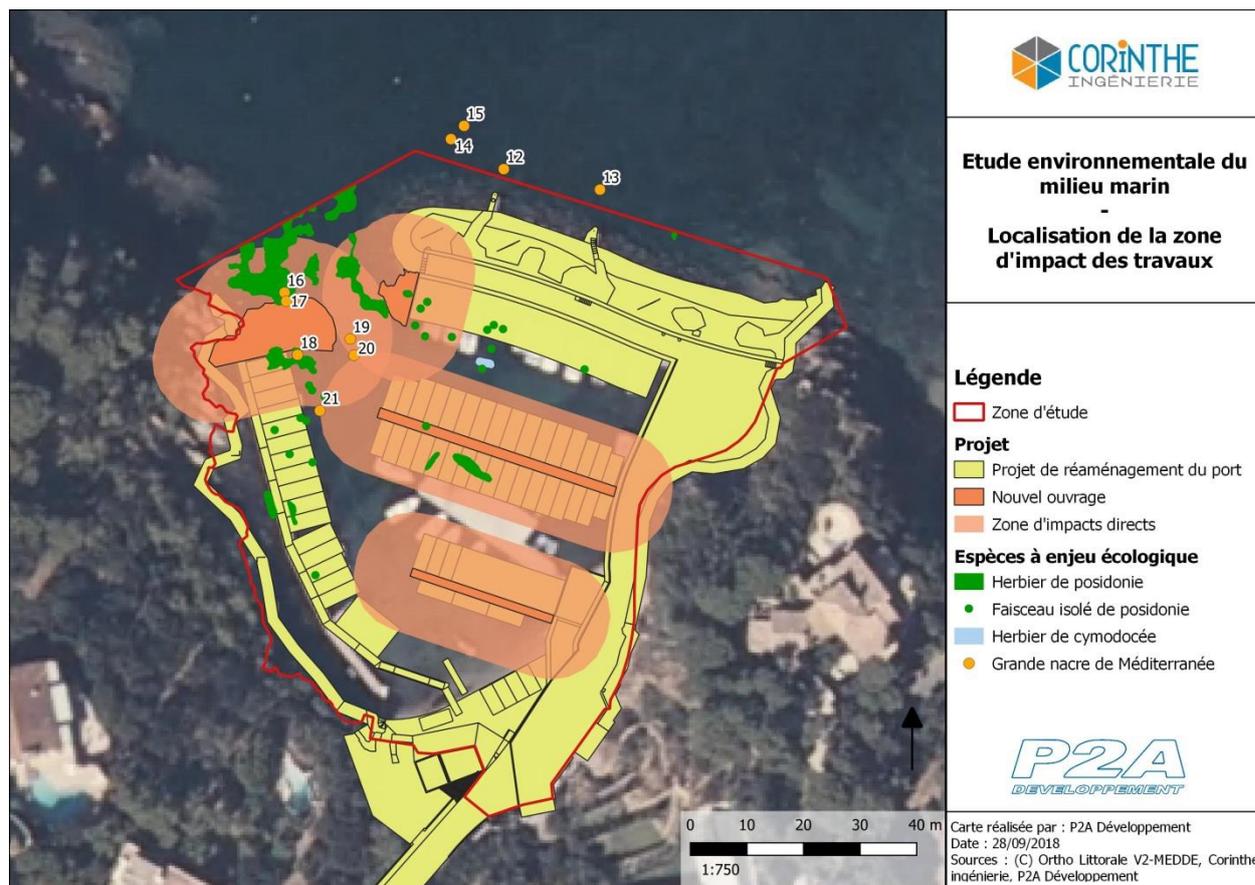


Figure 25 – Localisation de la zone d'impact des travaux de réaménagement du port

4.1. Espèces protégées présentes dans la zone d'étude

4.1.1. *Herbier de posidonie (Posidonia oceanica)*

4.1.1.1. Fiche espèce

4.1.1.1.1. Classification

Posidonia oceanica est une magnoliophyte endémique stricte de la Méditerranée, c'est une plante à fleurs qui constitue de vastes prairies sous-marines, appelées herbiers, depuis la surface de l'eau jusqu'à 30 à 40 m de profondeur, selon la transparence des eaux.

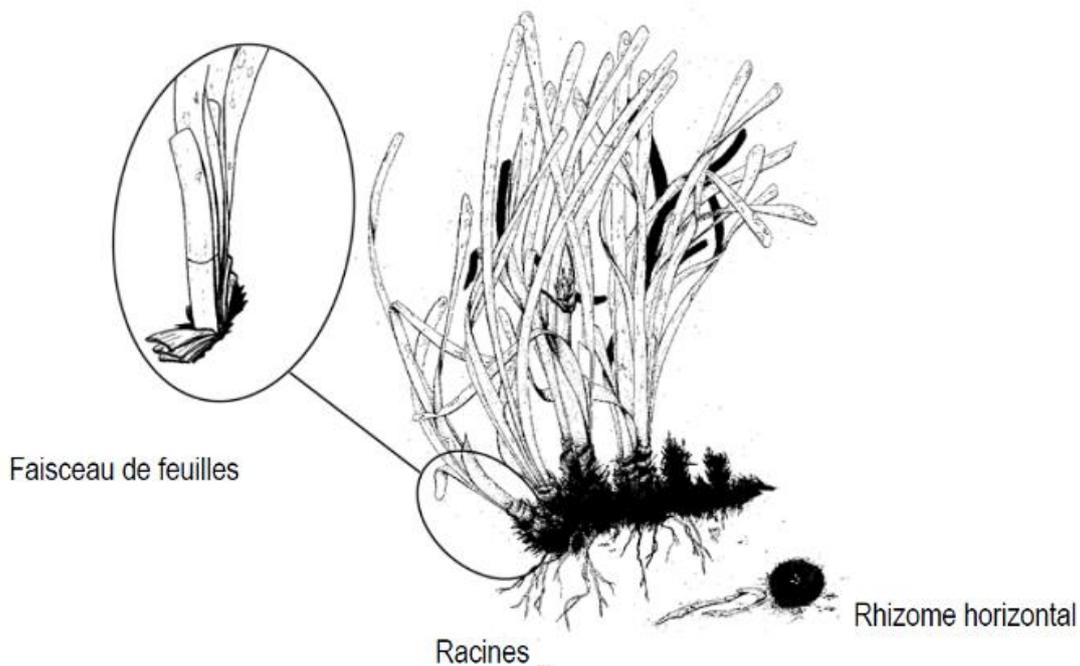
<p>Nom : <i>Posidonia oceanica</i> Nom commun : Posidonie Règne : Plantae Sous-règne : Tracheobionta Division : Magnoliophyta Classe : Liliopsida Sous classe : Alismatidae Ordre : Najadales Famille des Posidoniaceae Genre : Posidonia</p>	
---	---

4.1.1.1.2. Description

La formation des herbiers, leur dynamique et leur densité dépendent étroitement du milieu environnant. C'est une espèce sensible aux variations de la salinité et photophile exigeante en lumière et en eau claire. D'autres paramètres influencent son développement tels que la nature du substrat sur lequel les Posidonies se fixent, l'hydrodynamisme, les courants, la profondeur et la qualité des eaux (Boudouresque *et al.*, 2006). Les feuilles de posidonie peuvent mesurer de 50 à 120 cm de long et 1 cm de large.

Elles sont regroupées en faisceaux de 4 à 8 feuilles environ. Chaque faisceau de feuilles est situé à l'apex d'un axe appelé rhizome (tige souterraine), qui croît horizontalement (rhizome plagiotrope) ou verticalement (rhizome orthotrope). La densité des faisceaux peut atteindre 1000/m² près de la surface ; elle diminue progressivement en profondeur, ou elle peut descendre en dessous de 100/m² en limite inférieure de l'herbier (Pergent *et al.*, 1995).

La croissance des rhizomes de Posidonies est lente, en moyenne 2 cm par an pour les orthotropes et 10 cm par an pour les plagiotropes.



Présentation de la Posidonie. (Figure modifiée d'après une illustration de N. Müller)

Figure 26 – Illustration de la posidonie

L'herbier édifie au cours du temps un enchevêtrement complexe et extrêmement compact de rhizomes et de racines, dont les interstices sont comblés par du sédiment, que l'on nomme "mattes". Ces mattes stabilisent les fonds meubles ; elles servent d'ancrage à l'herbier ; elles peuvent atteindre une épaisseur de plus de 8 m (Molinier & Picard, 1952). Les mattes s'élèvent lentement, à la vitesse de 1 m par siècle, en fonction du taux de sédimentation et des cycles érosion-construction. L'herbier à *Posidonia oceanica* peut se présenter sous un certain nombre de types morfo-structuraux qui sont liés à l'hydrodynamisme, aux courants et/ou à la température des eaux. Il existe des herbiers continus, herbiers discontinus en mosaïque, herbiers de plaine, herbiers de colline ainsi que des herbiers tigrés.

4.1.1.1.3. Rôles et fonctions écologiques

Les herbiers à *Posidonia oceanica* constituent un écosystème-pivot de la bande littorale méditerranéenne (Molinier & Picard, 1952 ; Boudouresque & Meinesz, 1982). Ils constituent le premier pôle de biodiversité, puisque 20 à 25% des espèces animales et végétales marines méditerranéennes y ont été observées (Boudouresque *et al.*, 2006 ; Pithois-mille D., 2007).

Au même titre que la forêt en milieu terrestre, l'herbier de posidonie est le terme ultime d'une succession de peuplements et sa présence est la condition *sine qua non* de l'équilibre écologique et de la richesse des fonds littoraux méditerranéens, en termes de biodiversité et de qualité des eaux littorales.

D'un point de vue fonctionnel, les herbiers à *Posidonia oceanica* constituent à la fois une zone de nutrition, de reproduction (frayère et nurserie), de recrutement mais aussi un habitat diversifié pour de nombreuses espèces de vertébrés et d'invertébrés. Plus de 400 espèces différentes de végétaux et plusieurs milliers d'espèces animales peuplent les herbiers à *P. oceanica*, et font de ces prairies sous-marines un pôle unique de biodiversité ("hot spot") (Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Bell et Harmelin-Vivien, 1982 ; Bellan-Santini *et al.*, 1994 ; Francour, 1997 ; Boudouresque, 2004).

Les herbiers présentent une forte production primaire dont la valeur moyenne est estimée à 4,2 tonnes par hectare/an (Pergent G. *et al.*, 2008). C'est une source trophique pour de nombreuses espèces, dont certaines à forte valeur commerciale. Certaines espèces animales faisant l'objet de protection nationale ou internationale fréquentent les herbiers de posidonie.

Ils contribuent à l'oxygénation de l'eau et interviennent sur la qualité des eaux du littoral grâce à cette production d'oxygène et sur la transparence de l'eau par le piégeage des particules en suspension.

De plus, *Posidonia oceanica* a un rôle dans les équilibres hydro-sédimentaires des systèmes littoraux en protégeant les côtes de l'érosion car ils amortissent les effets hydrodynamiques de la houle. Les herbiers forment des barrières végétales grâce au piégeage des particules dans la matrice ce qui atténue l'action des vagues sur les plages et a donc un effet sur la stabilisation des cordons sableux littoraux. Les feuilles mortes de posidonie en s'accumulant sur les rivages et en constituant de véritables banquettes protègent également les plages de l'érosion.

Les herbiers jouent également un rôle majeur dans la séquestration du carbone (puits de carbone) et jouent un rôle primordial dans la régulation des changements climatiques (Duart, 2005a). Il permet de stocker 48 litres de CO₂ par jour et par m².

4.1.1.1.4. Répartition

Posidonia oceanica est présente dans presque toute la méditerranée. C'est une espèce endémique de la méditerranée. Les herbiers sont très riches et largement développés sur les côtes de Provence et des Alpes-Maritimes, en particulier dans la rade de Giens, la baie d'Hyères, ainsi que sur les côtes de Corse.

4.1.1.1.5. Causes de régressions

La posidonie est fragile car elle supporte mal la dessalure et la sursalure, des températures extrêmes, un hydrodynamisme trop intense et une forte turbidité.

Les herbiers sont en forte régression depuis la moitié du 20^{ème} siècle à cause des activités humaines (directes et indirectes) qui constituent le principal facteur de régression. On estime à plus de 90 % de pertes de surface de l'herbier dans les eaux marseillaises. Les principales causes de dégradation sont la construction d'ouvrages maritimes tels que les digues, les terre-pleins gagnés sur la mer et la construction de ports. La construction des ouvrages en mer dévie souvent les courants et entraîne une hyper-sédimentation en amont et une érosion en aval.

Les eaux fluviales et terrestres peuvent avoir également un impact sur les herbiers de posidonie du fait de phénomènes de dessalure et d'apports en nutriments entraînant l'eutrophisation des eaux côtières. Les rejets urbains peuvent accroître la quantité de particules en suspension et en nutriments entraînant une diminution de la transparence de l'eau de ce fait, la régression des herbiers.

Le rechargement des plages et les déblais de dragage entraînent également une augmentation de la turbidité empêchant l'herbier de réaliser sa production photosynthétique ce qui se traduit par une diminution du recouvrement, une plus faible densité des faisceaux et la mort des herbiers.

Les impacts mécaniques par l'action des ancrages constituent la cause d'altération des herbiers la plus fréquemment mise en avant. L'augmentation de la plaisance ces dernières décennies provoque une dégradation dans certains sites à hautes valeurs écologiques et touristiques. Une ancre a un effet sur les

herbiers car elle casse les rhizomes et les mattes à la fois en s’immergeant et en se remontant. Les chaînes raclent également sur le fond, arrachant les feuilles.

Les activités halieutiques ont également un effet en arrachant les faisceaux du fait de l’emploi des engins de pêche (comme l’utilisation des chaluts et des ganguis qui raclent les fonds). L’aquaculture diminue la vitalité des herbiers du fait d’un relargage de forte quantité d’azote et de phosphore.

La mise en place des câbles de canalisation, le dumping et l’introduction d’espèces invasives comme la *Caulerpa taxifolia* sont d’autres facteurs qui ont engendré la réduction de la surface d’herbiers en Méditerranée.

4.1.1.1.6. Protections réglementaires

En raison de son importance écologique, *Posidonia oceanica* est une espèce strictement protégée au niveau national et international.

Les conventions internationales et textes communautaires

- La Convention de Berne du 19 septembre 1979

Cette convention est relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel en Europe (1979, modifiée en 1996). L’espèce *Posidonia oceanica* est citée dans l’annexe Une de la Convention depuis le 1^{er} mars 2002 en tant qu’espèce végétale strictement protégée. La Convention de Berne précise que les États membres doivent en tenir compte dans leurs politiques pour éviter ou réduire sa détérioration, protéger les habitats et conserver les zones protégées. La liste des espèces de flore strictement protégées inclut la posidonie, zostères et les cymodocées.

- Convention de Barcelone (1976, modifiée en 1995)

Cette convention est l’outil juridique du Plan d’Action pour la Méditerranée lancé par le Programme des Nations Unies pour l’Environnement. La posidonie est listée dans l’annexe II du Protocole relatif aux Aires Spécialement Protégées et à la Diversité Biologique en Méditerranée (Protocole ASP/DB), protocole adopté à Barcelone en 1995 et doté de trois annexes qui ont été adoptées en 1996 à Monaco. Entré en vigueur en 1999, ce nouveau Protocole vise à promouvoir la conservation et la gestion durable des espaces ayant une valeur naturelle ou culturelle particulière, ainsi qu’à promouvoir la conservation des espèces animales et végétales en danger ou menacées (medpan.org).

- **espèce à protéger** par l’Organisation pour la sécurité et la coopération en Europe (OSCE). Lors de la deuxième Conférence sur la Sécurité et la Coopération en Europe (CSCE), tenue à Paris en 1991, les états participants se sont engagés à “prendre acte que les signataires de la Convention de Barcelone se sont engagés à adopter toutes les mesures appropriées pour la protection des peuplements de *Posidonia oceanica* et de toutes les autres phanérogames marines qui constituent des végétaux essentiels de l’écosystème méditerranéen, et à contrôler et réglementer la pêche au chalut et les autres activités entraînant la destruction des *Posidonia* et de toutes les autres phanérogames marines”. (GIS Posidonie, 2103, Posidonie : mesures de protection légale)

- Directive européenne « Habitats » (1992) :

L'herbier de Posidonie est mentionné dans l'annexe I de la Directive Habitat n°92/43/CEE. Il y est cité comme un habitat d'intérêt communautaire prioritaire nécessitant la création d'une zone spéciale de conservation (ZSC). Selon la typologie Natura, les banquettes de Posidonie appartiennent à cet habitat élémentaire (code Natura 1120-1).

- l'espèce est classée sur le livre de la liste rouge des espèces menacées ;
- Directive cadre stratégie pour le milieu marin du 17 juin 2008 (DCSMM : 2008/56/CE) relatif à la gestion du milieu marin et conservation des écosystèmes. L'autorité administrative pour chaque sous-région marine doit élaborer et mettre en œuvre un plan d'action pour le milieu marin (PAMM). Elles doivent réaliser un bon état écologique du milieu marin des mers européennes.
- **prise en compte** par l'Unesco, depuis la conférence de Rio en 1992 (Agenda 21). (Blouet *et al.*, 2011)

Protection nationale

- L'arrêté interministériel du 19 Juillet 1988

Espèce protégée, par l'arrêté ministériel du 19 juillet 1988 (JO du 9 août 1988) dans le cadre de la Loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature. Cet Arrêté stipule qu'il est interdit «de détruire, de colporter, de mettre en vente, de vendre ou d'acheter et d'utiliser tout ou partie» de la plante.

- La loi du littoral du 3 Janvier 1986

Milieu à préserver, en application de la Loi n° 86.2 du 3 janvier 1986, relative à l'aménagement et la protection et la mise en valeur du littoral « Loi littorale », via le décret n° 89.694 du 20 septembre 1989 portant application de dispositions du code de l'urbanisme particulières au littoral et modifiant la liste des catégories d'aménagements, d'ouvrages ou de travaux devant être précédés d'une enquête publique, modifié par le décret n° 2004-310 du 29 mars 2004 relatif aux espaces remarquables du littoral et modifiant le code de l'urbanisme.

Extrait de l'article R. 146-1 du Code de l'Urbanisme :

*« En application du premier alinéa de l'article L. 146-6, sont préservés, dès lors qu'ils constituent un site ou un paysage remarquable ou caractéristique du patrimoine naturel et culturel du littoral, sont nécessaires au maintien des équilibres biologiques ou présentent un intérêt écologique : (...) f) les milieux abritant des concentrations naturelles d'espèces animales ou végétales telles que les **herbiers**, les **frayères**, les **nourriceries** et les **gisements naturels de coquillages vivants** ; (...) »*

- Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel arrêté du 9 mai 1994

Pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, en tant qu'habitat marin Natura 2000, le Conseil Supérieur Régional de la Protection de la Nature (CRSPN) a classé l'herbier à posidonie à enjeu très fort pour son niveau de priorité régionale de conservation au motif que c'est un habitat fragile (de faible résistance), qu'il a une faible résilience (habitat qui ne repousse pas ou extrêmement lentement).

- Directive cadre Eau 2000/60/CE

Elle vise la protection de l'environnement et des écosystèmes avec réduction des pollutions.

4.1.1.2. Enjeu écologique pour le projet

La posidonie est majoritairement présente au niveau de l'entrée du port, sous forme d'un herbier discontinu. Cet herbier présente un état de vitalité moyen. Des pieds de posidonie sont également situés dans le port, sous les emplacements de mouillage et à proximité des quais et pontons. La surface d'herbier comprise dans l'enceinte de la limite de concession est de l'ordre de 215 m².

Le réaménagement du port, et en particulier les ouvrages visant à pacifier le plan d'eau (épis ouest et est), vont avoir un impact direct sur la posidonie, par destruction au cours de la phase de travaux, ainsi que par modification des conditions hydrodynamiques, à proximité des ouvrages.

En considérant que l'herbier situé à moins de 10 m des ouvrages sera impacté, c'est 164 m² d'herbier qui seront concernés (76% de l'herbier de la zone d'étude).

La posidonie, en tant qu'espèce protégée, est considérée comme un **enjeu fort**.

4.1.2. Herbier de cymodocée (*Cymodocea nodosa*)

4.1.2.1. Fiche espèce

4.1.2.1.1. Classification

Cymodocea nodosa (Ucria) Ascherson 1869 est une plante à fleur (phanérogame) marine, de la famille des Cymodoceaceae.

Nom : *Cymodocea nodosa*
Nom commun : Cymodocée (paille de mer)



4.1.2.1.2. Description de l'habitat

La cymodocée se retrouve sur des substrats meubles (sables fins ou sables vaseux superficiels), souvent riches en matière organique, en pleine mer, dans les baies abritées et dans les lagunes littorales. Les herbiers sont généralement établis dans des zones peu profondes, à environ 10 m de profondeur, ainsi que sur des lisières de posidonies jusqu'à 50 m de profondeur (Olesen et al., 2002 ; Pergent et al., 2008).

Elle apparaît fréquemment sous forme d'herbiers monospécifiques ou mixtes avec d'autres phanérogames. *Cymodocea nodosa* est considérée comme une espèce pionnière qui peut coloniser rapidement les zones dénudées du fond marin si les conditions sont appropriées (Borum et al., 2004) et qui peut survivre à un niveau modéré de perturbation (Green et Short, 2003). Après un déclin significatif, la cymodocée est capable de se remettre des perturbations, notamment du fait du stock de graines disponible dans le sédiment (Terrados 1993), mais aussi de la dispersion des boutures. De

nombreux exemples témoignent de ses taux rapides de recolonisation (Ben Maïz et Shili 2007). Confrontée au stress, cette espèce est également capable d'augmenter significativement la part de son budget énergétique consacrée à la reproduction (Pergent et al., 2012).

Les oursins, certaines espèces de poissons comme le *Sarpa salpa* et les mollusques sont des herbivores importants de ces plantes. Elle fournit également un habitat pour les hippocampes.

En général, cette espèce semble bénéficier du réchauffement global de l'environnement (Boudouresque et al., 2009). L'élévation de la température de l'eau conduira probablement au remplacement des herbiers d'affinité d'eau froide de complexité structurelle moyenne tels que *Posidonia oceanica* et *Zostera spp.*, par des espèces d'herbiers d'eau chaude de moindre complexité structurelle, comme la *Cymodocea nodosa* et *Halophila stipulacea* (Pergent et al., 2012).

4.1.2.1.3. Caractéristiques morphologiques

Les faisceaux foliaires de *Cymodocea nodosa* sont constitués de deux à cinq feuilles rubanées de 10 à 30 cm de hauteur (jusqu'à 40 cm), et de 2 à 4 mm de large en moyenne (Phillips & Menez, 1988). Les rhizomes rampants, de couleur rougeâtre, présentent des inter-noeuds de 10 à 60 mm de longueur et sont fixés au sédiment par de longues racines. Les fleurs mâles et les fleurs femelles sont séparées, portées par des pieds différents (plante dioïque). La floraison a lieu au printemps et la germination a lieu 11 mois après la formation des fruits. L'espèce se multiplie végétativement par fragmentation et dissémination de boutures (Pergent et al., 2012).

C'est une espèce vivace : ses feuilles ont une durée de vie courte et tombent généralement en hiver mais elle persiste par son rhizome. Cette espèce peut croître de 2 m par an (cf. Tableau 13) tandis que sa croissance est ralentie, voire stoppée, en hiver (Borum, 2004).

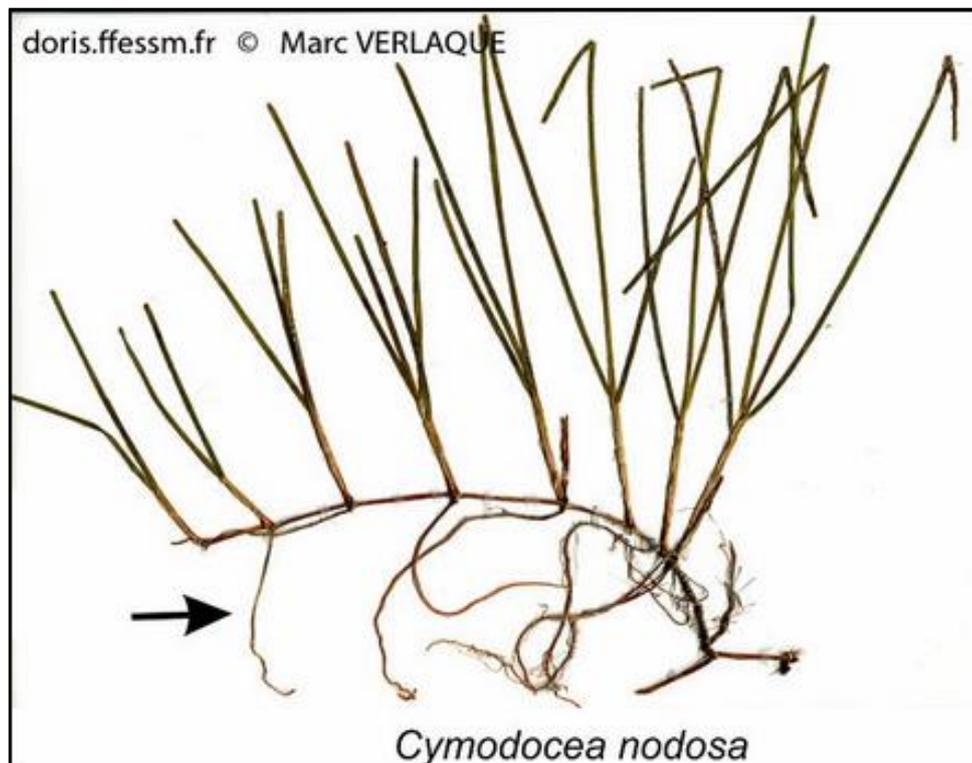


Figure 27 – *Cymodocea nodosa* : rhizome et faisceau (Marc Verlaque in DORIS)

Tableau 13 : Caractéristiques moyenne et taux de croissance des espèces d'herbier européens (Borum et al, 2004)

	<i>Cymodocea nodosa</i>	<i>Posidonia oceanica</i>	<i>Zostera marina</i>	<i>Zostera noltii</i>
Surface foliaire (cm ²)	9	82,8	34,6	1,15
Biomasse de pousses (mg poids sec)	82,8	731	272,5	6,5
Taille du fruit (mm ³)	48	523,6	18	2,8
Longueur internodale horizontale (mm)	25 (6-53)	3 (1-4)	11 (9-12)	12 (3-20)
Longueur internodale verticale (mm)	1,4 (0,1-2,5)	1 (0,4-2)	nd	nd
Longueur des racines (cm)	21,3	43,1	nd	3,2
Taux d'allongement des pousses (cm/pousse/jour)	1,3	0,8	3,2	0,7
Taux d'allongement horizontal des rhizomes (cm/faisceau/an)	40 (7-204)	2 (1-6)	26 (22-31)	68 (10-127)
Taux d'allongement vertical des rhizomes (cm/faisceau/an)	1,4 (0,1-1,6)	1 (0,1-4)	nd	nd
Durée de vie des feuilles (jours)	79 (50-155)	295 (256-345)	88 (33-164)	86 (46-125)
Durée de vie des pousses (jours)	876	4373	554,8	nd

nd : non disponible

Sources : Duarte 1991, Marba et al 1996, Duarte et al 1998, Marba et Duarte 1998 et Heminga et al 1999.

4.1.2.1.4. Répartition

La cymodocée se trouve dans toute la mer Méditerranée, dans la mer de Marmara et s'étend dans l'océan Atlantique, vers le nord jusqu'au Portugal et vers le sud jusqu'aux îles Macaronésiennes (Madère, aux îles Canaries et Cap Vert), ainsi que sur la côte de l'Afrique (Mauritanie et Sénégal). L'espèce est présente sur toute la côte méditerranéenne, plus communément dans le bassin oriental (Boudouresque et al., 2009).

4.1.2.1.5. Statut et Protection réglementaire

Bien que considérée comme espèce de préoccupation mineure, à la population stable, par l'UICN, la cymodocée bénéficie, comme la posidonie, d'une protection nationale (arrêté du 19 juillet 1988).

Elle bénéficie également d'une protection internationale dans la Convention de Berne relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel en Europe, depuis 1996 (l'annexe I de la Convention de Berne (décision du Conseil européen du 3 décembre 1981)). En outre, elle figure à l'annexe II (Liste des espèces en danger ou menacées) de la Convention de Barcelone de 1976, modifiée en 1995.

Les herbiers marins également sont pris en compte par l'Unesco, depuis la conférence de Rio en 1992.

En outre, les phanérogames marines sont protégées par le règlement (CE) no. 1967/2006 du 21 décembre 2006, concernant des mesures de gestion pour l'exploitation durable des ressources halieutiques en Méditerranée, (modifiant le règlement (CEE) n° 2847/93 et abrogeant le règlement (CE) n° 1626/94).

4.1.2.2. Enjeu écologique pour le projet

Seule une petite implantation d'herbier de cymodocée a été observée dans le port, au niveau du quai de la digue. D'une superficie estimée de 4 m², cet herbier présente une densité faible.

L'herbier de cymodocée se situe en dehors de la zone d'impact directe des travaux. Elle est cependant susceptible d'être impactée de façon indirecte lors de la réalisation des aménagements (augmentation de la turbidité, risque lié aux pollutions accidentelles, etc.).

La cymodocée, en tant qu'espèce protégée, constitue un **enjeu écologique fort**.

4.1.3. Grande nacre de Méditerranée (*Pinna nobilis*)

4.1.3.1. Fiche espèce

4.1.3.1.1. Classification

L'espèce *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758) est un mollusque de Méditerranée classé dans la super famille des Pinnacea, dans la famille (Pinnidae) et appartenant au genre *Pinna* sp. Deux autres genres appartiennent à cette famille *Atria* sp. et *Streptopinna* sp..

Règne : Animalia Embranchement : Mollusca Classe : Bivalvia Sous-classe : Pteriomorpha Ordre : Pterioida Famille : Pinnidae Genre : <i>Pinna</i> Nom binominal : <i>Pinna nobilis</i> (Linnaeus, 1758)	
---	---

4.1.3.1.1. Description

La *Pinna nobilis* est un mollusque bivalve ptériomorphe qui a élu domicile dans la Mer Méditerranée depuis la fin du Miocène (Gómez Alba, 1988). Espèce endémique de Méditerranée, elle est le plus grand coquillage au monde avec le bénitier tropical.

Pinna nobilis peut atteindre une taille de 86 cm et vivre jusqu'à l'âge de 20 ans (Moreteau et Vicente, 1982 ; Butler *et al.*, 1993). Elle peut être rencontrée sur la matre de l'herbier, dans les pelouses de cymodocées, dans le sédiment, ou encore dans des cailloutis (Vicente et al. 1980, Vicente et De Gaulejac 1993, Zavodnik et al. 1991, Šiletić and Peharda 2003, Garcia-March 2006). Elle se fixe, comme pour beaucoup d'autres ptériomorphes, par les filaments du byssus, qui sont collés à des galets, maërl, sable, petits morceaux de conglomérats biodétritiques solides, des racines et des rhizomes de Posidonies (García March, 2006).

Les nacres sont implantées dans le sédiment (1/3 inférieur ou plus selon l'hydrodynamisme) et inclinées vers le courant. Elles filtrent leur nourriture : particules vivantes (plancton) ou mortes (matière

organique). Le plancton végétal, représenté par de nombreuses espèces d'algues microscopiques, est très apprécié, à condition que leur taille corresponde au diamètre de la bouche (quelques dizaines de microns). L'animal va aussi filtrer de grandes quantités d'eau (jusqu'à 100 litre) qu'il épure avant de la rejeter hors de sa coquille. Les filaments de byssus fixés dans les grains de sable et le pied permettent à la *Pinna* d'effectuer des déplacements plus ou moins importants. Couchée dans le sable, la nacre est capable de se redresser et de se replanter.

Les nacres constituent des substrats pour de nombreux organismes épibiontiques comme les ascidies (ex : *Halocynthia papillosa*), les algues (ex : *Acetabularia acetabulum*) ou d'autres bivalves comme l'huitre plate (*Ostrea edulis*).

Les juvéniles dont la croissance se fait à découvert présentent des épines sur toute leur surface. Ceux qui se développent à l'abri de l'herbier ne gardent leurs épines qu'au niveau de la ligne de croissance de la coquille. Le recrutement (l'installation des larves et leur transformation en naissain) se fait d'août à octobre. Il dépend des conditions locales : courants, forme des côtes, topographie des fonds.

Les principaux prédateurs naturels de la nacre sont : la daurade (*Sparus aurata*) qui brise les coquilles des mollusques grâce à de puissantes molaires et le poulpe (*Octopus vulgaris*) qui écarte les valves de la jeune nacre afin de se nourrir de sa chair (Combelles *et al.*, 1986 ; Fiorito et Gherardi, 1999).

4.1.3.1.2. Répartition

L'espèce est endémique de Méditerranée. En France elle est observée dans la plupart des herbiers de Posidonie étudiés et/ou protégés (Parc National de Port-Cros, Réserve de Scandola en Corse, Réserve marine de Cerbères-Banyuls, côte agathoise, etc.).

La concentration peut varier entre 1 individu/100 m² à 16 individus/100m². Des grandes étendues avec peu d'individus peuvent être interrompues par des populations de plus hautes densités (Butler *et al.*, 1993). L'estimation du niveau de densité des *Pinna nobilis* dépend de l'échelle inventoriée. Pour de grandes étendues (ex. un grand herbier de plusieurs kilomètres carrés), la concentration normale est considérée à 1 individu/100m² et élevée au-delà de 5 individus/100 m². Sur une plus petite étendue (petite baie ou un lagon côtier) une densité de 5 individus/100 m² est considérée comme faible et élevée pour 10 individus/100m² (Garcia-March et Vicente, 2006).

4.1.3.1.3. Causes de régression

Jadis abondante sur l'ensemble du littoral méditerranéen où elle était exploitée en certains endroits : Sicile, Malte, pour son byssus et sa coquille, elle s'est raréfiée, à cause des prélèvements abusifs, des aménagements du littoral, des rejets d'eaux usées, et du chalutage. Aujourd'hui, l'espèce est protégée en divers pays, et en France depuis 1992 (Vicente et Moreteau, 1991). De ce fait, les populations redeviennent plus importantes, notamment dans les zones protégées où des études concernant la biologie et l'écologie de l'espèce ont été initiées depuis quelques années, en divers pays de la Méditerranée : Croatie, France, Tunisie, Espagne, Grèce.

Depuis quelques années une épizootie touche les nacres, provenant de l'Ouest (Espagne, particulièrement des îles Baléares) et qui a déjà été observée en Sicile et en Corse. Il s'agit d'un parasite de la glande digestive qui semble se propager très rapidement, avec un taux de mortalité élevé dans les populations atteintes.

Les agressions subies par les populations de *Pinna nobilis* sont variées mais elles peuvent être classées en deux groupes :

- Les impacts chimiques, lié à la dégradation de la qualité des eaux consécutive des activités anthropiques (apports par les rejets fluviaux, pollutions, déversements d’eaux usées, etc.) ;
- Les impacts physiques (par exemple destruction par les engins de pêche, les ancres des bateaux ou ramassages par les plongeurs) (García-March et Vicente, 2006).

4.1.3.1.4. Protections

Pinna nobilis est une espèce inventoriée et protégée par différents statuts.

Tableau 14 : Liste des statuts de protection et d’inventaires de *Pinna nobilis* (Source : INPN)

Type	Date	Niveau de protection	Référence
Arrêté interministériel	1992 modifié en 2004	National	Arrêté du 20 décembre 2004 fixant la liste des animaux de la faune marine protégés sur l'ensemble du territoire.
Liste rouge de France Espèce évaluée en catégorie VULNERABLE	1994	National	Inventaire des mollusques de France métropolitaine. Bouchet, P. 1994. Mollusques in Maurin, H. & Keith, P., [Eds]. Inventaire de la faune menacée en France. Muséum national d'Histoire naturelle / WWF / Nathan. Paris. 151-155.
Directive habitats Faune-Flore 92/43/CEE	1992	Communautaire	Annexe IV relative aux espèces animales d'intérêt communautaire
Convention de Barcelone	Adopté en 1995, entré en vigueur en 1999	International	Décret n° 2002-1454 du 9 décembre 2002 portant publication du protocole relatif aux aires spécialement protégées et à la diversité biologique en Méditerranée
Convention d'Alghero	1995	International	Annexe 1, relative aux « critères de biodiversité pour les organismes infralittoraux »
Plan d'Actions pour la Méditerranée, réunion d'expert à Montpellier	1995	International	Annexe 4, relative aux « espèces menacées »
Plan d'Actions pour la Méditerranée, réunion d'expert à Tunis	1996	International	Annexe 3, relative aux « espèces en danger ou menacées »

4.1.3.2. Enjeu écologique pour le projet

Six nacres ont été recensées à l’intérieure de la limite de concession du port, dont une était morte. Les nacres situées dans le port sont soumises à un risque de mortalité plus important que celles implantées à l’extérieur, en particulier du fait de la présence de cordages (risque d’arrachement).

Les 5 nacres vivantes se trouvent à moins de 10 mètres des ouvrages et, parmi elles, 3 sont implantées à proximité immédiate des structures de l’épi Ouest. Elles seront directement impactées par le projet.

Les grandes nacres, de par leur statut de protection, représentent un **enjeu fort**.

4.2. Autres espèces de faune et de flore marine

Les espèces de poissons et céphalopodes observées dans l'enceinte du port sont les espèces habituellement rencontrées dans ce type d'habitat. De nombreux individus de juvéniles et d'adultes de 19 espèces différentes ont été recensés, mais aucune espèce protégée ou remarquable n'a été observée. Les espèces présentes sont de type mobile, elles sont peu sensibles aux travaux programmés et elles n'auront pas à subir de perte conséquente d'habitat.

L'enjeu écologique lié à la faune marine est faible.

4.3. Espèce invasive : Caulerpe grappe (*Caulerpa racemosa*)

Caulerpa racemosa (appelée caulerpe raison ou caulerpe grappe) est une algue verte de la famille des caulerpacées. Apparue depuis les années 1990 en Méditerranée, elle est considérée comme une espèce invasive sur nos côtes.

Cette caulerpe se reproduit par fragmentation, ainsi, si elle est dispersée (par exemple par arrachage mécanique et transport) chaque fragment peut se développer et créer un nouvel individu (Ceccherelli et al., 2001).

Elle a été observée dans le port en plusieurs endroits, et de façon particulièrement dense au niveau de la nacre morte (n°21).



Figure 28 – Observation de *caulerpa racemosa*

4.4. Synthèse des enjeux écologiques

Espèce	Observations	Enjeu écologique	Impact
Herbier de posidonie	Herbier discontinu, en état écologique moyen. Localisé majoritairement dans la zone d'impact direct (superficie 164 m ²).	Enjeu fort	Direct
Herbier de cymodocée	Petit herbier épars, peu dense (4 m ²). Localisé hors de la zone d'impact directe des travaux.	Enjeu fort	Indirect
Grande nacre de Méditerranée	5 nacres vivantes recensées, toutes situées dans la zone d'impact direct.	Enjeu fort	Direct
Autres espèces de faune et de flore marine	Espèces habituellement observées dans ce type d'habitat.	Enjeu faible	Direct
Caulerpe (<i>C. racemosa</i>)	Observée avec une densité importante au niveau de la nacre morte (n°21) et ponctuellement ailleurs	Espèce invasive – éviter la prolifération	Indirect

La réalisation de travaux impactant les espèces protégées présentes (posidonie, cymodocée et grande nacre) ne pourra se faire qu'après acceptation d'un dossier de demande d'autorisation de destruction d'espèce protégée (dossier CNPN) et en contrepartie de mesures compensatoires adaptées.

La présence d'une espèce invasive (*C. racemosa*) requiert la mise en place de mesures spécifiques visant à éviter sa propagation.

5. Mesures Eviter, Réduire et Compenser

Le projet de modernisation du port de l'Anse du Pradet a pour objectifs de :

- pacifier le plan d'eau, par la mise en place d'aménagements en entrée de port (construction de deux épis, à l'ouest et à l'est) ;
- augmenter le nombre de mouillages, en remplaçant le ponton central bétonné par deux pontons sur pilotis ;
- créer une zone protégée pour l'école de voile, en modifiant l'accès et le positionnement du ponton ouest existant.

Les effets du projet sur les biocénoses benthiques et en particulier les espèces protégées présentes sont :

- Une destruction localisée des biocénoses benthiques lors des opérations de mise en place des aménagements ;
- La remise en suspension de sédiments et l'augmentation de la turbidité lors de ces mêmes opérations ;
- Le risque de contamination par des substances polluantes en cas de pollution accidentelle.

Comme cela a été détaillé précédemment, ces modifications des structures portuaires interviennent sur des zones où sont implantées des espèces protégées. Il est donc nécessaire de réduire au maximum ces impacts, par la mise en place de mesures adaptées.

Les propositions de mesures ERC sont détaillées ci-après :

5.1. Mesures d'évitement

L'évitement d'impact sur les espèces protégées n'est possible qu'en déplaçant les ouvrages à distance de ces espèces. Hors, au vu de la localisation de l'herbier de posidonie et des grandes nacres, aucune solution technique efficace n'a pu être identifiée. En effet, la posidonie est présente au niveau du chenal d'entrée du port, à l'endroit de la mise en place des ouvrages de pacification du plan d'eau.

5.2. Mesures de réduction

5.2.1. *Augmentation de la turbidité dans la zone d'intervention*

Les manœuvres des moyens nautiques, ainsi que les opérations de construction des ouvrages génèrent habituellement la mise en suspension de particules, provoquant une augmentation temporaire du niveau de turbidité dans la zone. Les herbiers sont sensibles à une diminution de la luminosité, l'accès à la lumière est crucial pour leur photosynthèse. Ainsi, pour limiter tout éventuel impact liés à la dégradation de la turbidité lors des opérations, deux actions spécifiques seront mises en œuvre :

- Un suivi de la turbidité pour contrôler les incidences liées à la remise en suspension. Il consistera en une vérification de la charge en matières en suspension (MES) via des mesures régulières de la turbidité ;
- La mise en place d'un rideau anti-MES permettant de confiner la zone de dragage pendant la durée des travaux.

5.2.1.1. Suivi de la turbidité

Il est proposé la mise en place d'un suivi de la turbidité dans les zones d'herbier avec mise en place d'un protocole d'arrêt des travaux lorsque la turbidité est supérieure à un seuil fixé au préalable.

Protocole de suivi de la turbidité :

1. Pendant la période de préparation des travaux, des mesures seront effectuées à plusieurs distances de la zone de travaux afin d'établir un état zéro et de déterminer les valeurs de référence de la turbidité ;
2. Pendant les travaux, deux mesures quotidiennes de la turbidité permettront de suivre l'évolution de ce paramètre. Elles permettront de s'assurer que la remise en suspension des sables reste confinée à la zone des travaux ;
3. Si une augmentation de la turbidité est constatée (non-respect de la valeur seuil), les travaux seront stoppés temporairement jusqu'au retour des conditions initiales ;
4. Un suivi quotidien du bulletin météorologique permettra de mener le chantier dans des conditions favorables (suivi de houle notamment) ;
5. Un contrôle visuel sera également apporté durant toute la durée du chantier.

5.2.1.2. Mise en place d'un filet anti-MES

Un filet anti-MES sera utilisé lors des travaux pour limiter la propagation des sédiments en suspension, en particulier vers les herbiers de posidonie.

Protocole de mise en place du rideau anti-MES :

- mis en place en périphérie de la zone de travaux, il couvrira toute la colonne d'eau,
 - il sera composé d'un géotextile lesté avec de la chaîne et maintenu en suspension par des flotteurs en surface,
- ↳ ceci garantira l'étanchéité de la zone de travail et évitera toute dispersion des particules.

5.2.2. Pollution accidentelle

Lors des travaux, des fuites de fluides propres aux engins et outillages utilisés sont possibles :

- Fuite de carburant,
- Eau de fond de cale polluées par de l'huile et/ou du carburant.

↳ Les réservoirs de carburant sont dans des coffres étanches. Les **moteurs** sont **révisés et contrôlés régulièrement**.

Toutefois si une pollution d'hydrocarbures ou d'huile devait se produire, elle serait très vite détectée par l'apparition d'un voile irisé, visible à la surface.

↳ L'entreprise mettra en œuvre un **barrage absorbant en cas de fuite**, ainsi que l'ensemble des équipements nécessaires pour circonscrire la cause de la pollution avant de continuer le chantier.

Les **impacts liés à des fuites accidentelles sont peu probables** puisque des mesures préventives sont mises en place.

5.3. Mesures de compensation

En raison de la probable destruction d'espèces protégées, des mesures compensatoires adaptées sont à prévoir.

5.3.1. *Transplantation des grandes nacres de Méditerranée*

La présence de plusieurs grandes nacres dans l'enceinte portuaire, à proximité des ouvrages à construire, représente un impact fort du projet, qui ne peut pas bénéficier de mesures d'évitement ni de réduction.

Ainsi, il est proposé de procéder au déplacement des individus recensés, vers une zone favorable à leur développement.

Le processus de transplantation des nacres est une opération courante dans le cadre de projet en milieu marin. La transplantation consiste à prélever l'individu avec le sédiment dans lequel elle est implantée, transporter l'ensemble vers la zone de réimplantation et réintégrer la nacre et son sédiment dans une cavité creusée au préalable dans le sédiment, afin de limiter au maximum les perturbations pour l'animal.

Il est recommandé de réimplanter les nacres dans une zone protégée (interdite au mouillage) pour éviter les risques de dégradation par les ancres. La zone de réintroduction doit également présenter des caractéristiques similaires à la zone d'où vient la nacre (profondeur, environnement, etc.) pour optimiser le taux de survie.

5.3.2. *Mise en protection d'une zone d'herbier de posidonie*

L'herbier de posidonie situé dans la zone d'impact direct des travaux va être détruit, soit directement par les opérations d'excavation ou de recouvrement du substrat, soit indirectement par la modification des conditions d'hydrodynamisme.

Les transplantations d'herbier ne sont pas actuellement des opérations permettant d'obtenir un taux de survie suffisant pour pouvoir les considérer comme des mesures compensatoires adaptées. Il est préféré l'option de la mise en protection d'une superficie d'herbier supérieure à celle impactée.

Ainsi, pour le présent projet, la surface d'herbier impacté étant estimée à 164 m², la mise en protection d'une zone supérieure à 1640 m² (10 fois la surface impactée) est envisagée. La mise en protection de la zone se concrétise par une zone d'interdiction de mouillage, qui doit se situer sur une zone d'herbier de posidonie actuellement autorisée au mouillage. Cette zone doit constituer une nouvelle zone de protection et n'être donc actuellement pas déjà concernée par une interdiction de mouillage (effective ou en projet).

La zone de protection doit être garantie sur le long-terme (30 ans).

5.4. Suivi des mesures

Les mesures proposées doivent faire l'objet de suivis réguliers afin d'évaluer le taux de succès de leur mise en œuvre.

Le suivi des mesures de réduction (suivi turbidité et pollution accidentelle) s'effectue lors des phases de travaux et fait partie des éléments fournis pour le contrôle global du chantier. Un suivi environnemental spécifique peut néanmoins être mis en place.

Le suivi des mesures compensatoires est un suivi qui se déroule à la fois en phase travaux mais également en phase d'exploitation, sur plusieurs années.

Ainsi, le **suivi de la transplantation de nacres** consiste en une campagne de suivi des individus transplantés, couplé à des individus 'témoins' présents au préalable sur le site de réimplantation. Les individus (marqués pour les identifier de façon certaine lors des suivis successifs) sont mesurés et photographiés. La comparaison du taux de survie et de croissance des individus transplantés avec les individus témoins permet d'évaluer le taux de succès de l'opération. La fréquence de suivi minimale envisagée est la suivante : T0 (transplantation), T+1, T+3, T+5, T+10 ans.

En ce qui concerne **l'herbier de posidonie**, la mesure compensatoire consiste à mettre en protection une zone d'herbier similaire à celle impactée. Il faut donc maintenir la protection sur la durée considérée. En outre, un **suivi de la limite d'herbier la plus proche de la zone de travaux** peut être proposé, afin de vérifier que l'herbier est bien en dehors de la zone d'impact des travaux. Ce suivi se compose de campagne de mesure des paramètres de vitalité de l'herbier (densité, recouvrement, etc.) en une ou plusieurs stations. Ces stations sont balisées afin de mesurer avec précision l'évolution de l'herbier et son éventuelle régression. Une station témoin sera également suivie pour appréhender l'évolution globale de la zone. Ce suivi s'effectue à T0, T+1, T+3, T+5, T+10 ans.

6. Conclusions

6.1. Zone de la future ZMEL

Un **herbier de posidonie sur roche**, en bon état de conservation, occupe 50% de la superficie de la zone. Une zone rocheuse, située à l'est, près de la côte, s'étend sur une petite portion (9%) tandis que le reste du substrat se compose de substrat meuble (sable), avec de nombreuses zones d'accumulation de laisses de posidonie (feuilles mortes).

La faune et la flore observée sont celles classiquement recensées dans ce type d'habitat. Les abondances sont bonnes, avec une bonne diversité d'espèces. Plusieurs **grandes nacres de Méditerranée** (9 individus, dont 1 morte et 3 juvéniles) ont été observées dans la zone. De la **Caulerpa racemosa** a également été observée ponctuellement.

Les **sédiments** analysés sont de type sables fins plus ou moins vaseux et présentent une bonne qualité (taux inférieur au niveau N1 pour les métaux lourds, les HAP, PCB et TBT).

6.2. Zone du port

Les investigations menées dans la zone du port ont confirmé la **présence de plusieurs espèces protégées** (herbier de posidonie, de cymodocée et grandes nacres de Méditerranée).

- **L'herbier de posidonie**, espèce protégée au niveau national, se situe majoritairement dans l'entrée du port. C'est un herbier en état de conservation moyen, de type discontinu. Des implantations de « tâches », de petite superficie, ainsi que des faisceaux isolés sont également présentes dans l'enceinte portuaire. La superficie impactée par les travaux est estimée à 164 m² (76% de la totalité de l'herbier présent dans la zone d'étude).
- Six **grandes nacres de Méditerranée** (dont 1 morte et 1 juvénile), espèce également protégée au niveau national, ont été recensées sur la zone d'étude. Tous les individus vivants sont situés dans la zone d'impact direct du projet.
- Un petit **herbier de cymodocée** (4 m²), espèce protégée au même titre que la posidonie, a été observé. Il se situe en dehors de la zone d'impact direct des travaux.
- Aucune autre espèce de faune ou flore marine n'a été recensée sur la zone d'étude.

En ce qui concerne **les sédiments**, la granulométrie est représentative des sédiments de sable fins plus ou moins envasés. **Aucune contamination n'a été observée** (valeurs inférieures au seuil N1).

La localisation de l'herbier de posidonie et des nacres (entrée de port, proximité d'ouvrages à construire) conduit à envisager un **impact direct** de ces espèces, qui va nécessiter la réalisation d'un dossier de demande de dérogation de destruction d'espèce protégée (dossier CNPN). La réalisation des travaux est subordonnée à l'obtention de l'autorisation de l'autorité environnementale, ainsi que de la mise en place des mesures compensatoires, avant le commencement du chantier.

Aucune mesure d'évitement n'a été identifiée. En revanche, plusieurs mesures de réduction sont envisagées, en phase travaux : suivi de la turbidité et mise en place d'un filet anti-MES.

Des mesures compensatoires seraient les suivantes :

- Transplantation des individus de grande nacre de Méditerranée situés dans le port
- Mise en protection d'une zone d'herbier de posidonie (superficie > 1640 m²)

Des suivis devront également être définis et mis en place pour s'assurer de l'efficacité des mesures ERC proposées (suivi de la transplantation des nacres et suivi de l'herbier situé en dehors de la zone d'impact) sur une période minimale de 10 ans.

7. Bibliographie

- Agostini S., Pergent G., Marchand B., 2003. Growth and primary production of *Cymodocea nodosa* in a coastal lagoon. *Aquat. Bot.*, 76 : 185 - 193.
- Barbera C., Tuya F., Boyra A., Sanchez-Jerez P., Blanch I., Haroun R.J., 2005. Spatial variation in the structural parameters of *Cymodocea nodosa* seagrass meadows in the Canary Islands: a multiscaled approach. *Botanica Marina* 48 (2005): 122–126.
- Ben Maiz N., Shili A., 2007. Les peuplements phytobenthiques du Lac Nord de Tunis de 1926 À 2006. In: C. Pergent-Martini, S. El Asmi & C. Le Ravallec (Eds), "Proceedings of the third Mediterranean symposium on marine vegetation" Marseilles, 27-29 March 2007, RAC/SPA Publ., Tunis: 247–249
- Borum J., Duarte C.M., Krause-Jensen D. & Greve T.M. (Editors). European seagrasses: an introduction to monitoring and management. The M&MS project, pp. 1-7.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Pergent G., Shili A., Verlaque M., 2009. Regression of Mediterranean Seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina*, 52: 395-418.
- Boudouresque C.F. & Meinesz A., 1982. Découverte de l'herbier de Posidonie. Cahier n°4 1982. Parc national de Port-Cros et Parc Naturel régional de la Corse.
- Boudouresque C.F., Thommeret J., Thommeret Y., 1980. Sur la découverte d'un bioconcrétionnement fossile intercalé dans l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Calvi (Corse) *Journées Etud. System. Biogéogr. médit.*, Cagliari. CIESM. Monaco. 139-142
- Cancemi G., Buia M.C., Mazzella L., 2002. Structure and growth dynamics of *Cymodocea nodosa* meadows. Univ. Corte, Fr., International Marine Centre, Torregrande-Oristano, It., Lab. Di Ecologia del Benthos, Ischia, It. *Sci. mar.* 66(4) : 365 - 373.
- Ceccherelli, G., L. Piazzini, 2001. Dispersal of *Caulerpa racemosa* fragments in the Mediterranean: lack of detachment time effect on Establishment. *Bot. Mar.* 44, 209-213.
- CRIOBE, 2016. Suivi de la grande nacre de Méditerranée (*Pinna nobilis*) dans la baie de Peyrefite
- Ecologie.ma, 2018. Méditerranée: la survie de la grande nacre sous la menace. <https://ecologie.ma/grande-nacre/>
- Feugas Marie-Pierre, Lamare Véronique, Pergent Gérard in : DORIS, 06/03/2017 : *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asch., <http://doris.ffessm.fr/ref/specie/762>
- Gravez V. et al., 1995. Surveillance de l'herbier de Posidonie de la baie du Prado (Marseille)-Suivi 1995. Ville de Marseille & GIS Posidonie, Marseille, Fr., 56 p.
- Green, E.P., Short, F.T. (Eds.), 2003. World Atlas of Seagrasses. University of California Press, Berkeley
- Harmelin, J.G., Pergent, G., 2006. Classification des biocénoses benthiques marines pour la région méditerranéenne. UNEP/PAM/RAC/SPA, 14p.

Ibouily G., 1981. Etude sédimentologique de la rade de Marseille (Bouches de Rhône). Thèse de spécialité Univ. de Provence 130p.

Lizaud O., Serantoni Ph., 2006, Suivi de l'herbier de Posidonie sur le site du SIVOM du Littoral des Maures, 67 p.

Moreteau J.C., Vicente N., 1982 ▪ Évolution d'une population de *Pinna nobilis* L. (Mollusca Bivalvia). *Malacologia*, 22 (1-2) : 341-345

Moreteau J.C., Vicente N., 1980 ▪ Étude de l'évolution d'une population de *Pinna nobilis* L. (Mollusque eulamellibranche) au large de l'anse de La Palud (Parc national Sous-Marin de Port-Cros)

Olesen Birgit, Enríquez Susana, M. Duarte Carlos, Sand-Jensen Kaj, 2002. Depth-acclimation of photosynthesis, morphology and demography of *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* in the Spanish Mediterranean Sea. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES* Vol. 236: 89–97, 2002

Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée état des connaissances *Mésogée*, Fr., 54 :3-2

Pergent G., 2007. Protocole pour la mise en place d'une surveillance des herbiers de Posidonies. Programme « MedPosidonia » / CAR/ASP - Fondation d'entreprise TOTAL pour la Biodiversité et la Mer ; Mémoire d'Accord N°21/2007/RAC/SPA/ MedPosidonia Nautilus-Okianos: 21p.

Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.F., Buia M.C., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Mateo M.A., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R., Serrano O., Verlaque M. 2012. Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée : résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques. Gland, Suisse et Malaga, Espagne : IUCN. 80 pages.

Pergent-Martini C., Buia M., Sghaier Y., Fernández Torquemada Y., Pergent, G. & Gerakaris, V. 2015. *Cymodocea nodosa*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T153535A712011.

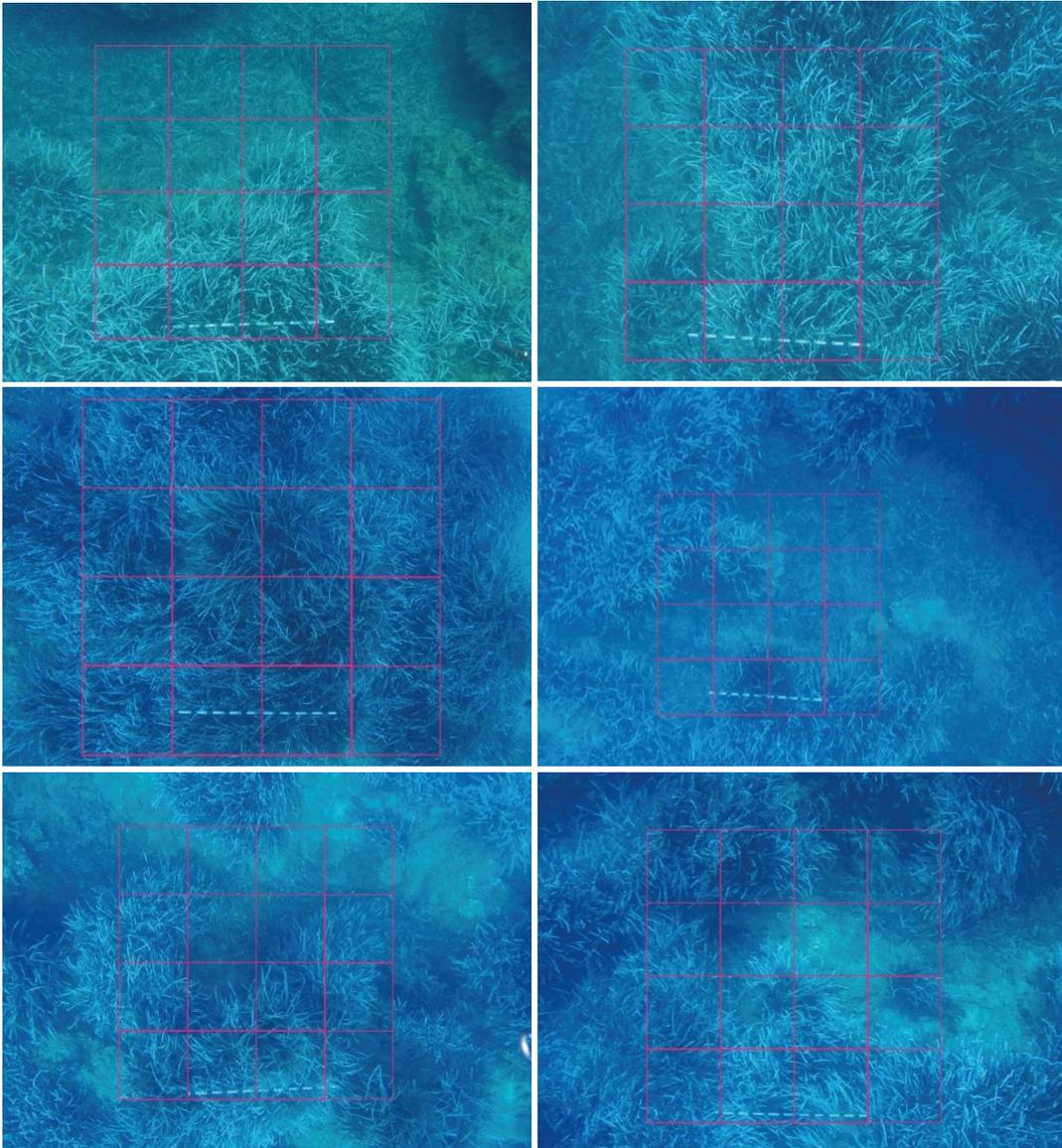
Short F.T., Carruthers T.J.R., Waycott M., Kendrick G.A., Fourqurean J.W., Callabine A., Kenworthy W.J. & Dennison, W.C. 2010. *Cymodocea nodosa*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T153535A4516419

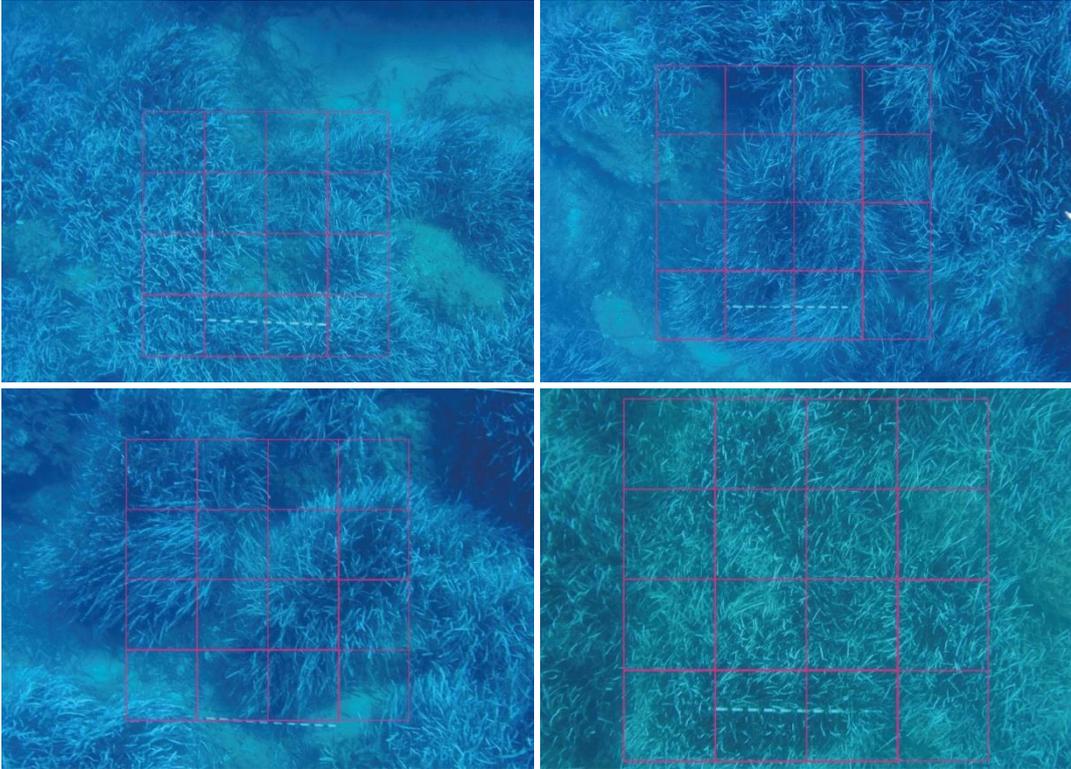
Vicente N., Kirchhofer D. et Trigos S., 2016. Etat des populations du Mollusque bivalve *Pinna nobilis*, la Grande Nacre de Méditerranée sur les côtes de Provence de 2009 à 2016. Institut Océanographique Paul Ricard, 62 p.

8. Annexes

8.1. Photographies des recouvrements

8.1.1. Station ZMEL





8.1.2. Station Port

