



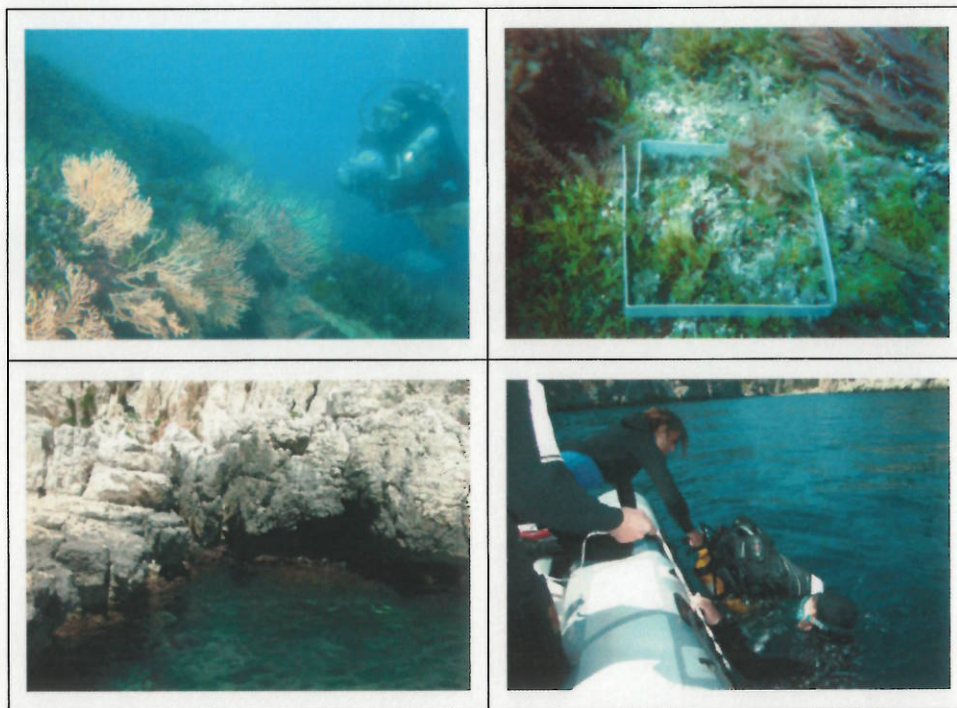
ETUDE ET CARTOGRAPHIE DES BIOCENOSSES MARINES DES CALANQUES DE MARSEILLE A CASSIS Y COMPRIS L'ARCHIPEL DE RIOU

PHASE 2



Délégation de Marseille
Immeuble le Noailles - 62, La Canebière
13001 MARSEILLE

RAPPORT METHODOLOGIQUE ET RESULTATS



2005



**ETUDE ET CARTOGRAPHIE DES BIOCENOSES MARINES DES
CALANQUES DE MARSEILLE A CASSIS Y COMPRIS
L'ARCHIPEL DE RIOU.**

Phase 2 – Rapport méthodologique et résultats

Maître d'ouvrage : Groupement d'Intérêt Public des Calanques de Marseille-Cassis
Parc d'Affaires Sud – Le Paradou - Bat. A4, Bvd de l'Océan
13009 Marseille. Tél. 04.91.72.65.73 – Fax. 04.91.72.70.65

Financeurs : GIP des Calanques, Agence de l'Eau RMC, Conseil Régional PACA,
Conseil Général 13, Etat au titre du réseau NATURA 2000.

Maîtres d'œuvre : Co-traitants de l'étude :

GIS Posidonie
Parc Scientifique et Technologique de Luminy
13288 Marseille Cedex 09. Tél. 04.91.82.91.35 – Fax. 04.91.41.12.65

Centre d'Océanologie de Marseille (COM)
Rue de la Batterie des Lions, 13007 Marseille
et Parc Scientifique et Technologique de Luminy
13288 Marseille cedex 09. Tel. : 04 91 04 16 00 – Fax. : 04 91 04 16 08

IFREMER
Laboratoire côtier DEL – Toulon
Centre de la Seyne ZP de Brégaillon – BP 330
83507 La Seyne-sur-mer Cédex. Tél. 04.94.30.48.00

Sous-traitants de l'étude :

Philippe Clabaut
Consultant Géologie Littorale et Marine
9, impasse du Boutillier – 62240 Selles. Tél. / Fax : 03 21 32 63 79

GAYROBOT
Via Magazzini Generali, 13/A
CH6828 Balerna – Suisse

Les documents rendus par le GIS Posidonie, le COM et l'IFREMER, dans le cadre de cette étude, engagent leur responsabilité et leur crédibilité scientifique. Ils ne peuvent, pour cette raison être modifiés sans leur accord.

En cas d'utilisation totale ou partielle de ce document, il doit être cité sous la forme suivante :

Bonhomme P., Ganteaume A., Bellan G., Emery E., Clabaut P., Cadiou G., Bernard G., Hervé G., Bourcier M., Boudouresque C.F., 2004. Etude et cartographie des biocénoses marines des calanques de Marseille à Cassis, y compris l'archipel de Riou. Phase 2 : Rapport méthodologique et résultats. *Contrat GIS Posidonie-IFREMER-COM/GIP Calanques*. 1-114.

INTERVENANTS

Participants :

➤ Interprétation du sonar latéral
Philippe Clabaut

➤ Vidéo remorquée
Guillaume Bernard, Patrick Bonhomme, Gwenaël Cadiou, Anne Ganteaume (GIS Posidonie), Eric Emery, Gilles Hervé, (Ifremer, Toulon)

➤ Vidéo ROV
Patrick Bonhomme (GIS Posidonie), Jean-Georges Harmelin, Jean Vacelet, Marc Verlaque, Helmut Zibrowius, (Centre Océanologique de Marseille)

➤ Prélèvement des sédiments, analyse de la macrofaune, analyses granulométriques
Gérard Bellan, Denise Bellan-Santini, Michel Bourcier, Pierre Tremblay (Centre Océanologique de Marseille), Patrick Bonhomme (GIS Posidonie), Agathe Leriche (doctorant), Lyes Boutalbil, Marie Capoulade, Audrey Delauney, Marie Monin (étudiants)

➤ Plongées et détermination d'espèces
Anne Ganteaume, Patrick Bonhomme, Guillaume Bernard (GIS Posidonie), Eric Vadon (Atelier Bleu), Charles-François Boudouresque, Jean-Georges Harmelin, Thierry Pérez, Marc Verlaque (Centre Océanologique de Marseille)

➤ Observation des peuplements du médiolittoral
Gwenaël Cadiou, Patrick Bonhomme, Guillaume Bernard (GIS Posidonie)

SOMMAIRE

1	<u>INTRODUCTION</u>	12
2	<u>TRAITEMENT DE DONNEES ANTERIEURES</u>	13
2.1	LES PHOTOGRAPHIES AERIENNES	13
2.1.1	INTRODUCTION	13
2.1.2	MATERIEL ET METHODES	13
2.1.2.1	Photographies utilisées	13
2.1.2.2	Traitement des photographies aériennes	13
2.1.3	RESULTATS	14
2.1.4	PRODUITS RENDUS	15
2.2	LES DONNEES SONAR	16
2.2.1	INTRODUCTION	16
2.2.2	MATERIEL ET METHODES	16
2.2.2.1	Matériel mis en œuvre et principe de fonctionnement	16
2.2.2.2	Traitement des sonogrammes	17
2.2.3	RESULTATS : NATURE ET REPARTITION DES FORMATIONS	19
2.2.4	COMPARAISON AVEC LA CARTE DU SITE DE CORTIOU DE 1991	21
2.2.5	PRODUITS RENDUS	23
2.3	CONCLUSION	24
3	<u>LA CAMPAGNE DE VIDEO REMORQUEE</u>	25
3.1	INTRODUCTION	25
3.2	MATERIEL ET METHODES	25
3.2.1	MATERIEL MIS EN ŒUVRE ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	25
3.2.2	TRAITEMENT DES LEVES VIDEO	28
3.3	RESULTATS	29
3.3.1	PRODUITS IMAGES	29
3.3.2	SYNTHESE DES OBSERVATIONS REALISEES LE LONG DES TRAJETS VIDEO	30
3.4	PRODUITS RENDUS	34
3.5	CONCLUSION	34
4	<u>LA CAMPAGNE DE VIDEO ROV</u>	35
4.1	INTRODUCTION	35
4.2	MATERIEL ET METHODES	35
4.2.1	MATERIEL UTILISE ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	35
4.2.2	ECHANTILLONAGE	36
4.3	RESULTATS	38
4.3.1	PRODUITS IMAGES	38
4.3.2	SYNTHESE DES OBSERVATIONS REALISEES SUR LES SITES PROSPECTES EN ROV	40
4.4	PRODUITS RENDUS	43
4.5	CONCLUSION	43

5	<u>LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENTS DE SEDIMENTS</u>	44
5.1	ANALYSE GRANULOMETRIQUE	44
5.1.1	INTRODUCTION	44
5.1.2	MATERIEL ET METHODES	44
5.1.2.1	Matériel mis en œuvre et échantillonnage	44
5.1.2.2	Analyse granulométrique des échantillons	48
5.1.3	RESULTATS	48
5.1.4	CONCLUSION	49
5.2	ANALYSE DE LA MACROFAUNE	51
5.2.1	INTRODUCTION	51
5.2.2	MATERIEL ET METHODES	52
5.2.2.1	Stations de prélèvements	52
5.2.2.2	Engins et méthodes de prélèvement	52
5.2.3	RESULTATS DES ANALYSES	53
5.2.3.1	Données générales	53
5.2.3.2	Analyse des prélèvements	53
5.2.3.3	Analyses de parcimonie	60
5.2.4	COMPARAISONS COMPLEMENTAIRES AVEC D'AUTRES PEUPELEMENTS DU SECTEUR DES CALANQUES	61
5.2.4.1	La station 1 (K19) en 1989, 1990 et 2003	62
5.2.4.2	Les Stations I7, H3 et F2 en 1994 et leurs enseignements	63
5.2.5	ELABORATION D'UN INDICE DE L'ETAT GENERAL DU PEUPELEMENT	67
5.2.6	CONCLUSION	69
5.3	PRODUITS RENDUS	70
6	<u>LA CAMPAGNE DE PLONGEES</u>	71
6.1	INTRODUCTION	71
6.2	MATERIEL ET METHODES	71
6.2.1	LES DIFFERENTS TYPES D'INTERVENTIONS	71
6.2.2	PARAMETRES DE VITALITE DE L'HERBIER A <i>POSIDONIA OCEANICA</i>	74
6.2.3	PARAMETRES DE VITALITE DES COMMUNAUTES BENTHIQUES DE SUBSTRATS DURS	76
6.2.4	STRATIFICATION ET GROUPES MORPHO-FONCTIONNELS DE MACROPHYTES	77
6.3	RESULTATS	78
6.3.1	LES VERITES TERRAIN	78
6.3.2	L'HERBIER A <i>POSIDONIA OCEANICA</i>	80
6.3.3	LES PEUPELEMENTS DU CORALLIGENE ET DES GROTTEs, LES PAYSAGES SOUS-MARINS	81
6.3.4	LES ESPECES ANIMALES RENCONTREES DANS LES DIFFERENTS SITES ETUDIES	85
6.3.5	LES GROUPES MORPHO-FONCTIONNELS DE MACROPHYTES	86
6.3.5.1	Proportion des différents groupes morpho-fonctionnels	86
6.3.5.2	Elaboration d'un Indice d'Etat Ecologique (EEI)	89
6.4	PRODUITS RENDUS	91
6.5	CONCLUSION	91

**7 LA CAMPAGNE D'ETUDE DES PEUPEMENTS ALGAUX DU
MEDIOLITTORAL ET DE LA FRANGE SUPERIEURE DE L'INFRALITTORAL.. 93**

7.1	INTRODUCTION	93
7.2	MATERIEL ET METHODES	95
7.2.1	LES PEUPEMENTS ALGAUX SELECTIONNES	95
7.2.2	METHODE D'EVALUATION QUANTITATIVE DES PEUPEMENTS	96
7.3	RESULTATS	97
7.4	COMPARAISON AVEC LES DONNEES ANTERIEURES.....	105
7.5	PRODUITS RENDUS	105
7.6	CONCLUSION.....	105

8 ENQUETES AUPRES DES PLONGEURS 107

8.1	INTRODUCTION	107
8.2	MATERIEL ET METHODES	107
8.3	RESULATS	107
8.4	CONCLUSION.....	110

9 CONCLUSION GENERALE..... 111

10 BIBLIOGRAPHIE..... 113

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Tracé du sonar latéral dans les Calanques de Marseille-Cassis. Campagne Posicart, 2000 (GIS Posidonie et Ifremer).....	18
Figure 2. Carte des fonds ayant fait l'objet de levés au sonar latéral (<i>in</i> Clabaut, 1991).....	21
Figure 3. Evolution de l'herbier de Posidonie entre 1991 et 2004, dans le secteur de Cortiou et du Plateau des Chèvres.....	23
Figure 4. Configuration embarquée pour les prospections par vidéo remorquée.	25
Figure 5. Partie du matériel utilisé en vidéo remorquée.....	26
Figure 6. Tronçons vidéo réalisés lors de la campagne de vidéo remorquée dans les Calanques de Marseille-Cassis. Le numéro de chaque tronçon est figuré en gras. ...	27
Figure 7. Photos extraites des enregistrements de vidéo remorquée, effectués en mars 2004 dans les Calanques de Marseille à Cassis.....	29
Figure 8. Représentation thématique de l'herbier de Posidonie rencontré le long des trajets vidéo, effectués dans le massif des Calanques de Marseille à Cassis en mars 2004.....	33
Figure 9. Représentation thématique des macrodéchets, épaves, débris végétaux, câbles et filets rencontrés le long des trajets vidéo, effectués dans le massif des Calanques de Marseille à Cassis en mars 2004.....	33
Figure 10. A : Le ROV « Pluto », B : Navire support, le Catamaran « Dedalus », C : Régie à bord du catamaran « Dedalus ».....	36
Figure 11. Localisation des prospections réalisées en ROV dans les Calanques de Marseille-Cassis en mai 2003.	37
Figure 12. A : <i>Paramuricea clavata</i> à demi jaune (69 m) ; B : Coralligène profond de l'Impérial du large (70 m) ; C : Coralligène de l'Impérial du large à 68 m en 1967 ; D : Coralligène dans la zone des 20-40 m de l'Impérial du large avec de nombreuses éponges <i>Aplysina cavernicola</i>	40
Figure 13. A : Bouquet de Bryozoaires (<i>Smittina cervicornis</i> , <i>Pentapora fascialis</i> , <i>Tubicellepora avicularis</i>) à la Pierre de Cassis (Grand Conglue, 81 m) ; B : Gorgonocéphale <i>Astrospartus mediterraneus</i> sur la gorgone <i>Eunicella verrucosa</i> (Pierre de Cassis, , 74 m) ; C : Petite rascasse <i>Scorpaena notata</i> sur une grosse éponge du genre <i>Sarcotragus</i> (Impérial du large 72 m, Riou). D : Coralligène aux alentours de la grotte Cosquer (Morgiou, 30 m).....	42
Figure 14. Prélèvement des sédiments à la benne Van Veen.....	44
Figure 15. Plan d'échantillonnage pour la campagne de prélèvement de sédiment dans les calanques de Marseille à Cassis, y compris l'archipel de Riou.....	45
Figure 16 Sédiment prélevé à la benne Van Veen dans la station 4 (au large de Cortiou).....	47
Figure 17. Sédiment prélevé à la benne Van Veen dans la station 5 (entre Cortiou et Plane). 47	47
Figure 18. Sédiment prélevé à la benne Van Veen dans la station 6 (Sormiou).....	47
Figure 19. Sédiment prélevé à la benne Van Veen dans la station 7 (Riou).....	47
Figure 20. Sédiment prélevé à la benne Van Veen dans la station 10 (En-Vau).	47
Figure 21. Sédiment prélevé à la benne Van Veen (contenant un oursin de sable, <i>Spatangus purpureus</i>) dans la station 11 (Port-Miou)	47
Figure 22. Répartition de la fraction fine dans les stations de prélèvement de sédiment meuble des Calanques en 2003	50
Figure 23. Répartition des indices de Diversité de Shannon et de l'Équitabilité dans les stations de prélèvements de substrat meuble des Calanques en 2003.....	54
Figure 24. Répartition des grands groupes bionomiques dans les stations de prélèvements de substrat meuble des Calanques en 2003 (INST. : espèces indicatrices d'instabilité du peuplement ; SSPR : espèces sans signification écologique précise ; LRE : espèces à large répartition écologique ; BIOC. : espèces	

indicatrices de biocénoses ; SEDIMENTS : espèces caractéristiques des sédiments).....	57
Figure 25. Répartition des espèces « sentinelles » de la zone subnormale dans les stations de prélèvement de substrat meuble des Calanques en 2003.	58
Figure 26. Répartition des espèces caractéristiques des biocénoses dans les stations de prélèvement de sédiment meuble des Calanques en 2003 (SFBC : sables fins bien calibrés ; SGCF : sables et graviers sous influence des courants de fond ; DC : détritique côtier ; SD : substrats durs).....	58
Figure 27. Analyse de Parcimonie sur les données relevées dans les stations de prélèvement de sédiment meuble des Calanques en 2003	61
Figure 28. Répartition des Indices de Diversité de Shannon et de l'Équitabilité dans les stations de prélèvement de substrat meuble en 1989/1990/2003 (K19) et en 1994 (I7, H3, F2).	64
Figure 29. Répartition des grands groupes bionomiques dans les stations de prélèvement de substrat meuble en 1989/1990/2003 (K19) et en 1994 (I7, H3, F2) (INST. : espèces indicatrices d'instabilité du peuplement ; SSPR : espèces sans signification écologique précise ; LRE : espèces à large répartition écologique ; BIOC. : espèces indicatrices de biocénoses).	64
Figure 30. Répartition des biocénoses dans les stations de prélèvement de substrat meuble 1(K19), I7, H3, F2 (SFBC : sables fins bien calibrés ; SGCF : sables et graviers sous influence des courants de fond ; DC : détritique côtier ; SD : substrats durs)..	64
Figure 31. Répartition des espèces sentinelles de la zone subnormale dans les stations de prélèvement de substrat meuble 1(K19), I7, H3, F2.....	65
Figure 32. Similarité de Bray Curtis effectuée sur les données des stations de prélèvement de substrat meuble des Calanques en 2003 et des stations I7, H3, F2 en 1994.....	65
Figure 33. Analyse de Parcimonie sur les données relevées dans les stations de prélèvement de substrat meuble des Calanques en 2003 et à Cortiou en 1994	66
Figure 34. Répartition des Indices de Normalité et biotiques dans les stations de prélèvement de substrat meuble des Calanques en 2003, 1989/1990 (K19) et 1994 (I7, H3 et F2).....	69
Figure 36. Plan d'échantillonnage de la campagne de plongée sous-marine dans les Calanques de Marseille-Cassis.....	73
Figure 37. Méthode d'évaluation du recouvrement de l'herbier de Posidonie sur le substrat (d'après Gravez <i>et al.</i> , 1995).....	75
Figure 38. Abaque donnant le type de densité en fonction de la profondeur et du nombre de faisceaux/m ² (d'après Pergent-Martini 1994).....	76
Figure 39. Limite inférieure de l'herbier de Posidonie dans la calanque de Sormiou, vers 29 m de profondeur (extrait vidéo).....	80
Figure 40. Ancrage sur l'herbier de Posidonie de la calanque de Morgiou.....	80
Figure 41. Coralligène de la pointe de Castel-Vieil.....	83
Figure 42. L'oursin <i>Echinus melo</i> dans le coralligène de la pointe Castel-Vieil.....	83
Figure 43. Corail rouge, <i>Corallium rubrum</i> , et gorgones jaunes, <i>Eunicella cavolini</i> , sur le tombant de Castel-Vieil.	83
Figure 44. Peuplement de macrophytes sur substrat dur à pointe Castel-Vieil	84
Figure 45. L'éponge <i>Petrosia ficiformis</i> entourée de <i>Parazoanthus axinellae</i> dans la grotte de Morgiou.....	85
Figure 46. Relevés de macrophytes : A : à Cortiou (- 10 m) ; B : à Marseilleveyre (- 5 m) ; C : à Cortiou (- 5 m) ; D : à Riou (- 5 m).....	88
Figure 47. Ceintures de macrophytes du médiolittoral inférieur et de l'infralittoral supérieur.	93

Figure 48. Plan d'échantillonnage des relevés des peuplements de macrophytes du médiolittoral inférieur et de l'infralittoral supérieur dans les calanques de Marseille-Cassis.....	94
Figure 49. Trottoir à <i>Lithophyllum byssoïdes</i> , face sud de l'île Maire.....	95
Figure 50. <i>Cystoseira amentacea</i> var. <i>stricta</i> (Chromobionte).....	95
Figure 51. <i>Corallina elongata</i> (Rhodobionte).....	95
Figure 52. Exemple de répartition de <i>Lithophyllum byssoïdes</i> (encorbellement) dans le médiolittoral de la zone d'En-Vau et Port-Pin.....	101
Figure 53. Exemple de répartition de <i>Corallina elongata</i> dans l'infralittoral superficiel de la zone de Sormiou.....	102
Figure 54. Exemple de répartition de <i>Cystoseira amentacea</i> var. <i>stricta</i> dans l'infralittoral superficiel de la zone de Sormiou.....	103
Figure 55. Exemple de répartition d' <i>Ulva</i> sp. Et d' <i>Enteromorpha</i> sp. dans l'infralittoral superficiel de la zone de Sugiton.....	104

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques des trois zones d'herbier identifiées en régression entre 1991 et 2004 dans la zone de Cortiou et du Plateau des Chèvres : superficie, linéaire en régression et profondeur des limites inférieures en 1991 et 2004.	23
Tableau 2. Synthèse des informations recueillies le long des tronçons de route vidéo réalisées dans les calanques de Marseille à Cassis en mars 2004.	31
Tableau 3. Caractéristiques (noms, profondeurs prospectées, durée de plongée) et observations des plongées effectuées avec le ROV Pluto dans les calanques de Marseille à Cassis en mars 2003.	36
Tableau 4. Caractéristiques (sources, repères, localisation) des séquences vidéo ROV sélectionnées pour illustrer les différents types de biocénoses rencontrées.	38
Tableau 5. Description des différents prélèvements de sédiment effectués dans la zone des Calanques.	46
Tableau 6. Taux de fraction grossière et de fraction fine (en %) dans les différentes stations de prélèvement de sédiment meuble des Calanques en 2003.	48
Tableau 7. Caractérisation des stations de prélèvement de sédiments meubles dans les Calanques en 2003 et variation des indices de Shannon et d'équitabilité dans ces stations.	54
Tableau 8. Variation de la bionomie, de la nature biocénotique et des espèces subnormales dans les stations de prélèvement de substrat meuble dans les Calanques en 2003 (Abond. : Abondance (en nombre d'individus), Dom. : Dominance (en %), INST. : espèces indicatrices d'instabilité du peuplement ; SSPR : espèces sans signification écologique précise ; LRE : espèces à large répartition écologique ; BIOC. : espèces indicatrices de biocénoses ; SFBC : sables fins bien calibrés ; SGCF : sables et graviers sous influence des courants de fond ; DC : détritique côtier ; SD : substrats durs)	56
Tableau 9. Pourcentage des fractions de graviers-cailloutis, sables grossiers, sables fins et vases pour les 9 stations étudiées dans le massif des calanques de Marseille à Cassis y compris l'Archipel de Riou.	59
Tableau 10. Indices des stations de prélèvement de substrat meuble effectués en 1994 dans les zones de Cortiou et de la station K19 entre 1989 et 2003 (Abond. : Abondance (en nombre d'individus), Dom. : Dominance (en %) ; INST. : espèces indicatrices d'instabilité du peuplement ; SSPR : espèces sans signification écologique précise ; LRE : espèces à large répartition écologique ; BIOC. : espèces indicatrices de biocénoses ; SFBC : sables fins bien calibrés ; SGCF : sables et graviers sous influence des courants de fond ; DC : détritique côtier ; SD : substrats durs).	62
Tableau 11. Indices de normalité et indices biotiques des stations de prélèvement de substrat meuble des Calanques	68
Tableau 12. Caractéristiques des interventions en plongée sous-marine (1 : vérité terrain ; 2 : observations) sur les différents sites des Calanques (y compris l'archipel de Riou) : HP=herbier de Posidonie.	72
Tableau 13. Classification de l'herbier de Posidonie selon la densité de faisceaux de feuilles au m ² , d'après Giraud (1977).	75
Tableau 14. Détails des observations effectuées dans différents secteurs des Calanques de Marseille-Cassis lors des plongées de vérités-terrain (HP : herbier de Posidonie).	78
Tableau 15. Principales espèces observées <i>in situ</i> sur les différents sites prospectés dans le coralligène ou l'herbier de Posidonie en plongée (en gras : espèces patrimoniales).	85

Tableau 16. Proportions des différents groupes morpho-fonctionnels de macrophytes dans les différentes stations prospectées dans la zone des Calanques.	87
Tableau 17. Etablissement d'une classe d'état écologique (ESC) d'après le pourcentage de recouvrement total de chacun des ESG basés sur les groupes morpho-fonctionnels de macrophytes pour le calcul de l'indice GIS Posidonie .	89
Tableau 18. Evaluation de l'état du milieu grâce à l'établissement d'un indice d'état écologique GIS Posidonie (EEI) calculé d'après la somme des classes d'état écologique (ESC) dans chaque station	90
Tableau 19. Calcul de l'indice de qualité écologique GIS Posidonie (EEI) de chaque station étudiée dans les Calanques et l'archipel de Riou (F : filamenteuse, L : lame mince, A : articulée, B : branchue, C : cartilagineuse, - : absent du prélèvement, ESC : classe d'état écologique)	90
Tableau 20. Classes d'abondance et recouvrement du linéaire côtier (en mètres et en pourcentage), utilisés pour l'évaluation quantitative des espèces et groupes d'espèces retenus.	96
Tableau 21. Répartition des codes d'abondance (nombre et pourcentage) pour chaque espèces ou groupe d'espèces étudiés (<i>Corallina elongata</i> , <i>Lithoplyllum byssoides</i> (type I, II et III), <i>Rissoella verruculosa</i> , <i>Cystoseira stricta</i> var. <i>amentacea</i> , et les genres <i>Ulva</i> et <i>Enteromorpha</i>), le long du littoral entre la Madrague de Montredon et le Cap Croisette.	97
Tableau 22. Répartition des codes d'abondance (nombre et pourcentage) pour chaque espèces ou groupe d'espèces étudiés (<i>Corallina elongata</i> , <i>Lithohlyllum byssoides</i> (type I, II et III), <i>Rissoella verruculosa</i> , <i>Cystoseira stricta</i> var. <i>amentacea</i> , et les genres <i>Ulva</i> et <i>Enteromorpha</i>), le long du littoral entre le Bec de Sormiou et Cassis.	98

1 Introduction

Les biocénoses marines constituent un élément majeur du milieu littoral, particulièrement complexe par leur structure et leur répartition spatiale. Leur étude nécessite des données nombreuses et variées, complémentaires les unes des autres.

Le présent volume constitue le rapport « méthodologique et résultats », il est complété par un second volume rassemblant l'ensemble des annexes, auxquelles il est régulièrement fait référence.

Ce document présente les différentes campagnes d'acquisition de données sur les biocénoses de la zone marine du sous-site Natura 2000 des Calanques de Marseille à Cassis, y compris l'archipel de Riou. Les interventions de terrain, *in situ*, prévues dans la phase 2 de l'étude, étaient programmées afin de satisfaire les besoins en données complémentaires, identifiés lors de la synthèse bibliographique, réalisée en phase 1. Un plan d'échantillonnage a été élaboré et validé par le comité de pilotage de l'étude. La mise en œuvre de chaque campagne a nécessité l'intervention de nombreux spécialistes dans les différents domaines concernés.

La première partie de ce document présente le traitement de photographies aériennes et de sonogrammes, données acquises antérieurement à cette étude et qui n'avaient pas encore fait l'objet de traitement.

Dans une seconde partie sont présentées les différentes interventions prévues en phase 2, elles ont consisté en :

- une prospection élargie par **vidéo remorquée** pour couvrir prioritairement les lacunes concernant les petits fonds jusqu'à la limite des 500 m (limite en mer du site des Calanques). Cette intervention a été effectuée à partir de l'embarcation du Laboratoire Côtier de l'Ifremer, « Alcyon ».
- une reconnaissance localisée par **ROV** (Remote Operated Vehicule), dans le but d'affiner les connaissances de certains secteurs reconnus d'intérêt particulier pour leur biodiversité ou leurs caractéristiques écologiques spécifiques et de lever des doutes suite au traitement des sonogrammes sur la présence de zones rocheuses profondes. Cette opération a été réalisée à partir du catamaran « Dédalus » de la société « Gay Robot ».
- des **prélèvements de sédiments**, pratiqués en des points choisis de la zone d'étude, ont permis de déterminer les différents types de biocénoses de substrat meuble, indicatrices de la qualité du milieu. Ces interventions ont été effectuées à partir de l'embarcation du CNRS « Antédon ».
- des **plongées**, effectuées le long de trajets et sur des sites d'importance particulière, ont permis de dresser un inventaire des espèces patrimoniales présentes sur la zone, ainsi que d'estimer la qualité globale du milieu au travers de l'état des différents peuplements. Une attention particulière a été portée sur l'herbier à *Posidonia oceanica* (mesures des paramètres de vitalité dans certains secteurs clés de l'herbier) ainsi qu'aux groupes morpho-fonctionnels des macrophytes de l'infralittoral.
- une **étude des peuplements du médiolittoral et de la frange supérieure de l'infralittoral**, permettant d'estimer la qualité globale du milieu littoral.
- des **enquêtes** réalisées auprès des plongeurs ayant une bonne connaissance de la zone. Elles permettent d'obtenir des informations synthétiques sur certaines espèces présentes dans le secteur des Calanques, informations couvrant plusieurs années.

2 Traitement de données antérieures

Les photographies aériennes et les sonogrammes, constituent deux sources de données acquises antérieurement à cette étude et qui n'avaient encore fait l'objet de traitement spécifique dans le cadre de la cartographie des biocénoses marines sur la zone des calanques de Marseille à Cassis.

2.1 Les photographies aériennes

2.1.1 Introduction

L'interprétation de photographies aériennes permet de localiser les limites des principales biocénoses marines littorales, à faible profondeur (de 0 à 15 m de profondeur au maximum) et constitue la première phase dans l'élaboration de la cartographie des biocénoses.

2.1.2 Matériel et méthodes

2.1.2.1 Photographies utilisées

La couverture photographique de la zone d'étude n'a pas donné lieu à une campagne spécifique d'acquisition ; des clichés récents existent en effet, notamment dans le cadre de la plate-forme d'animation régionale CRIGE-IGN BDORTHO n° licence PFAR-PACA-002269, d'autres campagnes aériennes ont également été recherchées auprès de sociétés privées.

Deux campagnes de photographies aériennes présentant une bonne définition des fonds côtiers de la zone des Calanques ont été retenues¹ :

- clichés IGN BDORTHO en couleur au 1/25 000^{ème} (annexe 1) couvrant l'ensemble de la zone des calanques
- clichés Aériel 2000 au 1/20 000 en couleur agrandie au 1/5 000^{ème} : passe du Cap Croisette, Calanque de Sormiou et Calanque d'En Vau - Port-Miou.

2.1.2.2 Traitement des photographies aériennes

Les clichés en couleur naturelle enregistrent le rayonnement dans le domaine du visible. Les trois biocénoses identifiables par traitement de photographies aériennes sont l'herbier à *Posidonia oceanica*, les peuplements photophiles sur roche, le sable et dans certaines conditions, la matte morte de *P. oceanica*.

L'interprétation thématique des photographies aériennes a été réalisée de façon manuelle sur une plate-forme SIG (© ARC VIEW). Les limites des peuplements correspondent aux changements brusques de teinte ou de densité lumineuse, de part et d'autre d'un contour plus ou moins régulier. Les zones de contact entre les différentes biocénoses apparaissent toutefois de façon variable. En effet, une même couleur peut traduire différents types de fonds, confondus entre eux sur la photographie : une zone claire et blanche correspond généralement à une étendue de sable, une zone foncée peut être de l'herbier de Posidonie, des mattes mortes, des peuplements d'algues sur roche ou tout simplement une accumulation de feuilles mortes de Posidonie, la litière (Boudouresque *et al.*, 1987).

¹-Les autres photographies aériennes consultées à l'IGN et à Aériel comportaient un certain nombre d'inconvénients, rendant toute interprétation des fonds difficile : problèmes de parallaxe, de contraste et de résolution, mauvaises conditions météorologiques lors des prises de vues, réflexion spéculaire du soleil sur la surface de la mer, albédo et brisaison, etc.

2.1.3 Résultats

Le traitement des photographies aériennes a permis de différencier, dans la zone d'étude, quatre faciès principaux :

- un faciès sombre correspondant à l'herbier de Posidonies,
- un faciès gris et hétérogène attribuable à la roche,
- un faciès très clair correspondant aux zones sableuses,
- un faciès marron-vert clair attribuable à priori à la matte morte.

L'herbier de Posidonie

On le rencontre dans plusieurs secteurs distincts :

- proche de la Madrague de Montredon, l'herbier se présente uniquement sous la forme de taches isolées. A partir de la Calanque des Troues, l'herbier se développe au pied de la roche littorale formant localement des placages sur roche. Au large des Goudes et du Cap Croisette, la limite supérieure de l'herbier est relativement découpée, laissant place à de nombreuses intermattes et zones de matte morte.
- du Cap Croisette à Callelongue, plusieurs taches isolées sont observées au milieu des zones de sable,
- sur le plateau des Chèvres et au nord des îles Jarre et Jarron, l'herbier est omniprésent sur toute la zone et jalonné de vastes intermattes sableuses et d'affleurements rocheux.
- dans la passe entre les îles Plane et Riou, l'herbier est présent sous la forme de grandes taches dont les limites sont fortement invaginées ; il alterne avec des zones de sable ou de mattes mortes de grande extension,
- dans la Calanque de Sormiou, l'extension de l'herbier est limitée en fond de calanque par la présence de deux rivières de retour latérales du courant. De nombreuses intermattes, zones de matte morte et tombants de matte ponctuent l'herbier jusque vers 10-15 m de profondeur,
- à Morgiou, l'herbier se développe en fond de calanque jusqu'à la digue de protection du port. On observe également de nombreuses zones de matte morte au sein de l'herbier dense jusque vers 10-15 m de profondeur,
- de Sugiton à l'œil de Verre, l'herbier se développe sous la forme de taches jusqu'au pied de la roche littorale, formant localement des placages, alternant avec des zones de sable ou de matte morte.
- le long des falaises du Dévenson et la calanque de l'Oule, l'herbier se développe en une étroite bande le long des falaises,
- A En Vau et Port Pin, l'herbier est présent en fond de calanque uniquement sous la forme de petites taches, on rencontre essentiellement des fonds de matte morte plus ou moins recouverts par des étendues sableuses,
- A Port Miou, l'herbier n'est plus présent en fond de calanque au niveau de la zone portuaire. L'herbier est fortement mité au niveau de la zone de mouillage forain, de nombreuses zones de matte morte ponctuent l'herbier jusque vers 8-10 m de profondeur.

La roche

Le faciès rocheux est facilement identifiable dans les secteurs où la pente des fonds n'est pas trop marquée. La roche littorale est quasi présente sur l'ensemble du littoral des calanques, elle disparaît au niveau des plages, notamment à Sormiou, En Vau, Port Pin. Par contre son extension spatiale est limitée et se réduit à une bande étroite le long du rivage, au niveau des falaises littorales accores du Vaisseau, du Dévenson et de la Pointe Cacao ainsi que sur les faces sud des îles Maire, Jarre, et Riou et au nord de l'île Plane.

Les zones sableuses

Les zones sableuses identifiées par photo-interprétation sont comprises entre 0 et 15 m de profondeur. Dans la zone des calanques, on les observe généralement entre la limite supérieure de l'herbier et le pied de la roche littorale mais aussi jusqu'en bordure du rivage notamment en fond de calanque ou des plages peuvent se former. On les rencontre dans plusieurs secteurs distincts :

- de la Madrague de Montredon au Goudes, on observe une bande littorale sableuse qui recouvre localement des zones de matte morte, vestige d'un ancien herbier,
- du Cap Croisette à Marseilleveyre, on observe également une bande de sable littorale qui recouvre des zones de matte morte,
- sur le plateau des Chèvres et la passe de Riou-Plane, de nombreuses zones sableuses sont présentes au sein de l'herbier de Posidonie, tapissant le fond d'intermatte pouvant être très étendues,
- à Sormiou, deux langues sableuses s'étendent au fond de la calanque de part et d'autre d'une langue d'herbier centrale, constituant deux rivières de retour du courant,
- les calanques de Sugiton, Dévenson et de l'Oule sont marquées par la présence d'étendues sableuses entre la limite supérieure de l'herbier et la roche littorale.

Concernant les traces anthropiques, il est à noter que la photo-interprétation ne permet pas de mettre en évidence des traces occasionnées par des arts de pêche trainants, comme cela peut être observé avec des enregistrements de sonar latéral. Par contre, le traitement des photographies aériennes a permis de mettre en évidence l'impact du mouillage forain sur l'herbier de Posidonie. En effet, d'importantes zones de matte morte sont présentes dans les fonds de calanque de Sormiou, Morgiou, Sugiton, En Vau, Port Pin et Port Miou. Ces zones correspondent toutes à des zones de fortes fréquentations. Concernant la zone des Calanques de Fontagne-Monastério, aucun faciès étendu de matte n'apparaît en dépit de la forte fréquentation observée sur ce secteur. D'une part il est fort probable que la matte soit recouverte par le substrat sableux avoisinant très mobile ; d'autre part l'herbier se développe partiellement en placage sur la roche, la présence de petites zones de matte morte n'est alors pas forcément décelée.

2.1.4 Produits rendus

Le traitement des photographies aériennes a permis d'obtenir une carte des contours des différents types de fond dans la zone bathymétrique comprise entre 0 et 15 m de profondeur au maximum. Cette couche d'information est ensuite complétée, pour la partie profonde, par les données issues du traitement des sonogrammes afin d'obtenir une carte sur l'ensemble du secteur d'étude. Suite au traitement sur SIG, une couche d'information provisoire des contours est obtenue, elle correspond à la position supposée des différents types de fonds. Il est alors indispensable de valider et de compléter les informations thématiques obtenues par photo-interprétation, au moyen de vérités-terrain (campagnes de plongées ponctuelles, de vidéo remorquée et de ROV).

Il n'existe donc pas de produit spécifique remis par rapport à cette filière d'acquisition, en dehors de la couche d'information SIG finale de cartographie des biocénoses.

2.2 Les données sonar

2.2.1 Introduction

Une campagne de reconnaissance des fonds côtiers au sonar latéral a été effectuée du golfe de Fos à la baie de Hyères dans le cadre d'une étude destinée à réaliser un guide de cartographie de l'herbier de Posidonie, à la demande de l'Agence de l'Eau RMC, de la DIREN et de la Région PACA (Campagne POSICART).

Les données de sonar inédites, acquises à l'occasion de cette campagne, ont été exploitées lors de la présente étude afin d'apporter des informations complémentaires, à l'interprétation des photographies aériennes, notamment dans les zones profondes, pour la localisation des principales biocénoses présentes dans la zone des Calanques.

2.2.2 Matériel et méthodes

2.2.2.1 Matériel mis en œuvre et principe de fonctionnement

Le sonar à balayage latéral est un appareil émetteur-récepteur d'ondes ultrasonores qui, remorqué par un navire, permet d'obtenir une image acoustique détaillée, en deux dimensions, des fonds marins. Il répond au principe de fonctionnement suivant : un faisceau d'ondes sonores est émis du poisson remorqué, avec une incidence oblique, et intercepte le fond selon une fine bande s'évasant avec la distance. A l'intérieur de cette zone, le signal émis balaie progressivement la zone couverte. Le signal acoustique, de fréquence ultrasonique, émis par les deux transducteurs logés dans le poisson remorqué, est alors réfléchi avec plus ou moins d'intensité ; l'écho recueilli, au cours du temps, est une représentation de la réflectivité du fond et surtout de la présence d'irrégularités ou d'obstacles.

Les caractéristiques du sonar utilisé pendant la campagne d'acquisition sont décrites ci-après :

- Sondeur multifaisceaux Reson Seabat 8101, 240 KHz - Fauchée 150 à 210° : 7 à 10 fois la profondeur et couverture des berges, soit en un seul passage, couverture complète :
 - 300 m sur le fond pour 45 m d'eau
 - 70 m pour 10 m d'eau
 - 10 à 14 m pour 2 m d'eau
- Portée : 0.1 à 200 m d'eau sous le sondeur
- Résolution angulaire : 145 faisceaux 1.5° x 1.5° (1,5 x 4° > 180°)
- Résolution en profondeur : 1.25 cm, y compris dans le champ proche,
- Antenne réception circulaire dans le plan de réception 40 profils par seconde selon profondeur.
- Imagerie sonar latéral / SNIPPETS (haute résolution) et bathymétrie simultanées.

La zone cartographiée s'étend entre les longitudes 5°19'E et 5°31,50'E (Figure 1). Le levé consiste le plus souvent en un profil unique, parallèle à la côte.

Les levés sonar de la campagne Posicart, concernant la zone d'étude des biocénoses, ont été effectués en juillet 2000.

2.2.2.2 Traitement des sonogrammes

Le sonar latéral permet de visualiser la présence d'herbier de Posidonie par les micro-reliefs qu'il constitue et qui se détachent de la topographie du fond. Le sonar permet, en outre, de distinguer l'environnement général de l'herbier, à savoir le caractère meuble (vase, sable ou gravier) ou dur des fonds (roche), ainsi que certaines traces anthropiques (traces de mouillage, chalutage, etc.) ou des épaves. La connaissance de la position de la route suivie par le navire (Figure 1) et, par conséquent celle du sonar, moyennant une correction en fonction de la longueur de câble filé, permet de situer sur un fond de carte les informations thématiques relatives à l'herbier. Les sonogrammes sont alors assemblés et interprétés en une mosaïque papier, la carte de la nature des fonds est établie à l'échelle du 1/10 000^{ème}.

En raison de la pente des fonds, généralement forte, l'image sonar peut être localement imprécise ; on constate :

- que la largeur de l'image « utilisable » est parfois inférieure à la portée théorique du sonar (surtout lorsque cette portée est de 200 m),
- que dans les secteurs à forte pente, le contraste entre certains types de fonds est nettement atténué. C'est le cas notamment pour le détritique grossier ou fin, localement pour l'herbier, lorsqu'il est éloigné de l'axe du profil. La roche, plus rétrodiffusante, est peu affectée.

Les limites incertaines (le plus souvent le faciès sombre) sont donc portées en tiretés sur la maquette, les faciès incertains (herbier supposé, sur sable ou sur roche) en hachuré.

Aucune calibration par prélèvement ou par observation directe, plongée ou vidéo, n'avait été effectuée préalablement au dépouillement.

Phase 2 : Rapport méthodologique et résultats

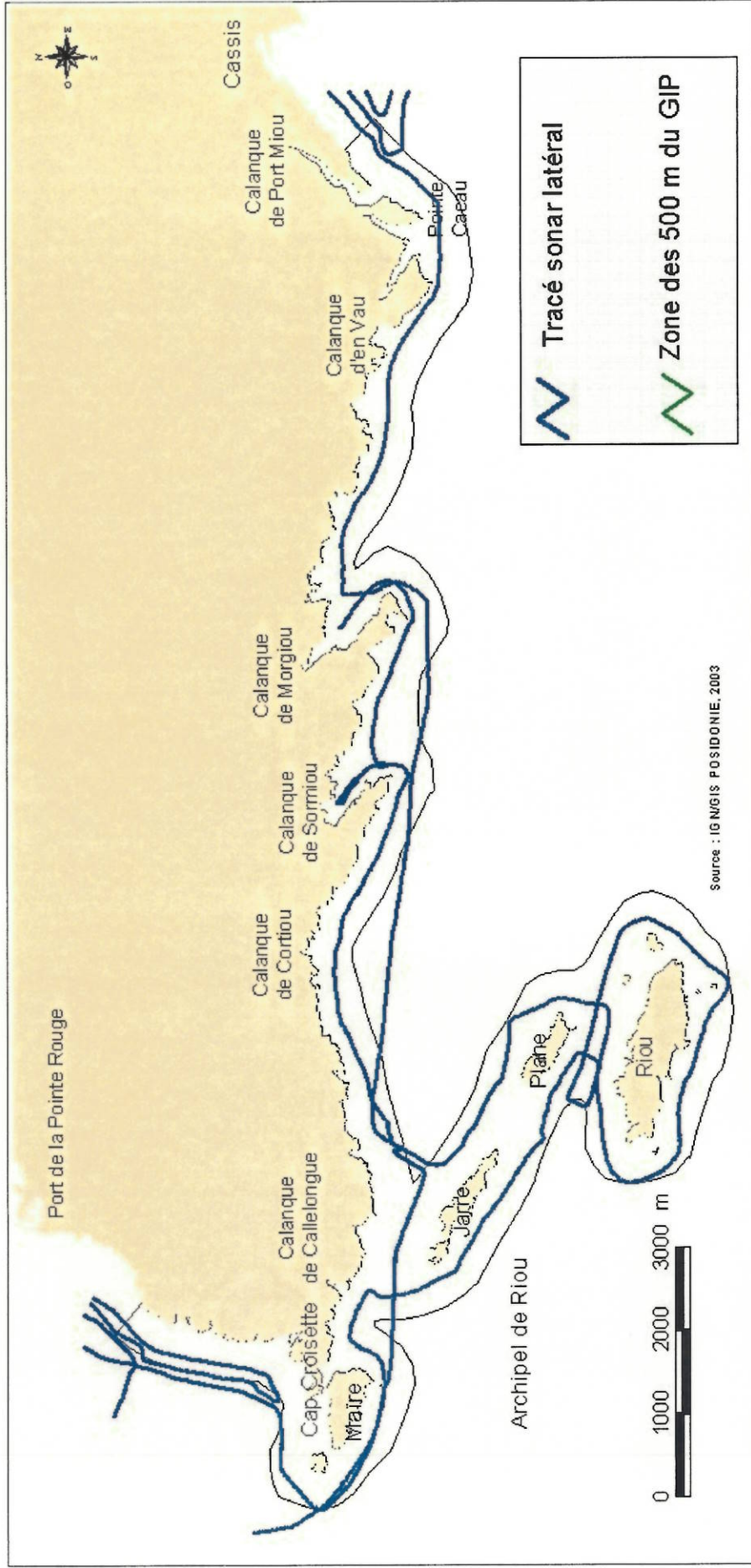


Figure 1. Tracé du sonar latéral dans les Calanques de Marseille-Cassis. Campagne Posicart, 2000 (GIS Posidonie et Ifremer).

2.2.3 Résultats : nature et répartition des formations²

La mosaïque réalisée au 1/10 000^{ème} à partir des sonogrammes est présentée en annexe 2a et 2b, elle permet de différencier dans la zone d'étude trois faciès principaux :

- un faciès sombre et hétérogène, attribuable à l'herbier de Posidonies,
- un faciès clair et homogène, attribuable *a priori* à la matte morte ou à un sédiment fin,
- un faciès sombre et hétérogène, attribuable *a priori* à des sédiments grossiers.

Les sédiments (faciès clair ou sombre) observés au-delà de l'herbier appartiennent à l'unité du « détritique côtier ». A ces faciès « communs » aux différents sites déjà cartographiés le long du littoral Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA), s'ajoute un faciès spécifique, identifié au droit de Port-Miou (Annexe 2a. Fiche CAL 6). Ce faciès se caractérise sur les sonogrammes par un aspect « tacheté » et une répartition en secteurs hectométriques de forme effilée vers le large, alternant avec de petits secteurs à faciès clair. Une plongée de vérité terrain a été entièrement dédiée à la vérification et à l'interprétation de ce faciès. Aucune information complémentaire n'a pu être apportée, seule une grande étendue sableuse homogène a été observée sur toute la zone. Il est donc probable que ce faciès corresponde à un affleurement rocheux de faible altitude pouvant être temporairement enseveli sous le sédiment (marée de sable) ; ce faciès a été toutefois conservé dans la cartographie des fonds, comme un fond à algues photophiles. Il est noté en observation dans la table attributive du SIG, que cette zone est recouverte de sable.

L'herbier de Posidonie

On le rencontre dans plusieurs secteurs distincts :

- au nord du Cap Croisette, où il se caractérise par un faible recouvrement, et la présence de nombreuses taches de matte morte (annexe 2a, fiche CAL 1). Vers le nord, l'herbier évolue rapidement vers un faciès « en taches », caractéristique de la baie du Prado,
- sur le plateau des Chèvres et au nord des îles Jarre et Jarron, où il présente un fort recouvrement et un faciès localement ondoyant (annexe 2a, fiche CAL 2). Sa limite inférieure se situe vers 12 m de profondeur sur le flanc oriental du plateau des Chèvres (conséquence probable du rejet de Cortiou, Clabaut, 1991). Elle évolue rapidement vers 20 à 30 m vers le sud, le long des îles,
- au sud des îles Jarre et Jarron, la présence très locale d'herbier ne peut être exclue, mais les sonogrammes sont peu nets. Une vérité-terrain est nécessaire.
- dans la passe entre les îles Plane et Riou, l'herbier est bien développé, et présente un fort recouvrement et un caractère localement ondoyant. Il alterne avec des zones de sable ou de matte morte de grande extension (annexe 2a, fiche CAL 4),
- dans les Calanques de Sormiou et Morgiou, l'herbier présente un fort recouvrement et un caractère localement ondoyant,
- à l'est de Morgiou, la présence d'herbier est possible entre la calanque St Jean de Dieu et l'Anse de la Baume, mais le faciès acoustique n'est pas net. Par contre, l'herbier est observé au droit de la partie est de la calanque du Devenson et devant celle de l'Eissadon.

² En l'absence de calibration (à ce stade de l'étude), la description ci-après est à utiliser avec précaution

Le détritique côtier

□ *Le faciès acoustique clair*

D'aspect homogène sur les sonogrammes, le faciès acoustique clair peut correspondre notamment à des sédiments fins (sable fin ou sédiment sablo-vaseux) ou à de la matte morte.

On le rencontre :

- dans l'herbier lui-même (matte morte probable), sous forme de taches de taille variable, métrique à hectométrique (annexe 2a, fiches CAL « , CAL 4, CAL 6),
- au-delà de l'herbier, où il représente le faciès le plus courant (sédiment fin probable) (annexe 2a, fiche CAL 5).

□ *Le faciès acoustique sombre*

On le rencontre principalement :

- à l'ouest du plateau des Chèvres,
- à l'est du plateau des Chèvres, où il est façonné de mégarides de houle de courte longueur d'onde (2 à 3 m),

Nota : en 1991, ce faciès, déjà modelé par des mégarides, a été calibré par des prélèvements de sédiment ; la teinte sombre a été attribuée à des sables grossiers (Clabaut, 1991).

- à l'est de Riou, où ce faciès est façonné de mégarides de longueur d'onde 8 m, et de direction NE - SW. Si cela était confirmé, ces figures témoigneraient d'une remobilisation du sédiment, apparemment assez grossier, à une profondeur de l'ordre de 60 m.

Nota : de telles figures sont connues à une profondeur comparable, au large de la Martinique, où leur formation est attribuée aux houles cycloniques (Augris *et al*, 2000).

Cette première analyse a finalement été revue et corrigée à partir de la connaissance des usages pratiqués sur la zone. La présence de mégarides à de telles profondeurs semblait peu probable, par contre le passage de chalutiers notamment à l'est de Riou (est Impérial de milieu et du large) et la face sud de Riou est connu et bien illustré (Bernard *et al.*, 1998). Les faciès observés sur les sonogrammes semblent donc plutôt être attribuables à des traces de chaluts dans des fonds de détritique côtier, l'aspect irrégulier de ces traces sur le fond provenant certainement de la pente relativement marquée sur ces secteurs.

- au large de l'herbier de la Calanque de Sormiou,
- localement, entre les Calanques de Morgiou et Sormiou,
- ce faciès est aussi largement développé de l'est de la Calanque de Morgiou au droit de la Calanque de Port-Miou. Sa présence est à confirmer au sud des îles Jarre et Jarron.

La roche

En fonction de la morphologie côtière et de la distance du profil par rapport à la côte, on l'observe uniquement de manière discontinue au pied des falaises et sur le pourtour des îles. Faiblement développée vers le large, la roche présente partout un relief marqué.

Les traces artificielles

En raison de la forte pente des fonds, les traces artificielles sont peu nombreuses devant le secteur des Calanques (nettement moins abondantes que dans la Baie de La Ciotat, par exemple).

- au droit de Cortiou, une variation locale de teinte sur les sonogrammes qui pourrait correspondre à l'impact du rejet,
- deux traces d'engins de pêche identifiées au droit de la calanque de Port-Miou (hors de l'herbier), deux autres dans l'herbier de Morgiou et une dans l'herbier du plateau des Chèvres.
- deux casiers de grande taille à l'est de l'île Plane,
- la présence d'un trou de bombe recolonisé sur le plateau des Chèvres (Pergent-Martini et al., 1995, annexe 2a, fiche CAL 3).

2.2.4 Comparaison avec la carte du site de Cortiou de 1991

Le domaine situé du plateau des Chèvres au Bec de Sormiou, au nord, et de l'île Jarre au Grand Congloué, au sud, (d'une superficie de 20 km²) a fait l'objet de levés sonar latéral (Clabaut 1991) et de prélèvements de sédiment en mars 1991 (Figure 2). Une zone annexe (superficie 5 km²), longeant l'archipel de Riou par le sud, avait également été reconnue.

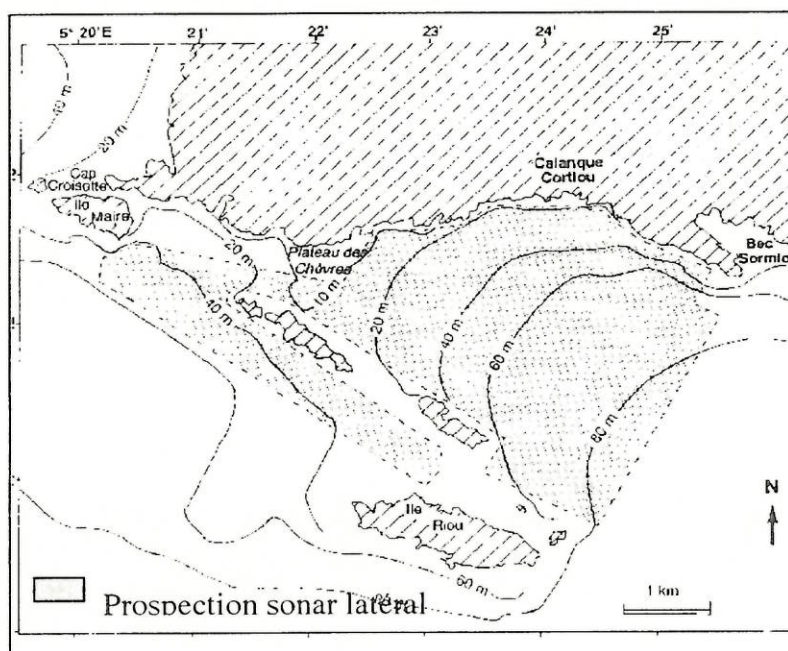


Figure 2. Carte des fonds ayant fait l'objet de levés au sonar latéral (in Clabaut, 1991).

La comparaison des données sonar acquises en 1991 et 2000 au niveau de la zone précédemment décrite a permis :

- d'une part de compléter ou de valider les données les plus récentes sur des secteurs localisés,
- d'autre part d'aborder l'évolution décennale de ce site, au niveau des limites de l'herbier de Posidonie susceptibles de régresser rapidement.

L'appréciation de l'évolution des limites de l'herbier de Posidonie a été abordée en comparant sur SIG, les couches d'information de 1991 et 2004 (pour l'année 2004 les données sonar datent de 2000). Seules les plus grandes zones de progression ou de régression ont été

considérées et retenues lors de l'analyse, étant donné la faible précision du géopositionnement en 1991 (Toran).

Trois zones principales de régression de l'herbier peuvent être clairement identifiées (Figure 3), il s'agit de zones de grande ampleur : deux sont situées à l'est et une à l'ouest du plateau des Chèvres. Ces zones correspondent toutes à des zones d'herbier profond, elles se trouvent en limite inférieure de l'herbier de Posidonie au delà de l'isobathe des 20 m. Les surfaces d'herbier en régression varient entre 2.03 et 4.70 ha, et représentent 10.59 ha au total (Tableau 1). La régression linéaire maximum de l'herbier a été calculée en prenant comme axe de mesure le sens général de la pente du fond, pour chaque zone considérée. Elle varie de 80 m pour la zone 2 à plus de 350 m pour la zone 3. Les profondeurs des limites inférieures de l'herbier en 1991 et 2004 ont été évaluées sur SIG (Tableau 1). La régression de l'herbier apparaît de faible amplitude bathymétrique au niveau de la zone 1 (égale à 3 m, de 24 à 21 m de profondeur) comparativement aux zones 2 et 3 où celle-ci atteint respectivement 11 et 13 m. Concernant les zones 2 et 3, les limites inférieures de l'herbier situées vers 36 et 38 m de profondeur en 1991 apparaissent extraordinairement profondes pour la zone d'étude. Dans la littérature, la limite inférieure d'herbier la plus profonde est signalée en 1968 à 35 m de profondeur aux environs de Cassis. Il convient donc de prendre avec précaution les valeurs de profondeurs évaluées ci-avant, étant donné la faible précision des isobathes du SHOM et du géopositionnement du sonar en 1991.

De part et d'autre de la zone 1, on note une progression de l'herbier de Posidonie atteignant 80 à 120 m linéaire. Cette progression apparaît comme nettement trop importante pour être considérée comme telle, elle semble plutôt attribuable à un problème de précision ou d'interprétation de la donnée. Il faut rappeler que l'on se trouve dans un secteur où l'herbier a déjà subi de fortes régressions par le passé, cette progression apparaît donc peu vraisemblable.

Au nord de la zone 1, face au littoral de Marseilleveyre, on note par contre que le contour de la limite inférieure de l'herbier entre 1991 et 2004 est comparable sur plus de 600 m de distance entre 10 et 18 m de profondeur environ.

Aucune comparaison n'a pu être établie au niveau des limites supérieures par manque de données en 1991. Plusieurs zones d'intermattes présentes au sein de l'herbier sont retrouvées d'une période à l'autre, on observe toutefois un décalage des contours entre les deux années, pouvant atteindre 50 m. La comparaison des données de 1991 et 2000 a permis de mettre en évidence que dans la zone du secteur de Cortiou et du plateau des Chèvres, la régression de l'herbier s'est poursuivie en profondeur au niveau de sa limite inférieure, au-delà de l'isobathe des 20 m. Par contre, la superposition des contours des limites d'herbier, face au littoral de Marseilleveyre (zone directement soumise au rejet de Cortiou) semble indiquer la stabilité de l'herbier de Posidonie entre 10 et 18 m de profondeur.

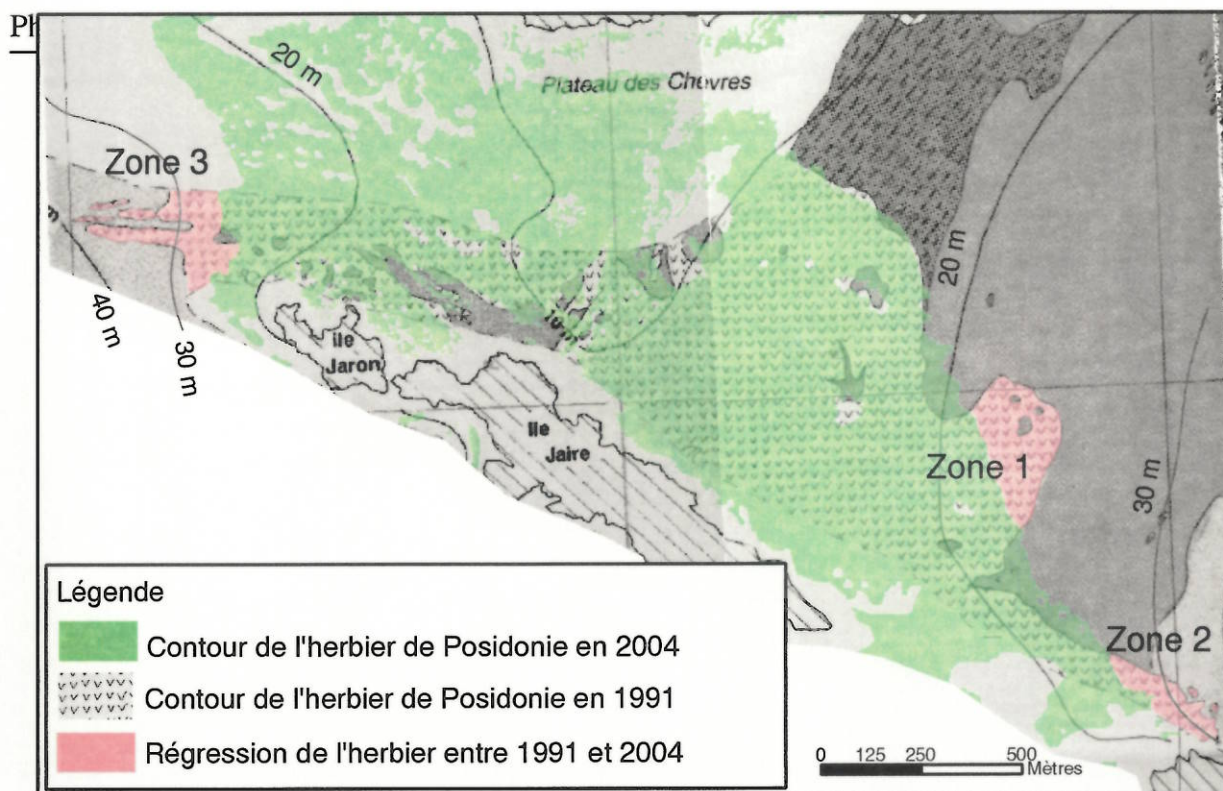


Figure 3. Evolution de l'herbier de Posidonie entre 1991 et 2004, dans le secteur de Cortiou et du Plateau des Chèvres.

Tableau 1. Caractéristiques des trois zones d'herbier identifiées en régression entre 1991 et 2004 dans la zone de Cortiou et du Plateau des Chèvres : superficie, linéaire en régression et profondeur des limites inférieures en 1991 et 2004.

	Superficie (ha)	Linéaire en régression (m)	Profondeur en 1991 (m)	Profondeur en 2004 (m)
Zone 1	4.70	230	24	21
Zone 2	2.03	80	36	25
Zone 3	3.86	350	38	25
Total	10.59			

2.2.5 Produits rendus

Le traitement des sonogrammes a permis d'obtenir une carte des contours des différents types de fond dans la zone bathymétrique comprise entre 15 et 80 m de profondeur au maximum. Cette couche d'information complète les données issues du traitement des photographies aériennes et constitue une phase essentielle dans l'élaboration de la cartographie des biocénoses. Suite au traitement sur SIG, on obtient une couche d'information provisoire des contours qui correspond à la position supposée des différents types de fond. Il est alors indispensable de valider et de compléter les informations thématiques obtenues, au moyen de vérités-terrain (campagnes de plongées ponctuelles, de vidéo remorquée et de ROV).

Il n'existe donc pas de produit spécifique remis par rapport à cette filière d'acquisition, en dehors de la couche d'information SIG finale de cartographie des biocénoses.

2.3 Conclusion

Le traitement de photographies aériennes et de sonogrammes a été réalisé sur des données acquises antérieurement à cette étude. Une carte préalable des contours des principales biocénoses a été élaborée sur SIG à partir de photographies aériennes et complétée par les données issues du traitement de sonogrammes. Cette carte préliminaire doit ensuite être validée et complétée à partir de vérités terrain (campagnes de plongées ponctuelles, de vidéo remorquée et de ROV). Les biocénoses identifiées ont fait l'objet d'une description précise secteur par secteur, pour les deux filières d'acquisition mises en œuvre.

Le traitement des photographies aériennes a permis de mettre en évidence la présence et la concentration d'importantes zones de matte morte au sein de l'herbier de Posidonie, au niveau des zones de mouillages les plus fréquentées des calanques de Marseille à Cassis, à savoir les calanques de Monastério-Fontagne, Sormiou, Morgiou, Sugiton, En Vau, Port Pin et Port Miou. Le traitement des sonogrammes a aussi permis de mettre en évidence la présence de traces anthropiques (arts traïnants) sur le fond, au niveau des calanques de Sormiou, Morgiou, sur le plateau des Chèvres et sur la face sud de Riou, ainsi que l'existence d'un faciès sédimentaire particulier notamment à Port-Miou.

La comparaison des données de sonar latéral de 1991 et 2000 a permis de mettre en évidence la stabilité des contours de l'herbier de Posidonie entre 10 et 18 m de profondeur dans la zone du secteur de Cortiou et du plateau des Chèvres. Par contre, il apparaît que la régression de l'herbier, bien connue sur ce secteur, s'est poursuivie au niveau des limites d'herbier les plus profondes.

3 La campagne de vidéo remorquée

3.1 Introduction

La reconnaissance des fonds marins par vidéo sous-marine constitue une des sources de données sur les biocénoses qui vient en complément de celles acquises par le sonar latéral, les photographies aériennes et les plongées. Deux techniques de vidéo sous-marine ont été utilisées : la vidéo remorquée et la vidéo opérée à partir d'un ROV.

Les résultats de la vidéo remorquée, obtenus après dépouillement et traitement des enregistrements vidéo, sont destinés à calibrer et à valider les informations provenant d'autres sources de données. La vidéo est également utilisée comme moyen d'investigation pour compléter la connaissance du milieu, notamment sur la présence d'algues patrimoniales (*Caulerpa prolifera*), invasives (*Caulerpa racemosa*) ou d'autres espèces patrimoniales.

Des cartes thématiques peuvent être établies sous SIG à partir des différents champs de qualification de la donnée. Plusieurs exemples de cartes sont présentés : herbier de Posidonie, éléments divers éparpillés sur le fond tels les macrodéchets, les filets abandonnés, les épaves.

3.2 Matériel et méthodes

3.2.1 Matériel mis en œuvre et principe de fonctionnement

L'ensemble du matériel de reconnaissance des biocénoses marines par vidéo sous-marine est opéré à partir d'une embarcation pneumatique à partir de laquelle on peut remorquer le bâti vidéo et mettre en œuvre la chaîne complète d'acquisition des données de navigation et d'images (Figure 4)

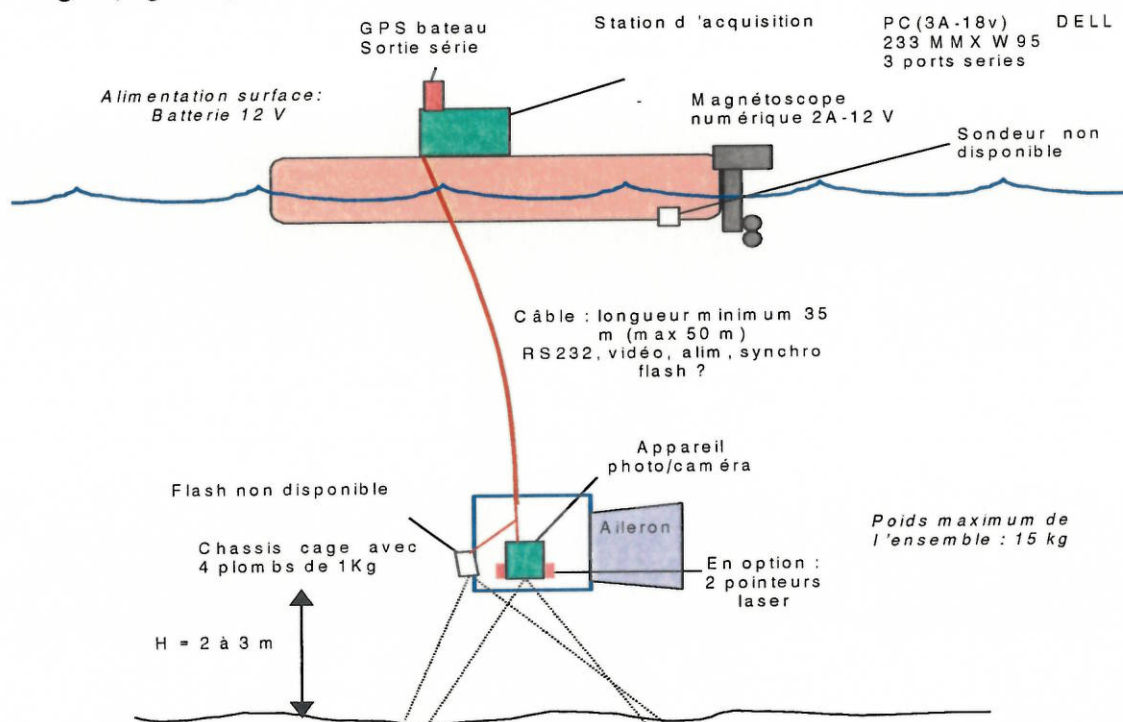
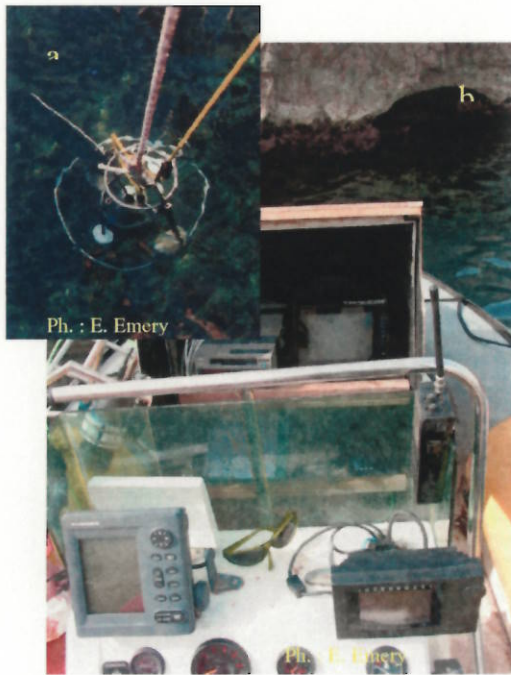


Figure 4. Configuration embarquée pour les prospections par vidéo remorquée.

Les caractéristiques du matériel vidéo utilisé pendant la campagne d'acquisition sont décrites ci-après :

- ❖ Embarcation support : il s'agit de l'embarcation support « Alcyon » du Laboratoire côtier Ifremer, équipé de sa cabine d'observation vidéo, d'un GPS MLR FX 412 et d'un sondeur à balayages vertical et horizontal "Seascout" (figure 4, b).
- ❖ Géoréférencement : le géoréférencement des données acquises, tant vidéo que bathymétriques, est assuré par un logiciel dédié « VIDEONAV³ », connecté à un PC embarqué.
- ❖ Chaîne d'acquisition vidéo : elle est composée des éléments suivants :



- caméra sous-marine mono CCD « Simrad Osprey OE 1372, Sony XC-999P » et son câble-ombilical électro porteur de 120 m (Figure 5, a). La caméra vidéo utilisée est disposée dans une enceinte étanche, elle-même logée dans un bâti de protection,
- régie surface Simrad OE 1230, d'alimentation de la caméra et de transfert du signal vidéo (Figure 5, b),
- moniteur JVC Pro de diagonale 22 cm (Figure 5, b),
- magnéto-scope numérique Sony DSR 20 P (Figure 5, b).

Figure 5. Partie du matériel utilisé en vidéo remorquée.

Un maximum de 4 personnes est embarqué lors des acquisitions d'images, compte tenu de l'encombrement du matériel et de la présence de la cabine d'observation ; ces personnes sont les suivantes :

- observateur-opérateur vidéo dans la cabine, qui assure l'enregistrement des images et des données géoréférencées,
- pilote de l'embarcation qui le cas échéant (absence connexion sondeur avec PC) assurera le relevé régulier des profondeurs en relation avec l'opérateur vidéo,
- 2 opérateurs câble à l'avant de l'Alcyon en l'absence d'un treuil.

La zone suivie en vidéo remorquée s'étend du Tiboulen de Maire à l'ouest jusqu'à la calanque de Port Miou à l'est (Figure 6). Les levés consistent le plus souvent en des profils le long de la côte, à des prospections au milieu des calanques ou entre les îles. Les reconnaissances se sont déroulées durant le mois de mars et avril 2004.

³ Logiciel développé par l'Ifremer pour l'aide à la navigation et l'acquisition en temps réel d'informations qualitatives sur les biocénoses marines.

Phase 2 : Rapport méthodologique et résultats

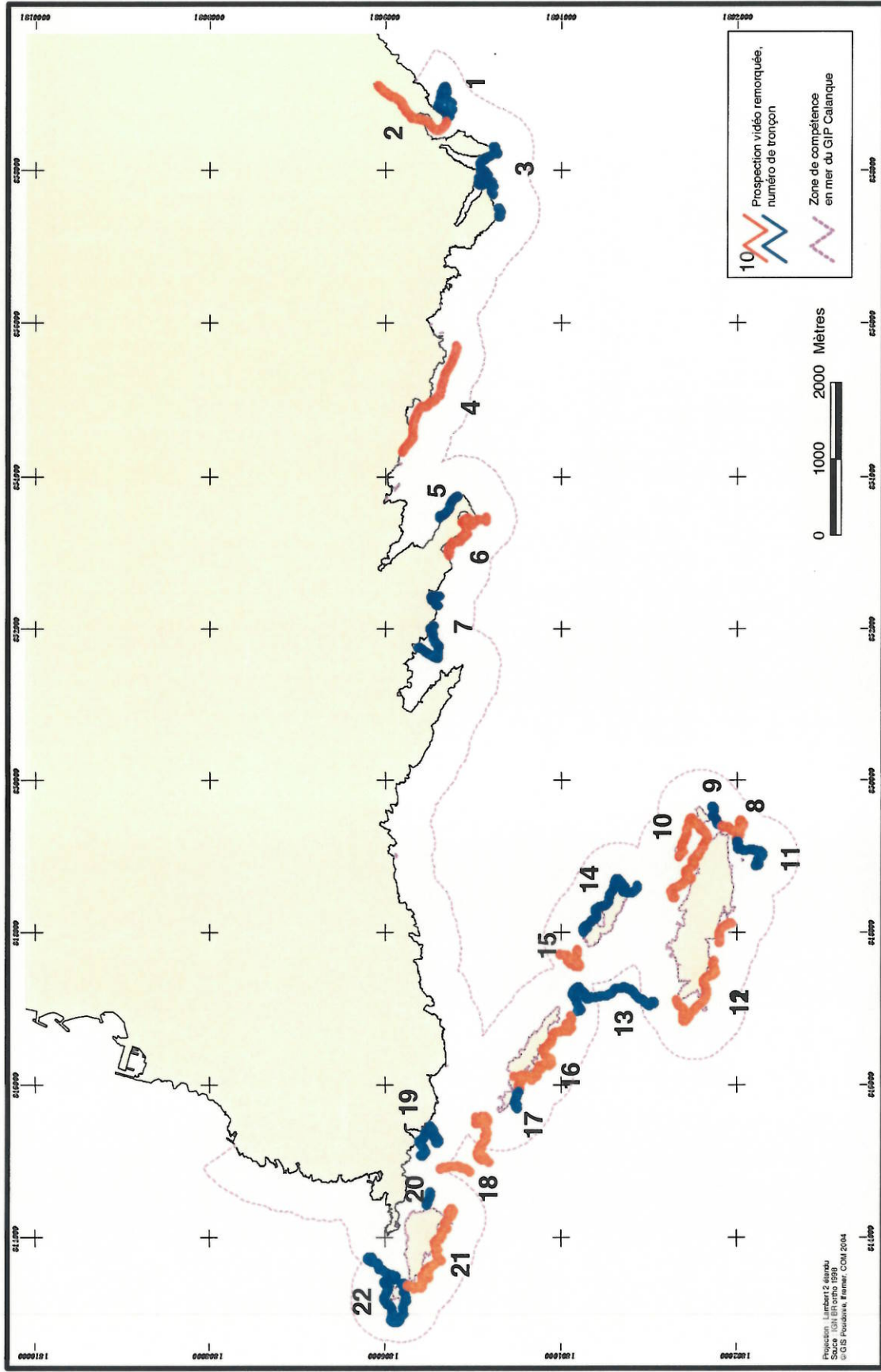


Figure 6. Tronçons vidéo réalisés lors de la campagne de vidéo remorquée dans les Calanques de Marseille-Cassis. Le numéro de chaque tronçon est figuré en gras.

3.2.2 Traitement des levés vidéo

Les levés ont été réalisés dans l'optique de couvrir une surface optimale de la zone d'étude, selon le principe d'effectuer des levés longitudinaux et transversaux comme le proposait, à titre indicatif, la carte prévisionnelle des reconnaissances.

Une première approche d'identification des types de fond rencontrés est opérée à bord du bateau, en temps réel. Cette identification s'appuie sur une classification, élaborée préalablement. Les données biocénotiques sont codées comme suit :

SUBSTRATS

Code 0 : non visible
Code 1 : substrat dur/roches
Code 2 : sables grossiers (SGCF)
Code 3 : détritique côtier
Code 4 : détritique côtier envasé
Code 5 : détritique côtier et pralines
Code 6 : sables fins bien calibrés
Code 7 : sables vaseux de mode calme
Code 8 : sables fins vaseux (vase portuaire)
Code 9 : sable coquillier

CORALLIGENE

Code 0 : néant/roches à Algues Photophiles
Code 1 : coralligène de tombant
Code 2 : coralligène de plateau/massifs coralligènes
Code 3 : éboulis rocheux

HERBIER DE MAGNOLIOPHYTES

Code 0 : absence
Code 1 : faisceaux isolés
Code 2 : touffes
Code 3 : herbier continu
Code 4 : matre morte

CAULERPES

Code 0 : absence
Code 1 : recouvrement de 0 à 25%
Code 2 : recouvrement de 25 à 50%
Code 3 : recouvrement > 50%

DIVERS

Code 0 : néant
Code 1 : macro-déchets
Code 2 : épave
Code 3 : débris végétaux en épave
Code 4 : filet, câble, fil de pêche

L'ensemble des bandes vidéo ont été revues en laboratoire après la phase de terrain. Les notes manuscrites initiales, relevées à bord du bateau, ont été largement complétées par tout détail jugé pertinent relatif aux biocénoses observées, elles sont présentées en annexe 3a. Elles permettent d'obtenir un niveau d'information relativement détaillé : le minutage de la bande vidéo est précisé, permettant alors un repérage spatial le long des routes suivies.

L'intérêt de la configuration informatique utilisée pour le traitement des images réside dans l'asservissement du magnétoscope à l'ordinateur. En effet, il permet de visualiser l'image correspondant au point ciblé de la route et réciproquement. Ce système facilite ainsi la recherche soit d'images, soit d'endroits particuliers de la route.

Le processus de traitement se déroule de la façon suivante :

- visualisation des routes sur l'écran de l'ordinateur à partir de l'interface VIDEONAV,
- visualisation des images vidéo sur moniteur à partir du magnétoscope,
- asservissement défilement des images et déplacement sur route,
- arrêt sur image pour vérifier, compléter ou rectifier les thèmes saisis sur l'interface de VIDEONAV, en fonction des thèmes observés,
- relevés d'informations particulières, et saisie, pour compléter les notes manuscrites initiales.

Les nouveaux fichiers ainsi « rejoués », dont les coordonnées des points sont transformées en degrés décimaux, contiennent l'information codée (champ de données) qui sera ensuite directement exploitable, sous ArcView®, pour compléter la cartographie et lever les zones de doutes existantes.

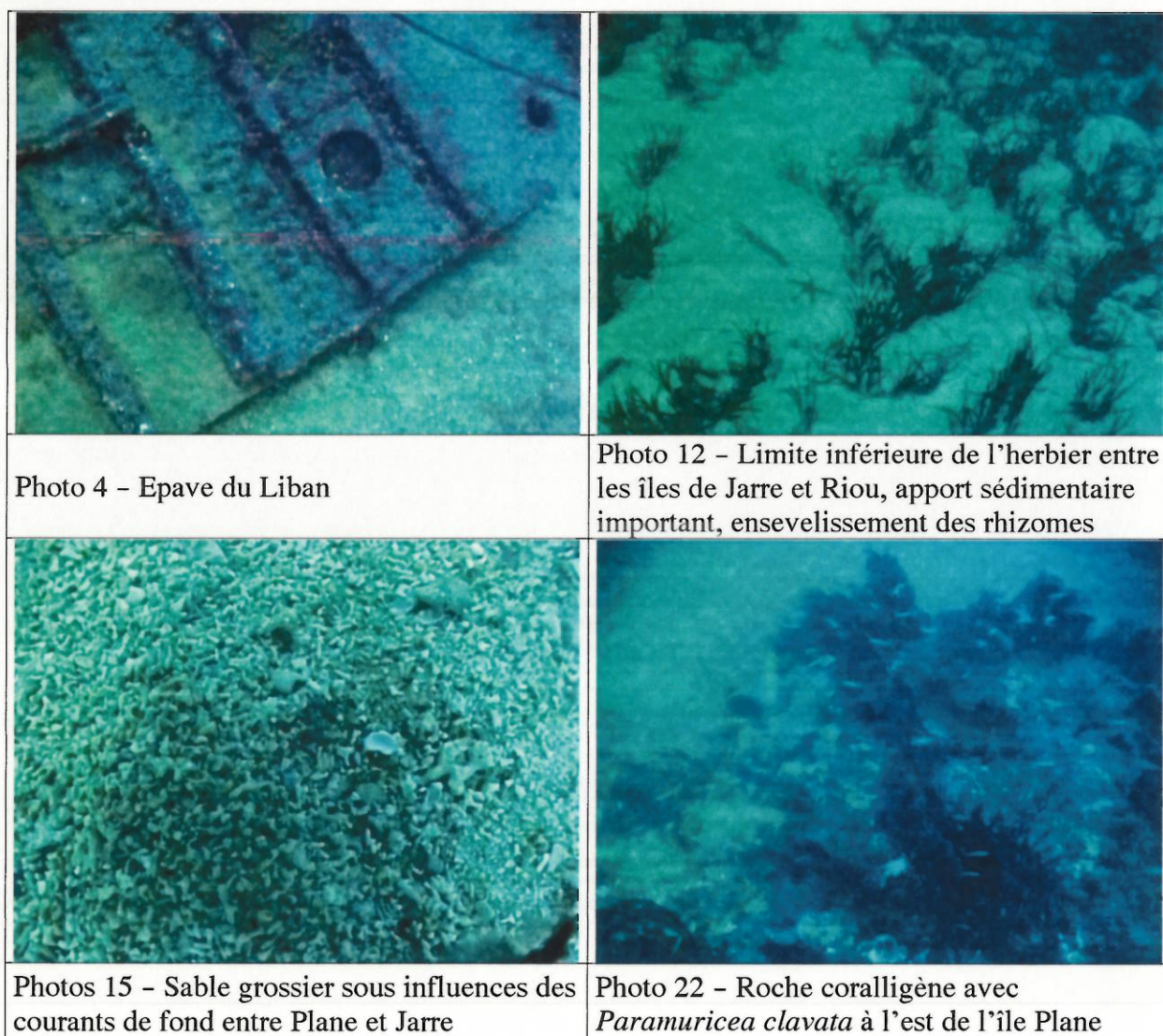
3.3 Résultats

3.3.1 Produits images

Au total, ce sont plus de 25 km linéaire de levé vidéo qui ont été effectués dans les Calanques de Marseille à Cassis entre 10 et 70 m de profondeur, représentant environ 15 heures d'enregistrement.

Lors du traitement des bandes de vidéo remorquée, des extraits de photographies et de vidéos ont été effectués à partir des enregistrements. Ces extraits se présentent sous la forme de fichiers image compressés (JPG) et de fichiers vidéo compressés (Avi) qui sont fournis au maître d'ouvrage sur DVD-ROM. Quelques exemples de photos illustrant les fonds coralligène, l'herbier de Posidonie et les substrats meubles sont présentés ci-après sur la Figure 7. La dénomination et la localisation de l'ensemble des fichiers photo et vidéo sont présentées en annexe 3b.

Figure 7. Photos extraites des enregistrements de vidéo remorquée, effectués en mars 2004 dans les Calanques de Marseille à Cassis.



3.3.2 Synthèse des observations réalisées le long des trajets vidéo

Le traitement de cette grande quantité d'information descriptive, contenue au travers des vidéo et des routes suivies, permet d'aboutir à une couche SIG, qui est destinée à calibrer et à valider les informations provenant d'autres sources de données. La prospection par vidéo sous-marine remorquée, a tout particulièrement permis de :

- a. Couvrir les zones de doutes ou d'incertitudes relevées lors de l'interprétation des sonogrammes : présence ou non d'herbier, roches isolées, faciès d'herbier sur roche, fond de décantation,
- b. Compléter l'acquisition de données pour la réalisation de la carte des fonds sur les zones non totalement renseignées par sonar ou par photographie aérienne : délimitation de la limite inférieure de l'herbier au nord du Tiboulen, au nord de Jarre, entre Plane et Riou, dans la calanque de Sormiou, calanques d'En Vau et Port Miou,
- c. Compléter les données pour la réalisation de la carte des fonds sur des sites difficiles à étudier du fait d'importantes surfaces à parcourir ou de leurs grandes profondeurs au niveau des faces sud des îles Maire, Jarre et Riou et des falaises du Dévenson
- d. Compléter la description biocénotique des fonds, notamment dans la zone des calanques de Sormiou à Cassis, relativement peu décrite.
- e. Mettre en évidence la présence de faciès de maërl au sud des îles de Maire, Plane et au large d'En Vau/Port-Pin. Ces faciès semblaient peu étendus et étaient localisés dans les zones les plus superficielles, proches de la roche littorale.
- f. Mettre en évidence la disparition de *Caulerpa prolifera* à Port Miou ; elle y était signalée en 1958. La présence de cette algue n'a pas été mise en évidence lors des prospections en vidéo remorquée dans la calanque de Port Miou ni dans aucune autre station. Il est en effet fort probable que celle-ci ait disparu depuis fort longtemps, dans le milieu relativement confiné et pollué que constitue la calanque de Port-Miou.

Les inspections en vidéo remorquée n'ont pas permis de :

- a. Mettre en évidence la présence de *Caulerpa racemosa*. Lors des rejeux vidéo, une attention particulière a été portée sur la présence de *Caulerpa racemosa*, toutefois aucune nouvelle station a été signalée. Les explorations menées aux mois de mars et avril n'étaient toutefois pas favorables à son observation, cette algue disparaissant quasiment totalement à cette période de l'année.
- b. Elargir les connaissances sur la présence d'espèces cibles de la pêche. En effet, seules les espèces fixées sur le substrat ont pu être observées dans le champ de la caméra. La période hivernale n'est pas une saison favorable pour ce type d'observation.

Les levés vidéo ont fait l'objet de descriptions détaillées, l'ensemble de ces notes est rassemblé en annexe 3a, toutefois dans un souci de clarté et de lisibilité, celles-ci ont été synthétisées dans le Tableau 2. Les informations les plus pertinentes, se rapportant essentiellement à la description de l'herbier, à la présence de formations coralligènes, à la description des substrats meubles ou à l'accumulation de macrodéchets, sont caractérisées pour chaque tronçon de route réalisée (Figure 6). Ces transects vidéo apportent des compléments d'information précieux, notamment sur la zone des calanques de Sormiou à Cassis, relativement peu décrite.

Tableau 2. Synthèse des informations recueillies le long des tronçons de route vidéo réalisées dans les calanques de Marseille à Cassis en mars 2004.

Numéro tronçon	Tronçon Vidéo	Observations
1	Cassis- Bestouan	Limite inférieure de l'herbier située à -32 m présentant des signes de progression (rhizomes traçants), en profondeur fond du détritique côtier. Recouvrement de l'herbier de 40 à 60 % Présence de macrodéchets
2	Port-Miou	Recouvrement de l'herbier de 60 à 80 % à l'entrée de la calanque puis faciès d'herbier mité (matte morte) et localement envasé. Nombreux macrodéchets et chaîne de bouée sur le fond
3	En Vau	Tombants et éboulis coralligènes avec <i>E. cavolinii</i> Limite inférieure de l'herbier clairsemé, recouvrement compris entre 25 et 70 % . Roches coralligènes isolées sur sable, et tombant coralligène avec <i>Paramuricea clavata</i> à la Pointe Cacau.
4	Sugiton- Dévenson	Roches à algues photophiles avec herbier en taches au pied falaises et quelques gorgones (<i>E. cavolinii</i>) A l'est herbier clairsemé sur sable mêlé avec roches et patates coralligènes
5	Morgiou	Roches à algues photophiles avec <i>E. singularis</i> Tombant et patates coralligène, grande abondance de <i>E. cavolinii</i> jusqu'à 14 m de profondeur, faible abondance de <i>Paramuricea clavata</i> et de petite taille
6	Cap Morgiou	Tombant et patates coralligène avec Gorgones : <i>Eunicella singularis</i> et <i>E. cavolinii</i> . Abondance de <i>Corallium rubrum</i> Faciès de coralligène avec <i>Halimeda tuna</i>
7	Sormiou	Sable grossier mêlé à détritique côtier grossier + cailloux recouverts d'algues photophiles Recouvrement de l'herbier de 40 à 60 % Herbier en placage sur roche à la côte
8	Riou- Caramassaigne	Détritique côtier avec accumulation de litière Tombant coralligène avec <i>P. clavata</i> et poissons abondants
9	Riou - Caramassaigne vers Grand Conglue	Détritique côtier hétérogène montrant des alternances entre un sédiment grossier et plus fin Tombant coralligène avec filet enragué
10	Riou - Petit Conglue et Grand Conglue	Détritique côtier avec zone d'accumulation de litière et de macro-déchets (zone de décantation) Abondance de <i>P. clavata</i> le long de tombants coralligènes
11	Riou Caramassaigne vers impériaux	Détritique côtier avec ripple marks Abondance de <i>P. clavata</i> le long du tombant de l'impérial du large, observation de corail rouge
12	Riou-Moyade	Développement d'herbier sur roches à algues photophiles Patates coralligène avec <i>E. cavolinii</i>
13	Riou à Plane	Limite inférieure de l'herbier clairsemé (faisceaux isolés)

		Détritique côtier avec présence de petites roches isolées et de galets
14	Plane	Roche à algues photophiles bordée par le détritique côtier Tombants et éboulis coralligènes avec <i>P. clavata</i> abondante et <i>E. cavolinii</i> , remontant jusqu'à 8 m de profondeur
15	Nord Plane	Limite inférieure de l'herbier présentant des rhizomes isolés et ensablés (forte sédimentation ou mouvement sédimentaire) Recouvrement de l'herbier de 30 à 50 %
16	Sud Jarre -	Limite inférieure de l'herbier présentant des rhizomes isolés avec petites roches isolées avec <i>E. singularis</i> Roches à algues photophiles avec herbier en placage Zone coralligène avec <i>E. cavolinii</i>
17	Jarron	Tombant coralligène avec <i>E. cavolinii</i> Herbier en taches
18	Ouest Jarre	Recouvrement de l'herbier de 20-30 % en limite inférieure de l'herbier et zone de matte morte Epave et macrodéchets
19	Callelongue	Sable grossier sous influence de courant de fond Limite inférieure de l'herbier clairsemé (touffes et rhizomes isolés)
20	Est Maire	Détritique côtier et sable envasé, accumulation de litière
21	Sud-Maire	Détritique côtier avec cailloux et roches isolées avec <i>E. singularis</i> Tombant et brondes coralligènes avec gorgones, à noter la présence de <i>Lophogorgia ceratophyta</i>
22	Tiboulen	Herbier en taches avec zone de matte morte Patates coralligènes. Roches à algues photophiles avec <i>E. singularis</i> Coralligène de plateau avec <i>E. cavolinii</i>

Une fois l'information vidéo codée, l'utilisation du SIG permet en outre de réaliser des cartes thématiques à partir des champs de qualification de la donnée. La carte thématique de l'herbier de Posidonie et une carte présentant les divers éléments rencontrés sur la zone, tels les macro déchets, les épaves de bateau, les câbles et filets ainsi que l'accumulation de débris végétaux, sont respectivement représentées sur la Figure 8 et la Figure 9. La carte thématique de l'herbier a été intégrée aux couches d'information issues du traitement des photographies et des sonogrammes ; elle a permis notamment de préciser les contours de certaines limites inférieures d'herbier. La seconde carte apporte des informations qui ne sont pas d'ordre biocénotique, mais qui ont toutefois toute leur importance dans le cadre de la gestion du domaine marin. On constate que les macrodéchets sont présents sur la plupart des tronçons vidéo réalisés, que se soit dans des petits fonds comme à Port Miou ou que se soit à de plus grandes profondeurs comme au large du grand Conglue. Les câbles et les filets de pêche abandonnés sont relativement abondants, notamment sur la toute la face Sud de l'île de Riou. Cette zone de pêche fortement prisée par les « petits métiers » présente en effet des risques : elle est très exposée aux houles du large, est parsemée de brondes rocheuses et est de plus en plus fréquentée.

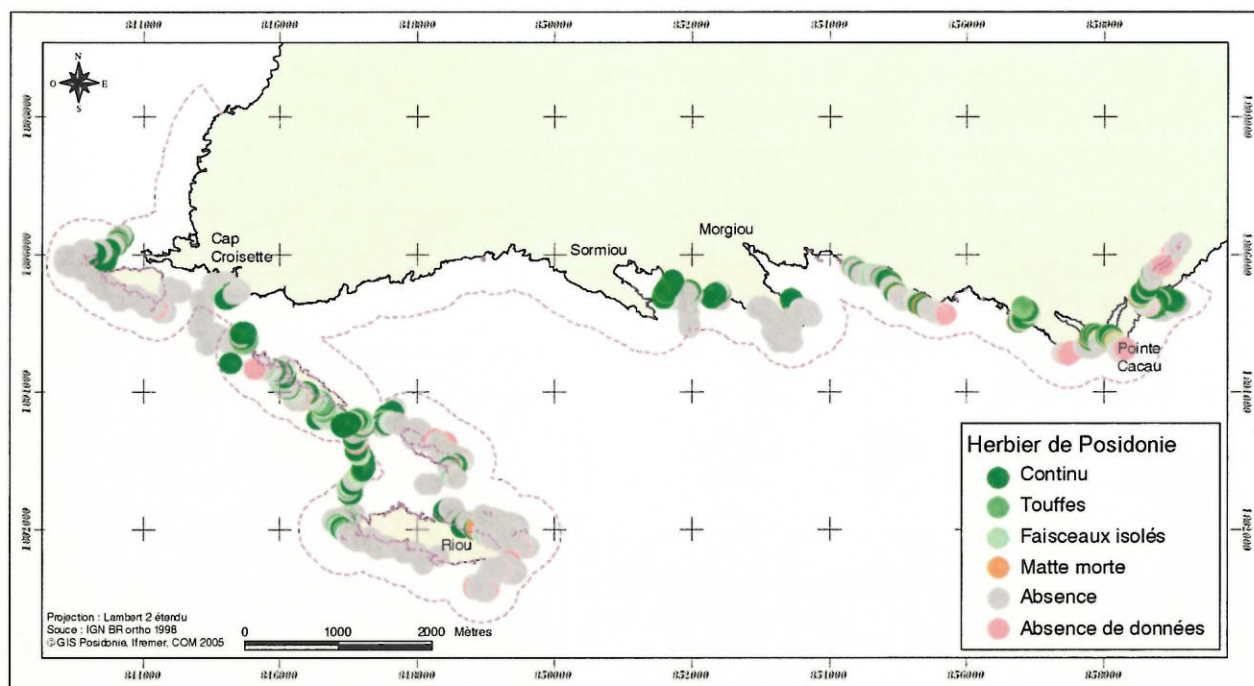


Figure 8. Représentation thématique de l'herbier de Posidonie rencontré le long des trajets vidéo, effectués dans le massif des Calanques de Marseille à Cassis en mars 2004.

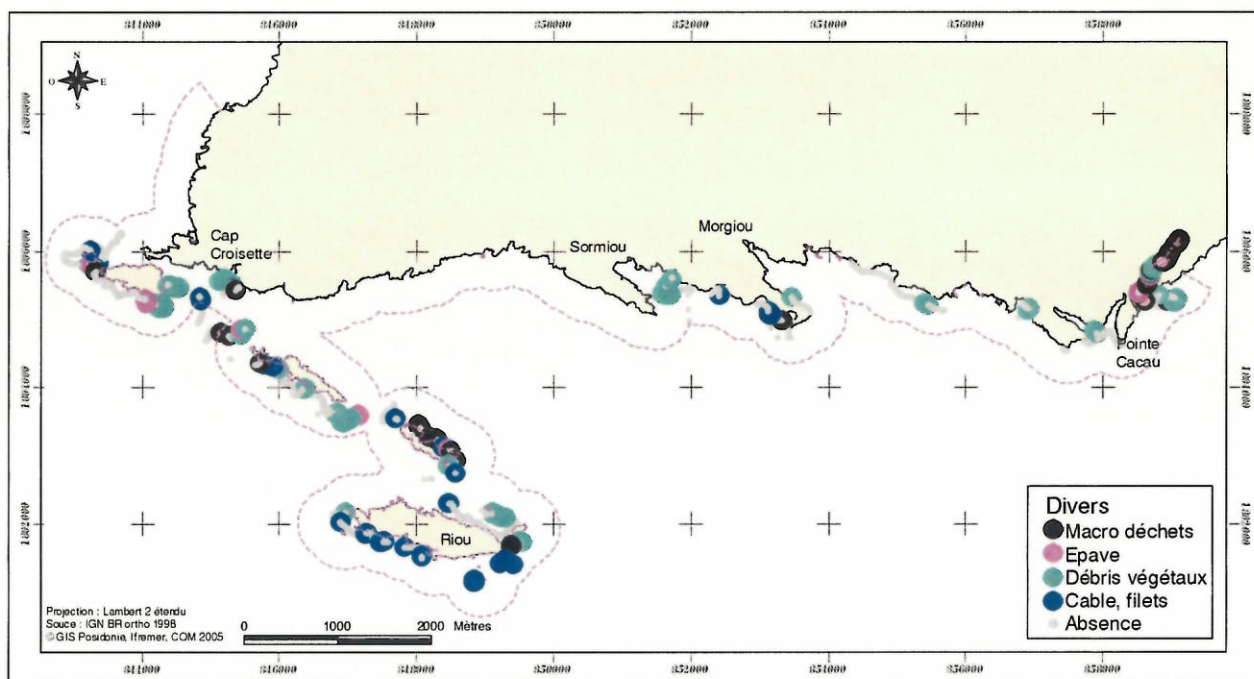


Figure 9. Représentation thématique des macrodéchets, épaves, débris végétaux, câbles et filets rencontrés le long des trajets vidéo, effectués dans le massif des Calanques de Marseille à Cassis en mars 2004.

3.4 Produits rendus

Les produits issus de cette voie d'acquisition sont :

- Photos et vidéo des extraits des bandes vidéos sur DVD-ROM - localisation des points d'enregistrement sur la carte présentée en annexe 3b,
- 5 cassettes VHS, copies des cassettes originales enregistrées en numérique, soit environ 15 heures d'enregistrement,
- relevé manuscrit détaillé des bandes vidéos en annexe 3a du rapport de phase 2
- couche SIG des tracés vidéo comportant les différents champs de qualification de la donnée.

3.5 Conclusion

La campagne de vidéo remorquée a été réalisée dans le massif des calanques sur un linéaire d'environ 25 km et a fourni environ 15 heures d'enregistrement. L'information vidéo a été codée en fonction de champs de données prédéterminés et intégrée dans un système d'information géographique pour être traitée.

Cette filière d'acquisition a permis à la fois de relever les zones de doutes ou d'incertitudes identifiées lors de l'interprétation des sonogrammes, mais aussi d'acquérir des données supplémentaires afin de compléter la carte des fonds sur les zones non totalement renseignées par sonar ou par photographie aérienne. Les biocénoses rencontrées ont été caractérisées le long des routes vidéo suivies, notamment dans la zone des calanques entre Sormiou et Cassis, zone encore peu décrite. Les zones coralligènes sont bien développées au bec de Sormiou, au cap Morgiou, avec une abondance particulière le long des tombants de *Eunicella cavolinii* et à Castel Viel et Pointe Cacau où l'on observe de beaux peuplements de *Paramuricea clavata*.

Cette campagne de vidéo a permis de mettre en évidence la disparition de *Caulerpa prolifera* à Port Miou ; en outre aucune nouvelle station de l'algue invasive *C. racemosa* n'a été identifiée sur la zone d'étude. Enfin, ces prospections ont apporté des informations sur la présence de macro-déchets, d'épaves, de câbles et de filets de pêche abandonnés sur le fond.

Ce type de prospection constitue également une banque d'images vidéo de la zone des calanques le long de routes précisément géoréférencées, qui pourra permettre ultérieurement un retour sur site.

4 La campagne de vidéo ROV

4.1 Introduction

La reconnaissance de certaines parties du littoral des Calanques de Marseille-Cassis, reconnues d'intérêt particulier pour leur biodiversité ou des caractéristiques écologiques spécifiques, a nécessité l'utilisation d'un ROV. Ce moyen d'investigation a permis de confirmer ou non les doutes existants suite à l'interprétation des sonogrammes et d'affiner les prospections vidéo et plongées sur des points précis comme les tombants coralligènes, les roches profondes, les peuplements de gorgonaires, les surplombs à *Corallium rubrum*. L'utilisation du ROV permet de s'affranchir des contraintes rencontrées en plongée et lors de la vidéo remorquée, notamment en terme de positionnement, de profondeur et de durée d'observation. Il permet d'autre part, de disposer d'images de qualité facilitant la description des biocénoses rencontrées et l'inventaire fin des peuplements associés.

4.2 Matériel et méthodes

4.2.1 Matériel utilisé et principe de fonctionnement

Le ROV Pluto (Remote Operational Vehicule) est opéré à partir du catamaran Daedalus de la société « Gay Robot », par l'intermédiaire d'un ombilical (Figure 10). Le ROV est télécommandé depuis la cabine du bateau, son évolution est suivie sur l'écran de la régie et les images sont enregistrées sur magnétoscope (Figure 10). Deux moniteurs de contrôle et un écran de télévision sont disposés en régie et permettent facilement à une équipe scientifique de 5-6 personnes de visualiser et d'interpréter les images en temps réel. La route suivie par le ROV lors de chaque plongée est également enregistrée, sur support informatique, avec une précision d'environ 5 m. Elle permet par la suite, une fois à terre, de localiser les images enregistrées le long des parcours effectués.

Description du matériel utilisé:

- ROV « Pluto » de 160 kg,
- alimentation sur batterie, autonomie de 2 à 6 h,
- enregistrement en continu sur support VHS,
- enregistrement des sites d'intérêt en format numérique,
- prise de vue numérique,
- ombilical : câble de 500 m de longueur de section 6 mm,
- géopositionnement dynamique du navire,
- enregistrement du parcours sous-marin du ROV à 5 m près.

Outre la caméra sous-marine, le ROV Pluto possède aussi un appareil photo numérique permettant d'effectuer des clichés à la demande. Il est également équipé d'un bras articulé muni d'une pince permettant la récolte d'échantillons si nécessaire.

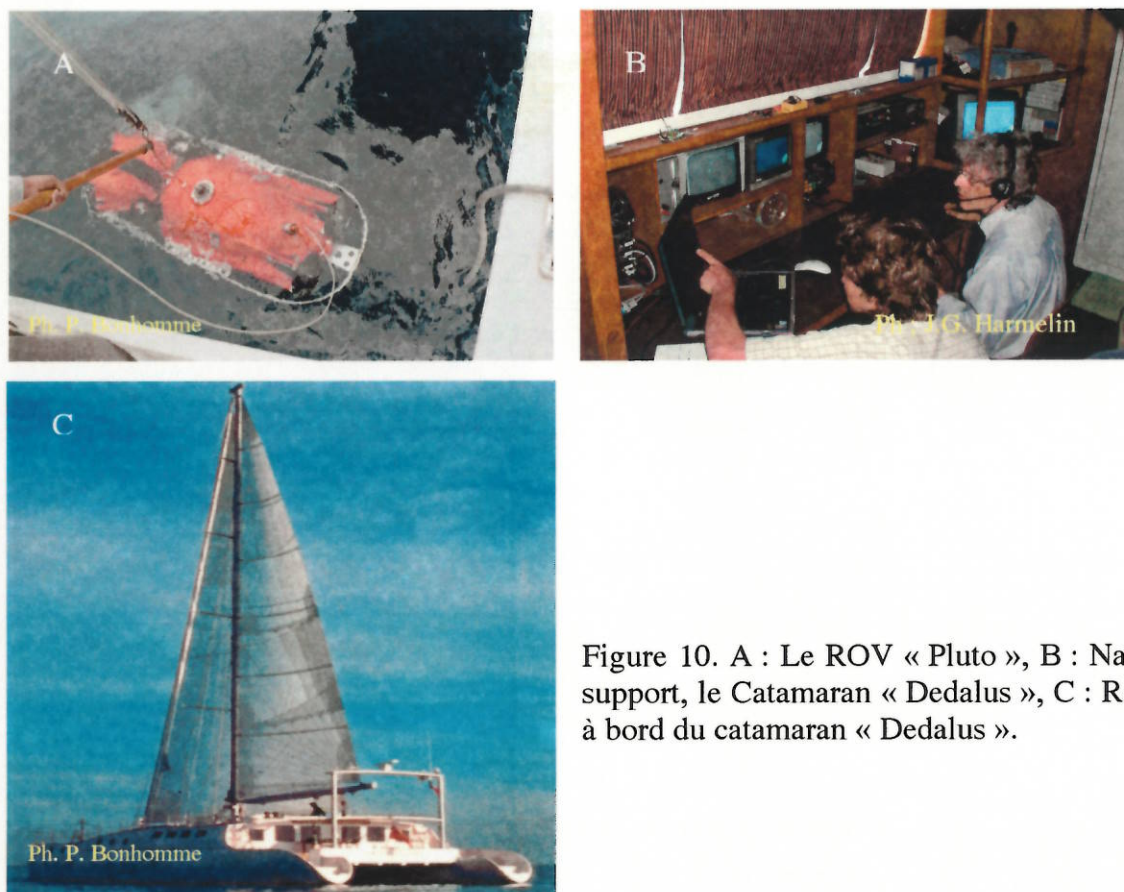


Figure 10. A : Le ROV « Pluto », B : Navire support, le Catamaran « Dedalus », C : Régie à bord du catamaran « Dedalus ».

4.2.2 Echantillonnage

Les plongées ROV ont été effectuées dans des zones peu accessibles à la plongée sous-marine (zones profondes) et à la vidéo remorquée (localisation difficile), et dans les secteurs pas assez renseignés par le sonar latéral. Au total 8 immersions ont été effectuées (Tableau 3, entre 23 et 83 m de profondeur, au niveau des pierres ou zones rocheuses de la calanque des Contrebandiers, des Impériaux (Riou), du Grand Conglue, bec de Sormiou, du cap Morgiou et de Castel-Viel (Figure 11, Tableau 3). La présence de filets de pêche ainsi que l'importante fréquentation ont de fait limité les opérations de prospection sur certains sites.

Tableau 3. Caractéristiques (noms, profondeurs prospectées, durée de plongée) et observations des plongées effectuées avec le ROV Pluto dans les calanques de Marseille à Cassis en mars 2003.

Site	Nom	Profondeurs prospectées	Durée plongée (en minutes)	Observation
1	Sud Calanque des Contrebandier	50-70 m	70	
2	Impérial du large	62-75 m	67	
3	Impérial du large	64-78 m	92	
4	Est Grand Conglue	70-83 m	57	
5	Pointe Sormiou	55-57 m	26	Aire de prospection limitée : filets de pêche
6	Cap Morgiou	23-37 m	40	Aire de prospection limitée : filets de pêche
7	Ouest Castel-Viel	43-60 m	32	Absence de roches profondes
8	Castel-Viel	25-45 m		Aire de prospection réduite : fréquentation importante

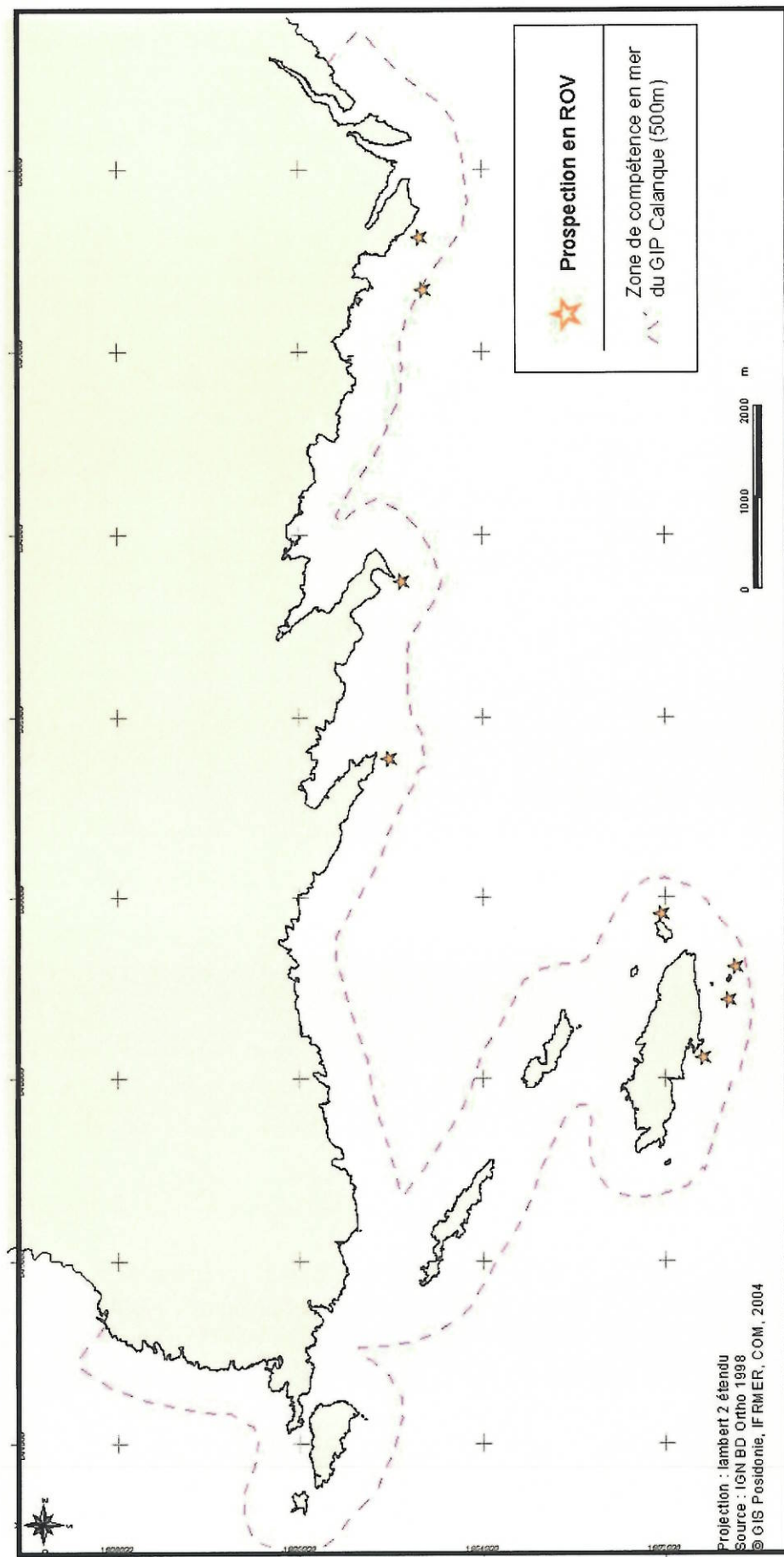


Figure 11. Localisation des prospections réalisées en ROV dans les Calanques de Marseille-Cassis en mai 2003.

La plus grande partie des reconnaissances vidéo a été assurée par la vidéo remorquée ; le ROV n'a été utilisé que localement, au niveau de sites particuliers. Grâce à sa liberté de mouvements, le ROV permet de travailler sur un site donné avec une grande précision ; il évolue à l'horizontale, ce qui permet d'obtenir des images en perspective donnant une vision réelle du paysage, ainsi que des détails précis sur des objets particuliers en s'en rapprochant à volonté. Les routes précisément suivies par le ROV, enregistrées sous format informatique, sont restituées en annexe 4a. Le logiciel de navigation GPSLog Reader, est également fourni au maître d'ouvrage, il permet de visualiser les routes ROV selon le niveau de zoom souhaité.

4.3 Résultats

4.3.1 Produits images

Au final, 3 cassettes VHS ont été enregistrées, procurant ainsi plus de 6 heures d'enregistrement et 2 cassettes numériques procurant environ 1h15 d'enregistrement en haute définition.

Les images vidéo du ROV, enregistrées sur cassette VHS et numériques couvrent essentiellement les biocénoses de substrats durs (coralligène) et de substrats meubles profonds (détritique côtier plus ou moins envasé selon les secteurs). Etant donné l'importante durée d'enregistrement, les séquences vidéo les plus caractéristiques ont été repérées, elles sont décrites dans le Tableau 4 en fonction de la biocénose rencontrée, du minutage de chaque cassette et de la profondeur d'immersion. Le relevé complet des notes prises au cours de la mission de terrain est toutefois présenté en annexe 4b et complété par des planches de photos numériques en annexe 4c.

Tableau 4. Caractéristiques (sources, repères, localisation) des séquences vidéo ROV sélectionnées pour illustrer les différents types de biocénoses rencontrées.

Biocénose	Source	Repère cassette	Caractéristiques	Localisation	
Substrats durs (Coralligène)	Cassette 1	00.37	Prof.=57-60 m	Est calanque Contrebandier Trajet S/SW	
		00.52	Prof.=52-66 m	Id.	
		01.10	Prof.=50 m	Id.	
		01.33	Prof.=58-70 m	Sud-Est Impérial du large Trajet N/NW	
		01.52	PROF =63 m	Id.	
		01.59	Id.	Id.	
		02.59-03.22	Prof.=64-74 m	Id.	
		K7 2	03.43	Prof.=75 m, coralligène envasé	Sud-Est Impérial du large Trajet N/NW
			04.02	Prof.=72 m	Id
			04.15	Prof.=74 m	Id
04.27	Prof.=77 m		Id		
		00.20	Prof.=80 m	Pierre de Cassis (Gd Conglue) Trajet N	
		00.25	Prof.=70 m, coralligène envasé	Id	
		00.40	Prof.=74 m, coralligène de plateau	Id	
		K7 3	04.40-05.20	Prof.=23-45 m	Cap Morgiou, trajet SW
Substrats	K7 1	00.35	Prof.=50 m, sédiment	Est calanque Contrebandier	

meubles (DC)			grossier	Trajet S/SW
		01.08	Prof.=50 m	Id.
		01.28	Prof.=75 m	Sud-Est Impérial du large Trajet N/NW
		01.48	Prof.=59 m, débris végétaux	Id.
		01.56	Prof.=65 m	Id.
		02.55	Prof.=78 m, débris végétaux	Id.
	K7 2	03.42	DC grossier	Id.
		00.00	Prof.=80 m, DC hétérogène	Pierre de Cassis (Gd Conglue) Trajet N
		00.24	Prof.=70 m, DC hétérogène	Id.
		00.38	Id.	Id.
	K7 3	04.53	DC bas de tombant	Devant grotte Cosquer (Morgiou), trajet SW
Substrats meubles (DC ensasé)	K7 1	00.42	Prof.=60 m	Est calanque Contrebandier Trajet S/SW
	K7 2	04.02	Prof.=72 m	Id.
		04.15	Prof.=74 m	Sud-Est Impérial du large Trajet N/NW
		04.24	Prof.=77 m, débris végétaux	Id.
		00.54	Prof.=81 m	Pierre de Cassis (Gd Conglue) Trajet N
		00.10	Prof.=55 m	Pointe Sormiou
	K7 3	03.35-04.07	Prof.=43-60 m, débris végétaux	Ouest Castel-Vieil

4.3.2 Synthèse des observations réalisées sur les sites prospectés en ROV

Campagne ROV dans l'archipel de Riou (Sites 1 à 4)

Les gorgones sont en bon état et atteignent une grande taille dans cette gamme de profondeur (50-80 m). La forme partiellement jaune de *Paramuricea clavata* est particulièrement fréquente à l'Impérial du large (Figure 12), ce qui avait déjà été noté en plongée à une profondeur plus faible. *Eunicella verrucosa* est particulièrement présente sur la roche périphérique de la Pierre de Cassis (entre 70 et 80 m).

Le corail rouge, *Corallium rubrum*, est très peu abondant et de petite taille au sud de Riou dans les habitats potentiellement favorables explorés par le ROV (Figure 12), alors qu'il est beaucoup plus fréquent et de plus grande taille à une profondeur plus faible dans le même secteur. Cette observation est surprenante car autrefois (années 1960s), les colonies de corail rouge étaient fréquentes et grandes (Figure 12) entre 60 et 70 m sur le tombant de l'Impérial du large qui a été visité, y compris au pied de *Paramuricea clavata*. Ceci résulte peut-être d'un défaut d'observation avec le ROV, mais il peut y avoir eu une évolution négative suite à des prélèvements excessifs ou une baisse de la qualité des habitats à cette profondeur (60-70 m). Le corail rouge est nettement plus abondant et grand sur la roche extérieure de la Pierre de Cassis, ainsi qu'à plus faible profondeur sur la côte sud de Riou.

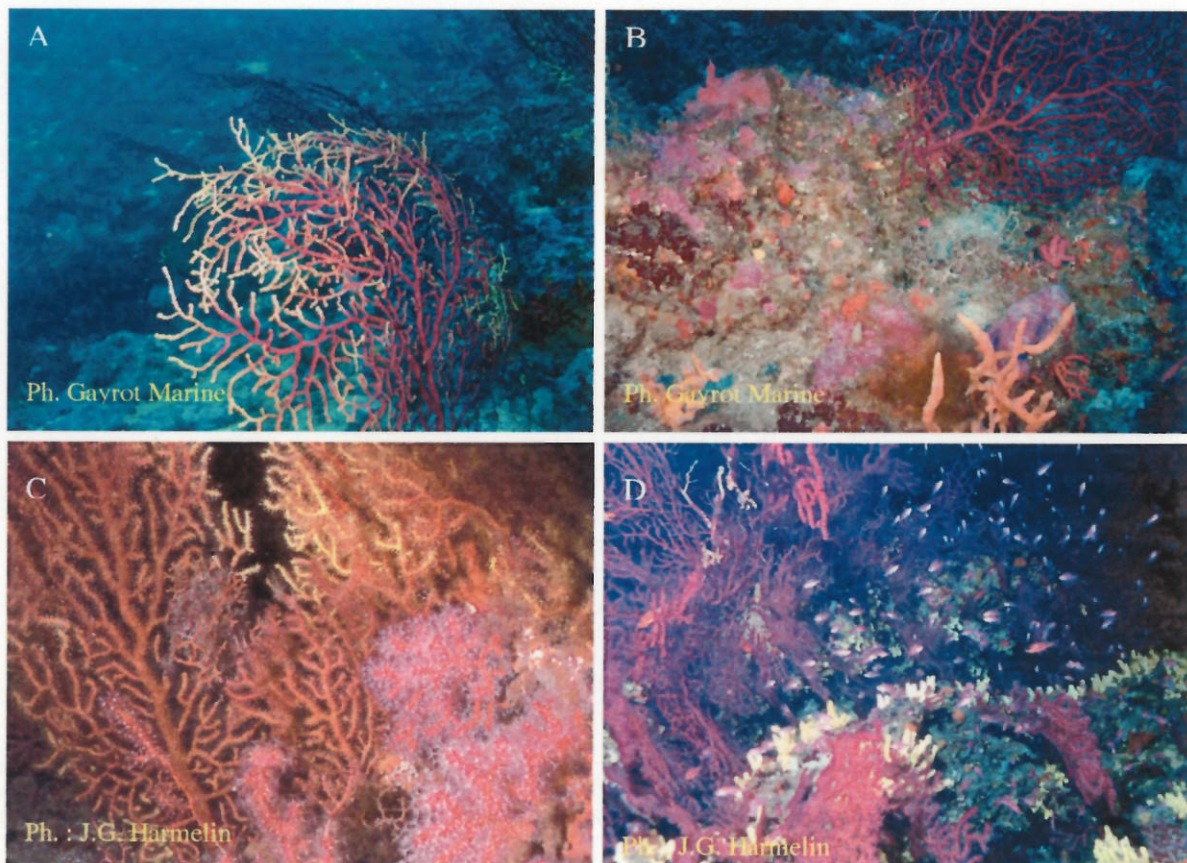


Figure 12. A : *Paramuricea clavata* à demi jaune (69 m) ; B : Coralligène profond de l'Impérial du large (70 m) ; C : Coralligène de l'Impérial du large à 68 m en 1967 ; D : Coralligène dans la zone des 20-40 m de l'Impérial du large avec de nombreuses éponges *Aplysina cavernicola*.

Concernant les éponges, on notera l'absence de l'éponge oreille d'éléphant (*Spongia agaricina*) ; autrefois, de grands individus existaient au pied des Impériaux vers 60-70 m de profondeur (Harmelin, comm. pers.). De même, *Aplysina cavernicola* n'a pas été rencontrée ; cela pourrait être dû à un effet profondeur. Cette espèce est rare et localisée à 130 m dans le canyon de Cassidaigne ; elle est très abondante dans les cavités et sous les surplombs de l'archipel de Riou dans la zone des 20-40 m (Figure 12). Les *Axinella verrucosa*, *A. damicornis* et peut être *A. vacoleti* sont très fréquentes ; *A. polypoides* est présente, mais moins grande que dans la zone 30-40 m. On note l'absence des espèces de la Roche du Large, plus profondes, comme *Poecillastra compressa*, *Pellina magna*, etc., abondantes à 130 m sur les falaises du canyon de Cassidaigne. La seule exception possible serait *Reniera poecillastroides*, mais l'identification est douteuse. Dans la zone explorée (60-75 m), on est encore dans le coralligène profond, avec la disparition ou la diminution de quelques espèces comme *Aplysina cavernicola* ou *Agelas oroides*, mais pas encore dans la Roche du Large.

Les grands bryozoaires sont remarquablement absents sur la face sud de Riou, sauf quelques rares spécimens de *Myriapora truncata* et un *Smittina cervicornis*. Ces espèces devraient pourtant être là, y compris les grandes *Hornera* (*H. frondiculata* et *Hornera* sp.) ; cette absence apparente est peut-être due à la perception insuffisante de la caméra du ROV (à vérifier en plongée dans la zone 50-60 m), mais ces espèces ont été observées avec cet engin sur d'autres sites. Ainsi, les grands bryozoaires (*Pentapora fascialis*, *Turbicellepora avicularis*, *Smittina cervicornis*, *Myriapora truncata*) sont bien présents sur les roches extérieures à la Pierre de Cassis vers 80 m de fond (Figure 13), mais les rétépores (*Reteporella septentrionalis* et autres espèces) n'ont pas été rencontrées, de même que *Adeonella calveti* (la profondeur est peut être trop importante).

Les échinodermes ne sont pas fréquents. Un seul *Echinus melo* a été rencontré sur la Roche de Cassis (connue pour en accueillir beaucoup vers 50-60 m de profondeur) et également un seul gorgonocéphale (*Astrospartus mediterraneus*, Figure 13).

Du point de vue des Poissons, les barbiers (*Anthias anthias*) sont dominants, avec les bogues (*Boops boops*) ou les mendoles (*Spicara* spp.) au-dessus de certaines roches. Les autres espèces rencontrées (*Labrus bimaculatus*, *Scorpaena notata*, *Phycis phycis*, *Mola mola*, etc.) sont peu fréquentes. Aucun chapon (*Scorpaena scrofa*) n'a été rencontré, alors que cette espèce caractérise bien le coralligène profond ; par contre, la petite rascasse *Scorpaena notata* est très présente (Figure 13). A noter la présence du petit labre profond (*Lappanella fasciata*) dans les gorgones au large de la calanque des Contrebandiers à Riou.

En ce qui concerne les macrophytes, des espèces filamenteuses se trouvent çà et là sur les gorgones mais pas de forêts de grandes cystoseires, ni de *Phyllariopsis* (Chromobiontes). Les Corallinacées (Rhodobiontes calcifiées), en particulier du genre *Lithophyllum*, sont très présentes, en particulier sur le haut des roches.

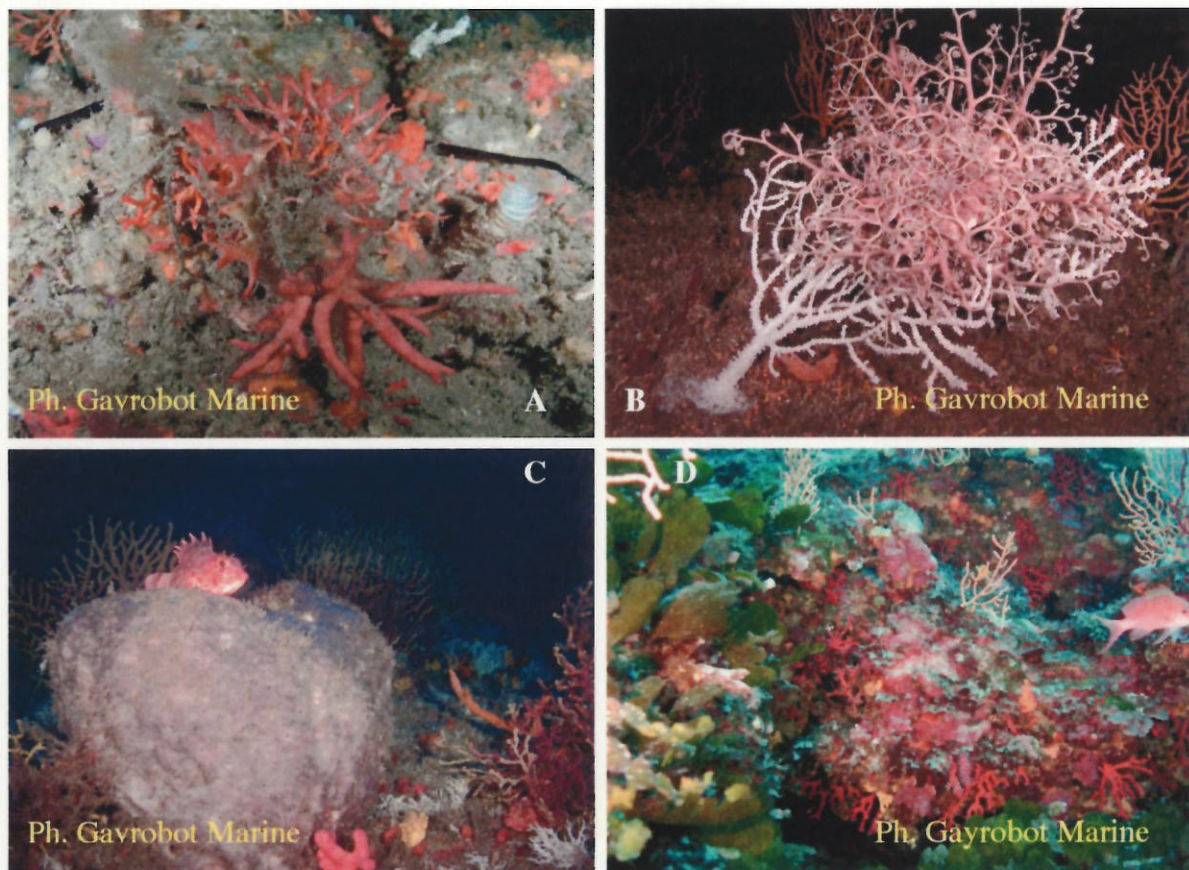


Figure 13. A : Bouquet de Bryozoaires (*Smittina cervicornis*, *Pentapora fascialis*, *Tubicellepora avicularis*) à la Pierre de Cassis (Grand Conglue, 81 m) ; B : Gorgonocéphale *Astrospartus mediterraneus* sur la gorgone *Eunicella verrucosa* (Pierre de Cassis, , 74 m) ; C : Petite rascasse *Scorpaena notata* sur une grosse éponge du genre *Sarcotragus* (Impérial du large 72 m, Riou). D : Coralligène aux alentours de la grotte Cosquer (Morgiou, 30 m).

Concernant les fonds du détritique côtier, ceux-ci semblaient présenter, sur la face sud de Riou, une fraction sédimentaire fine à vaseuse nettement plus importante que sur les fonds explorés à l'est du Grand Conglue ; un courant localement plus fort au niveau du Conglue peut expliquer cette différence. Les résultats obtenus à partir des prélèvements de sédiment sur la face sud de Riou, ont par la suite, corroboré ces premières observations.

* Campagne ROV dans les calanques de Marseille-Cassis (Site 5 à 8)

Les roches profondes identifiées au sonar au large de la pointe de Sormiou et au large de Castel-Vieil n'ont pas été trouvées.

La plongée effectuée aux alentours de la grotte Cosquer à Morgiou (zone des 20-30 m de profondeur), sur le tombant, a permis de mettre en évidence un coralligène pauvre en grandes gorgones (essentiellement *Eunicella singularis* et *E. cavolinii*), mais riche en Corallinacées associées aux Chlorobiontes *Halimeda tuna* et *Flabellia petiolata* (Figure 13).

Beaucoup de corail rouge, *Corallium rubrum*, de taille moyenne est présent sous les surplombs. Du point de vue des Bryozoaires, seule l'espèce *Myriapora truncata* a été rencontrée, aussi bien au niveau des fonds coralligène que sur le détritique côtier.

De grands bancs de barbiers, *Anthias anthias*, se trouvent au-dessus du coralligène. On notera la présence de l'espèce remarquable, du fait de sa rareté, *Acantholabrus palloni*, dans une anfractuosité du coralligène.

4.4 Produits rendus

Les produits issus de cette voie d'acquisition sont :

- 3 cassettes VHS contenant les enregistrements en continu des 8 immersions ROV, procurant ainsi plus de 6 heures d'enregistrement,
- 2 cassettes numériques contenant l'enregistrement des plus belles séquences, procurant environ 1h15 d'enregistrement en haute définition,
- 16 photos numériques réalisées par le ROV, fournies sur CD ROM,
- le logiciel de navigation du ROV permettant la lecture du fichier de géoréférencement des parcours sous-marins effectués par le ROV, fourni sur CD ROM,
- relevé manuscrit détaillé des bandes vidéos en annexe 4b du rapport de phase 2.

4.5 Conclusion

La campagne de vidéo à partir du ROV Pluto a été réalisée dans le massif des calanques entre 23 et 83 m de profondeur, au niveau de 8 sites profonds, situés sur la face sud de l'île Riou, le Cap Morgiou, le Bec de Sormiou et Castel-Viel, et a fourni environ 6 heures d'enregistrement.

Cette filière d'acquisition a permis d'une part de valider ou non les zones de doutes ou d'incertitudes identifiées sur des secteurs profonds lors de l'interprétation des sonogrammes. D'autre part, elle a permis d'acquérir des données supplémentaires sur la qualité et l'état de vitalité des peuplements coralligène et des fonds du détritique côtier, des zones profondes difficilement accessibles en plongée. Les sites prospectés au sud de Riou et au grand Conglue ont montré des peuplements de gorgonaires bien développés et présentant un bon état de vitalité ainsi qu'une diversité en espèces fixées (gorgones, éponges, byozoaires). Concernant l'abondance et la taille du corail rouge et des grands bryozoaires, des différences notables ont pu être mises en évidence entre la face sud de l'île de Riou en faveur de la zone est du grand Conglue, deux sites pourtant relativement proches. Les fonds du détritique côtier de la face sud de Riou ont aussi montré l'existence d'une fraction fine à vaseuse relativement importante.

La mise en œuvre du ROV Pluto a permis d'acquérir des images de qualité qui pourront servir de référentiel à l'avenir. Le ROV constitue un moyen d'exploration souple et extrêmement performant des zones profondes ; les prospections ont toutefois été limitées sur certains sites, par la présence de filets de pêche ainsi que par la forte fréquentation des bateaux de plaisance et des bateliers.

5 La campagne de prélèvements de sédiments

5.1 Analyse granulométrique

5.1.1 Introduction

La reconnaissance des fonds marins par prélèvement de substrat revêt une grande importance pour caractériser directement sa nature grâce, notamment, aux analyses granulométriques. Cet apport de données permet d'aider à calibrer et à valider d'autres données comme celles acquises par sonar ou vidéo. Par ailleurs, grâce à leur répartition géographique suffisamment large, elles vont contribuer au niveau de la phase finale, à l'intégration globale de l'ensemble des données et faciliter ainsi l'extrapolation qui va s'avérer nécessaire pour produire la cartographie des biocénoses.

5.1.2 Matériel et méthodes

5.1.2.1 Matériel mis en œuvre et échantillonnage

Les échantillons de sédiments ont été prélevés à la benne Van Veen (Figure 14), les 16, 23 et 25 juin 2003 à partir du bateau du CNRS « Antédon », sauf pour la station O où un dragage en limite inférieure d'herbier de Posidonie a été nécessaire pour effectuer le prélèvement (Tableau 5).

Douze stations ont été échantillonnées, dont 3 avaient déjà été étudiées par le passé dans la zone de Cortiou (Bellan, 1993). Ces stations ont été sélectionnées pour leur diversité et leur représentativité géographique (Figure 15).



Figure 14. Prélèvement des sédiments à la benne Van Veen.

Des photos des échantillons prélevés lors de cette campagne ont également été effectuées (Figure 16 à 21)

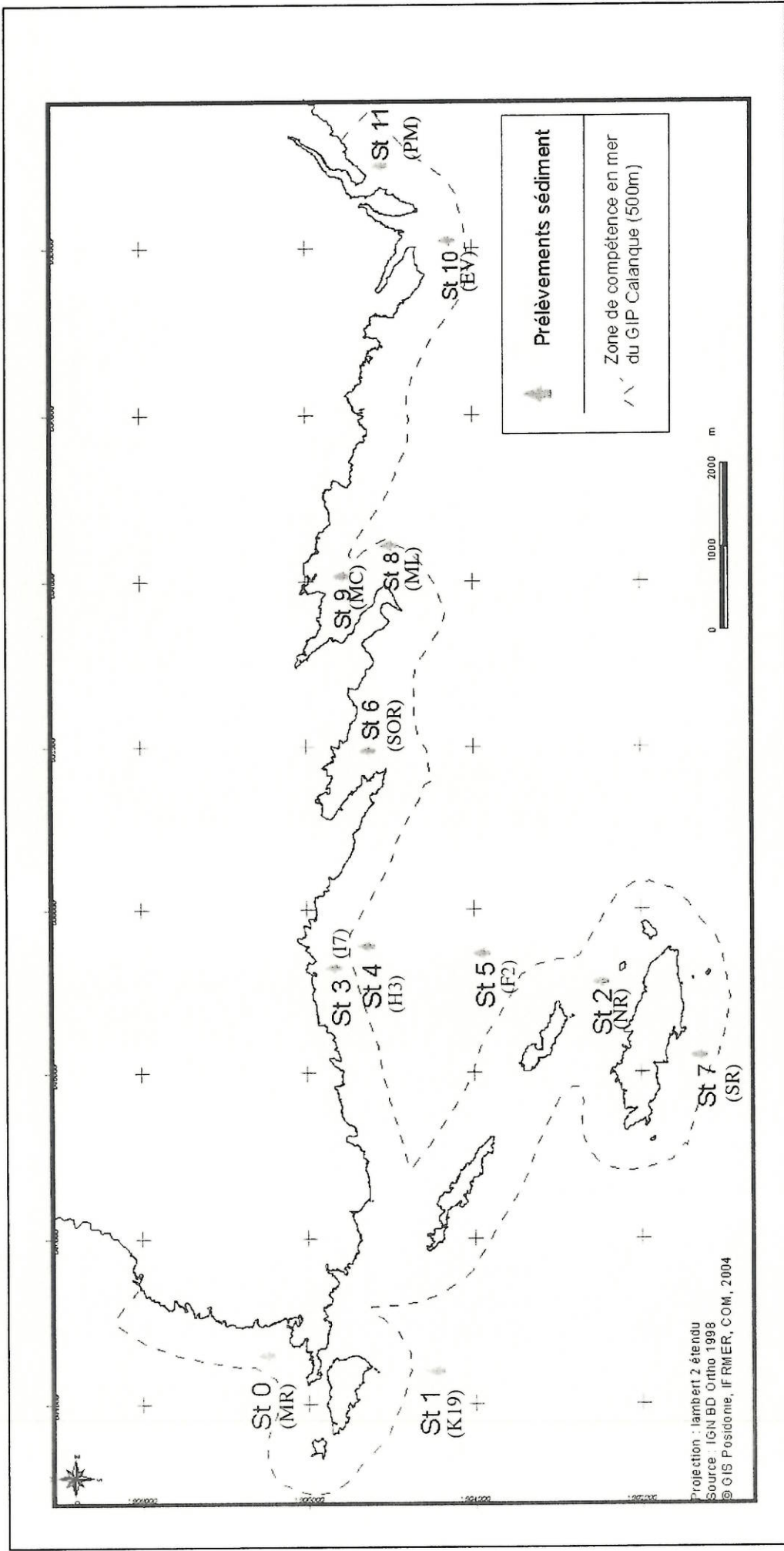


Figure 15. Plan d'échantillonnage pour la campagne de prélèvement de sédiment dans les calanques de Marseille à Cassis, y compris l'archipel de Riou...

Phase 2 : Rapport méthodologique et résultats

Tableau 5. Description des différents prélèvements de sédiment effectués dans la zone des Calanques.

Nom station	Localisation	Date	Type de prélèvement	Nb coups de benne	Profondeur (m)	Coordonnées Latitude	Coordonnées Longitude	Nb biseaux macrofaune	Nb biseaux granulométrie	Description sédiment
0	Mt Rose	23-juin-03	Drague	Départ		43° 13,833'	5° 20,737'	3	1	
0				Arrivée		43° 13,675'	5° 20,665'			
1	Fond décantation à l'Est de Maître	16-juin-03	Benne	2	60			2	1	Fond de décantation fibres de Posidonie
2	Nord Riou	16-juin-03	Benne	3	45	43° 10,933'	5° 23,650'	3	1	Fibres de Posidonie + faisceaux
3	Cortiou côte	23-juin-03	Benne	2	35			2	1	Vase + déchets plastiques
4	Cortiou milieu	23-juin-03	Benne	2	51			3	1	Vase + débris végétaux + déchets plastiques
5	Cortiou large	25-juin-03	Benne	2	70			1	1	
6	Sormiou	16-juin-03	Benne	2	35	43° 12,391'	5° 25,893'	6	1	Détritique Côtier
7	Sud Riou	16-juin-03	Benne	2	71	43° 10,307'	5° 23,008'	1	1	Détritique Côtier +/- envasé
8	Morgiou large	16-juin-03	Benne	5	65	43° 12,198'	5° 27,723'	2	1	Détritique Côtier + grands Bryozoaires
9	Morgiou côte	16-juin-03	Benne	3	35	43° 12,125'	5° 27,471'	4	1	Sable à Amphioxus
10	En Vau - Port Pin	25-juin-03	Benne	3	63			4	1	Détritique Côtier
11	Port Miou	25-juin-03	Benne	5	35	43° 12,179'	5° 31,320'	6	1	Détritique Côtier + blocs + pralines

Phase 2 : Rapport méthodologique et résultats



Figure 16 Sédiment prélevé à la benne Van Veen dans la station 4 (au large de Cortiou).



Figure 17. Sédiment prélevé à la benne Van Veen dans la station 5 (entre Cortiou et Plane).



Figure 18. Sédiment prélevé à la benne Van Veen dans la station 6 (Sormiou)



Figure 19. Sédiment prélevé à la benne Van Veen dans la station 7 (Riou)



Figure 20. Sédiment prélevé à la benne Van Veen dans la station 10 (En-Vau).



Figure 21. Sédiment prélevé à la benne Van Veen (contenant un oursin de sable, *Spatangus purpureus*) dans la station 11 (Port-Miou)

5.1.2.2 Analyse granulométrique des échantillons

Un tamisage de la fraction grossière est effectué sur les échantillons de sédiments prélevés sur une colonne de 15 tamis (mailles de 20 mm à 0,81 mm). Le refus de fraction fine (< 0,81 mm) est passé au granulomètre laser qui va différencier les différentes proportions de sédiment : le pourcentage d'argiles et de silts constitue la proportion de fraction fine inférieure à 63 µm. Les différentes classes de sédiments distinguées sont :

- Argiles < 4 µm
- 4 µm < Silts < 63µm
- 63 µm < Sables très fins < 125 µm
- 125 µm < Sables fins < 250 µm
- 250 µm < Sables moyens < 500 µm
- 500 µm < Sables grossiers < 1000 µm
- 1000 µm < Sables très grossiers < 2000 µm
- Gravier > 2000 µm

5.1.3 Résultats

Les analyses de la fraction grossière et de la fraction fine sont données dans les annexes 5a et 5b du volume des annexes. Le pourcentage de fraction fine par rapport à l'échantillon total donne le taux d'envasement de la station (Tableau 6).

Tableau 6. Taux de fraction grossière et de fraction fine (en %) dans les différentes stations de prélèvement de sédiment meuble des Calanques en 2003.

Stations	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<63µm	6,23	57,44	21,86	27,81	44,51	38,03	7,01	32,10	34,71	4,60	1,26	1.06
≥63µm	93,77	42,56	78,14	72,19	55,49	61,97	92,89	67,90	65,29	95,40	98,74	98.94

Les pourcentages de fraction fine ont été représentés sur la Figure 22. Dans la zone de Cortiou, on note de la terre vers le large, un gradient de la fraction fine croissant (station 3 à 4), puis décroissant (station 4 à 5). Cette situation s'explique simplement par le fait que les fines correspondent à la fraction du sédiment la plus facilement transportée, le taux de sédimentation étant le plus faible (lié à la taille des particules). On retrouve de fait une plus grande quantité de matière fine à la station 4 qu'à la station 3. Le taux de fraction fine ne dépasse pas 40 % à la station 5, bien que cette station soit plus éloignée et située plus en profondeur. Le courant général orienté d'est en ouest, accéléré entre les îles par effet Venturi, peut expliquer un certain lessivage en profondeur.

Les valeurs les plus élevées de fractions fines sont observées à la station 1, au sud-est de l'île Maire, elles dépassent 57 %. Le brusque approfondissement entre les îles Maire et Jarre contribue à un ralentissement des courants, favorisant alors le dépôt des particules dans une vaste zone de décantation. On ne note pas de modification notable par rapport aux mesures effectuées en 1994 (Arfi *et al.*, 2000) à cette station, où les limons grossiers, les limons fins et les argiles représentaient plus de 50 % des relevés. A la station 7 (Riou sud), le pourcentage de fraction fine atteint 32 %, cette valeur relativement élevée pour la face sud de Riou est du même ordre de grandeur que celle mesurée à même profondeur à la station 5, face à Cortiou. Cette mesure semble confirmer l'existence d'une vaste aire de sédimentation qui s'étend au sud de l'île Maire, du haut fond du Veyron au sud de l'île de Riou, jusqu'à proximité de l'isobathe des 100 m (Arfi *et al.*, 2000). Cette mesure confirme les observations réalisées en ROV au sud de Riou, où une fraction importante de fines avait été notée dans le sédiment.

Les stations situées entre Sormiou et Port-Miou, proches de la terre (station 6,9 et 11), montrent toutes de faibles valeurs de fraction fine, atteignant au maximum 7 %. Ces stations sont situées au débouché des calanques, dans une zone où l'hydrodynamisme est fort et où il existe d'importants courants de retour sur le fond, entraînant le charriage des matériaux fins vers le large. Au large de Morgiou et En Vau, on observe deux situations très contrastées alors que les stations 8 et 10 sont situées à même profondeur (63 et 65 m). La station 10 présente une valeur de fraction fine égale à 1.26 %, qui correspond à la valeur la plus faible mesurée sur la zone d'étude. Cette valeur indique très clairement l'existence d'un fort courant en profondeur, qui pourrait être induit au niveau de la pointe Cacao par la réflexion vers le large du courant général. La présence de Maerl (pralines) et de petits blocs avait également été notée dans les relevés. Par contre, le taux de 34 % de fraction fine relevé à la station 8, traduit clairement un certain niveau d'envasement ; cette zone correspond en fait à une cellule de décantation déjà signalée par le passé (Bourcier, 1979).

5.1.4 Conclusion

L'étude de la granulométrie des sédiments meubles, prélevés dans la zone des Calanques de Marseille à Cassis, a permis de caractériser les substrats des zones de prélèvements. Les résultats obtenus participent également à la calibration et à la validation des données issues du traitement des sonogrammes.

Les valeurs les plus élevées de fraction fine sont observées dans la cuvette de Cortiou et au niveau des stations situées au sud-est de Maire et au sud du bec de Sormiou, correspondant à deux zones décrites par le passé, pour être des cellules de décantation. De fortes valeurs sont également observées au sud de Riou à 65 m de profondeur. Les prospections réalisées en ROV sur ce secteur, avait mis en évidence un certain degré d'envasement des fonds du détritique côtier, les prélèvements réalisés le confirment. La zone des calanques de Sormiou à Cassis se caractérise par de faibles valeurs de fractions fines, traduisant l'existence d'un hydrodynamisme plus fort.

Phase 2 : Rapport méthodologique et résultats

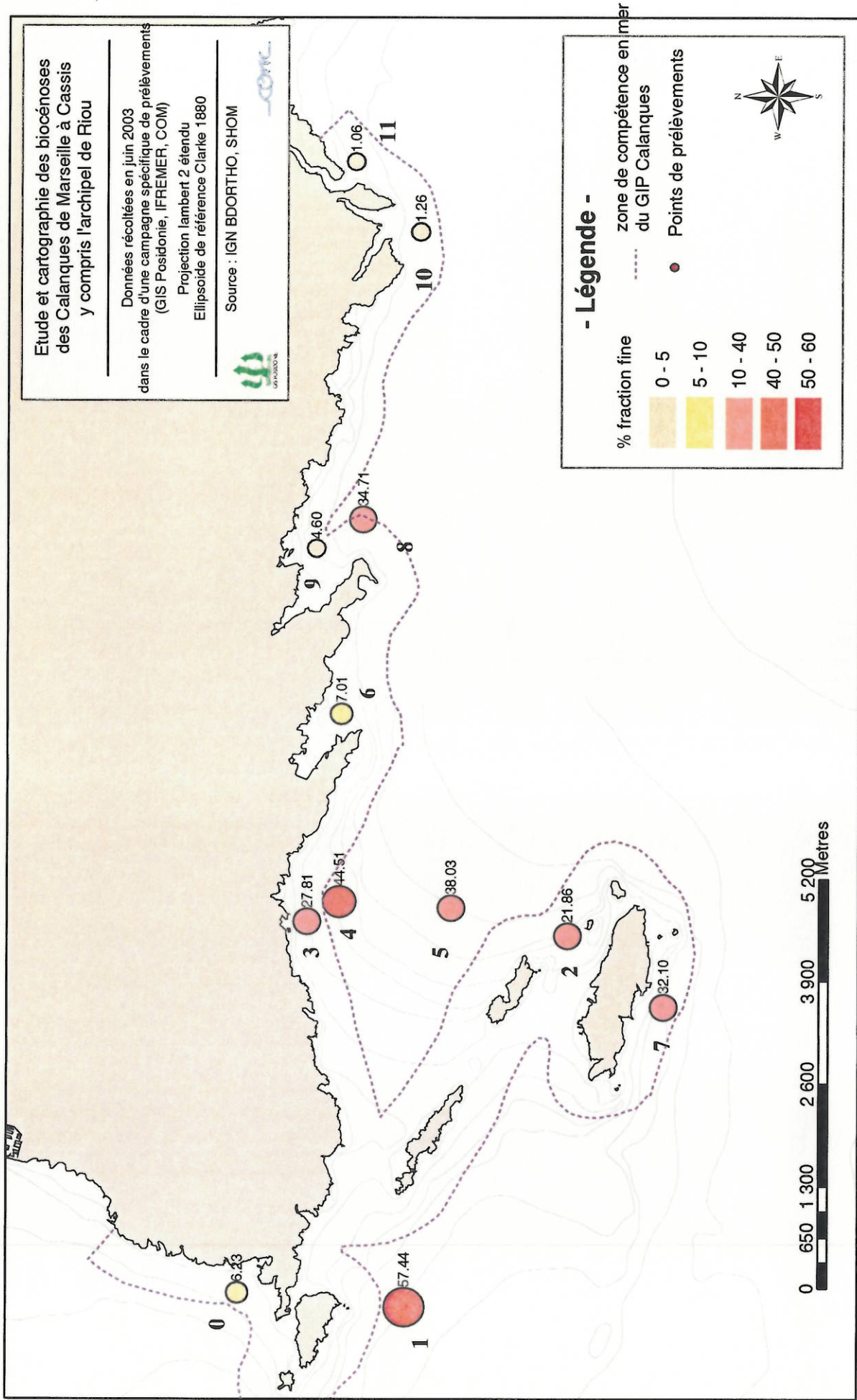


Figure 22. Répartition de la fraction fine dans les stations de prélèvement de sédiment meuble des Calanques en 2003

5.2 Analyse de la macrofaune

5.2.1 Introduction

Dans le cadre de la préparation du Document d'Objectif du site NATURA 2000 « Calanques de Marseille-Cassis et Archipels marseillais », l'étude de communautés benthiques établies sur substrat meuble dans la zone des calanques de Marseille-Cassis et de l'Archipel de Riou a été considérée comme un des éléments essentiels du dispositif de suivi à long terme de ce secteur. Les modalités pratiques de la mise en œuvre de cette étude, notamment, de l'emplacement des stations les plus pertinentes pour ce suivi, ont été précédées :

1°) d'une mise en situation des études antérieures effectuées par des chercheurs du Centre d'Océanologie de Marseille, et notamment des Thèses et publications qui en ont résulté Picard (1965), Poizat (1966), de Gaillande (1968), Bourcier (1976), Solis, (1975), Solis-Weiss (1982) pour s'en tenir à celles les plus directement reliées au site ;

2°) de relevés effectués dans le cadre même de la mission qui a été confiée au GIS Posidonie et tout spécialement des relevés des fonds sous-marins au sonar latéral et à la vidéo sous-marine.

Il faut rappeler que les études antérieures signalées ci-dessus ont été effectuées il y a trois ou quatre décennies. Il va sans dire que de très nombreuses modifications ont été observées au niveau des communautés benthiques de ce vaste secteur depuis l'achèvement de ces études. On mettra bien évidemment en exergue les effets, à de nombreux points de vue, de l'action du rejet en mer des égouts de la Ville de Marseille dans la calanque de Cortiou, au centre même de la zone, et en tout premier lieu, du détournement catastrophique, à partir du début des années 1970s, du fleuve côtier Huveaune, plus ou moins tempéré par la mise en service de la station d'épuration en octobre 1986. On trouvera dans le rapport de Arfi *et al.* (2000) concernant ce rejet, une abondante littérature et une synthèse exhaustive qui nous permet de renoncer à nous étendre davantage sur ce problème. Il est toutefois dommageable que, dans le cadre de la Mission confiée, il n'ait point été prévu une prise en compte directe de ce rejet. Nous ne saurions, bien entendu, négliger cet aspect crucial du problème et nous avons décidé, allant au-delà de ce qui nous a été confié, d'en tenir compte, tout en sachant que les données de base que nous utiliserons n'ont pas été obtenues en 2003.

Le choix des stations et le protocole d'étude correspondent à des critères de deux ordres :

1°) valoriser, autant que faire se peut, les connaissances accumulées dans ce secteur depuis quelque cinq décennies et tout particulièrement les recherches de Poizat, de Gaillande, Bourcier, Solis et Picard, en particulier pour ce qui a trait à « l'effet calanque » étudié par Poizat et Bourcier dans les années 1960s.

2°) utiliser un « panel » de traitements statistiques et de représentations des résultats synthétiques acquis afin de mieux représenter la complexité du secteur du point de vue des communautés benthiques, et de proposer un large éventail méthodologique dans le cadre d'un suivi ultérieur, lequel devrait être en mesure d'utiliser une méthode alliant simplicité et pertinence.

5.2.2 Matériel et méthodes

5.2.2.1 Stations de prélèvements

Neuf stations de prélèvement ont été déterminées (figure 19 hormis les stations 3, 4 et 5). Leur positionnement géographique, leur profondeur et les principales caractéristiques sédimentologiques sont résumés dans le tableau 2.

5.2.2.2 Engins et méthodes de prélèvement

Nous nous étions proposés d'effectuer des prélèvements de sédiment et de faune associée dans les neuf stations préalablement sélectionnées en prenant en compte les recherches antérieures et les données acquises dans la première phase de la mission. Nous devions utiliser une benne Van Veen dont les qualités de manœuvrabilité à bord et de régularité des prélèvements ont été maintes fois soulignées. Par ailleurs, une récente étude (Boutalbi, 2002) expressément réalisée dans ce but, paraît avoir confirmé que les résultats obtenus pouvaient être comparés avec ceux de la Benne Orange-Peel, constamment utilisée dans ce secteur depuis 1965 ; cette dernière benne n'étant plus fabriquée, elle ne peut continuer à être utilisée dans l'optique d'un suivi à long terme.

Toutefois, il n'a pas été possible d'utiliser la benne Van Veen pour la station OMR (baie de Marseille). En effet, le prélèvement a été réalisé sur un fond particulièrement ferme, du type « matie » d'herbier de Posidonie dans lequel, la benne ne pouvait pénétrer. Nous avons dû utiliser la classique drague « Picard » largement utilisée depuis plus de 50 ans dans les études bionomiques de la région marseillaise, et, plus généralement dans l'ensemble de la Méditerranée.

Il a été prélevé, pour chaque station, et avec, en principe, deux « coups de benne » Van Veen, un volume de sédiment voisin de 40 dm³, volume que notre expérience nous fait considérer comme suffisant. Un volume de 40 dm³ a, de même, été recueilli avec la drague « Picard », dans la station OMR.

Le tri sur tamis respectivement de 1,5 et 1 mm de maille du matériel ainsi recueilli a été effectué sur le bateau. Le « refus », qui a pu atteindre plus de 10 dm³ (station 6), a été fixé à bord selon les règles habituelles au formol à 10 % neutralisé, puis ramené à terre. Un tri complet de la macrofaune (définie ici comme l'ensemble des individus de taille supérieure à 1 mm) et, éventuellement « macroflore », a été effectué au Laboratoire, avec séparation des divers grands groupes systématiques (Spongiaires, Coelentérés, Polychètes, Mollusques, Crustacés, Échinodermes, etc.). La détermination des différents compartiments faunistiques a été réalisée par des spécialistes. Il ne paraît pas inutile de souligner l'importance de ce fait. Aucun Indice n'est valable sans, au départ, une détermination de qualité des différents taxons, et si possible, jusqu'à l'espèce. Autant que faire se peut, et en tenant compte de l'état des individus récoltés, il a été procédé à la détermination jusqu'au niveau taxonomique le plus bas possible, en général l'espèce. Les individus pour chaque taxon ont été dénombrés. Les résultats sont fournis dans l'annexe 5c.

5.2.3 Résultats des analyses

5.2.3.1 Données générales

Un total de 276 « taxons » a été recueilli dont 243 d'entre eux ont pu être déterminés au niveau de l'espèce et 18 au niveau du genre. 3875 individus ont été dénombrés. La station OMR située à l'intérieur du golfe de Marseille est la plus riche tant en termes du nombre de taxons (107) que d'individus (1458). La station 7SR (sud de l'île Riou) est la moins diversifiée (36 taxons) et est particulièrement pauvre, seulement 150 individus ont été dénombrés. Seule la station 10EV (entre les calanques d'En Vau et Port Pin) est plus pauvre (129 individus) mais 63 taxons ont été recueillis. Pour les autres stations, on a dénombré entre 61 et 86 taxons et 271 et 449 individus. Le Sipunculien *Aspidosiphon muelleri* est l'espèce la plus abondante. Au total 1191 individus ont été recueillis. Son abondance varie, en fonction des stations, entre 5 individus (station 10EV) et 323 (station OMR). Il représente plus de 50 % des individus dans les stations 6Sor et 9MC, et plus de 20 % dans les stations OMR, 2NR, 7SR, 8ML et 11PM. Une telle dominance est tout à fait remarquable et ne semble jamais avoir été atteinte, dans ce secteur. Les travaux de Picard (1965), Bourcier (1976) et Solis (1975) ne signalent que très exceptionnellement des dominances de l'ordre de 15 à 20 %. Solis-Weiss (1982) s'est plus particulièrement intéressée à l'écologie de cette espèce. Elle confirme qu'*Aspidosiphon muelleri* vit essentiellement dans des coquilles vides de la Polychète Serpulidae libre *Ditrupa arietina* et de Mollusques Scaphopodes *Dentalium* spp. et considère qu'il atteint son maximum lorsque la teneur en vase du sédiment atteint 25 à 30 % puis décroît ensuite lorsque la fraction vaseuse augmente. Ces diverses conditions sont loin d'être réunies dans nos prélèvements. L'abondance dans nos prélèvements d'*Aspidosiphon muelleri*, espèce dont la répartition est très large dans les substrats meubles littoraux, n'est pas, en l'occurrence, facile à expliquer. Plutôt que d'avancer des hypothèses, nous nous limiterons à suggérer la surveillance de l'évolution de ses populations. D'autres espèces ont aussi été récoltées avec une certaine abondance. On relèvera les Crustacés Amphipodes Caprellidae *Phtisica marina*, espèce fréquemment trouvée avec les fibres de Posidonies et *Caprella acanthifera* (respectivement 328 et 126 individus dans la station OMR). L'oursin *Echinocyamus pusillus*, espèce gravellicole, largement répandue dans la Biocénose des Sables Grossiers et Fins Gravieres sous influence de Courants de Fonds (sables à *Amphioxus*) n'est absent que de la station 1(K19), au total, 116 individus ont été recueillis.

5.2.3.2 Analyse des prélèvements

1° Diversité

L'Indice de Diversité de Shannon varie de 3,31 (station 9MC) à 5,87 (station 1(K19) et l'équitabilité⁴ de 38,64 (station 9MC) à 80,44 (station 10EV). À l'exception des stations 1(K19), 2NR, 10EV et 8ML, la diversité des peuplements correspondants est plutôt moyenne. L'abondance de certaines espèces, déjà signalées précédemment en est une manifestation claire (Tableau 7, Figure 23).

À partir des données de la littérature et, notamment, des nombreux travaux effectués dans le secteur et précédemment signalés, nous avons cherché à réaliser deux analyses bionomiques complémentaires. La première a consisté à mettre en évidence l'importance relative, au sein

⁴ L'équitabilité est le quotient (ici multiplié par 100) de la Diversité de Shannon par la Diversité maximale possible, compte tenu du nombre de taxons présents.

des prélèvements, des grands groupes bionomiques du peuplement des stations. La suivante, nous a conduit à nous pencher, plus précisément, sur la nature biocénotique des stations prospectées. Nous utiliserons ce qualificatif « biocénotique » uniquement lorsque nous traiterons de « biocénoses » et des espèces caractéristiques de celles-ci, au sein du peuplement des différentes stations.

Tableau 7. Caractérisation des stations de prélèvement de sédiments meubles dans les Calanques en 2003 et variation des indices de Shannon et d'équitabilité dans ces stations.

Stations	0 MR	6 Sor	9 MC	11PM	2 NR	1 (K19)	10 EV	8 ML	7 SR
Profondeur (m)	26	35	35	35	45	60	63	65	71
fraction fine (% <63 μ)	21,7	18	12	9,4	44	66	24	41	41
Nb de taxons	107	61	66	77	72	87	63	86	36
Nb d'individus	1458	365	381	449	309	272	129	363	150
Shannon	4,35	3,6	3,3	3,9	4,5	5,9	5,6	5,2	3,7
Shannon Max.	10,5	8,5	8,6	8,8	8,2	8,1	7	8,5	7,2
Équitabilité	41,4	42	39	44	55	73	80	61	52

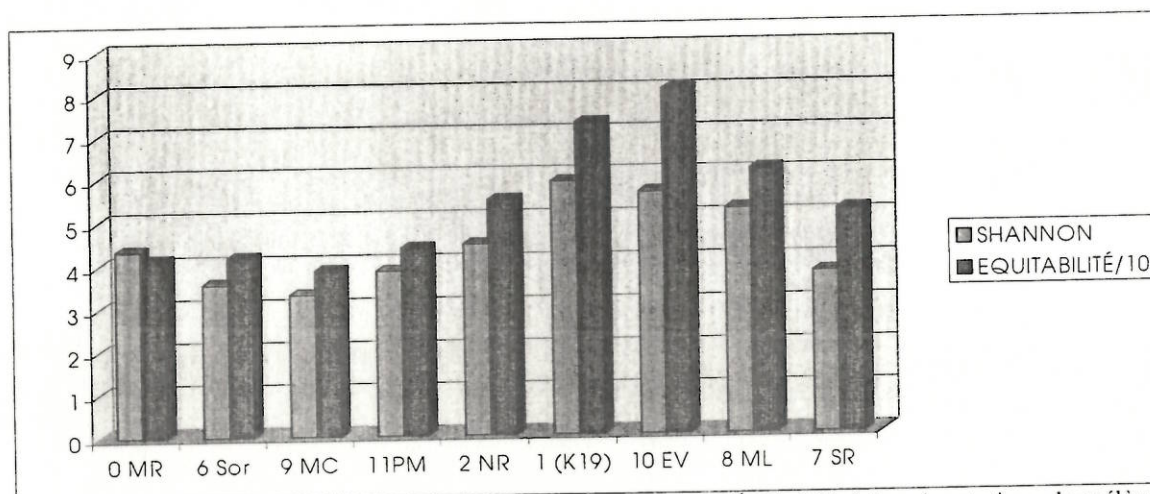


Figure 23. Répartition des indices de Diversité de Shannon et de l'Équitabilité dans les stations de prélèvements de substrat meuble des Calanques en 2003.

2°) Les grands groupes bionomiques

Nous avons regroupé les taxons présents dans cinq grands groupes :

- espèces indicatrices d'instabilité du peuplement,
- espèces dont la signification écologique et *a fortiori*, bionomique n'est pas précisée. Les taxons de rang supérieur à l'espèce ont été *ipso facto* inclus dans ce groupe,
- espèces à large répartition écologique dans les substrats meubles,
- espèces indicatrices de la qualité particulière du sédiment et liées à cette qualité plutôt qu'à une biocénose particulière,
- espèces caractéristiques ou préférentielles de biocénoses.

On trouvera dans le tableau général (Tableau 8), pour chaque espèce ou taxon, le **groupe bionomique** dans lequel nous l'avons rangé (annexe 5c), avec, pour davantage de précision, l'indication soit de la qualité du sédiment dont elle est indicatrice, soit de la biocénose dont elle est caractéristique ou préférentielle.

On notera que les espèces indicatrices d'instabilité du peuplement sont peu représentées, elles n'excèdent 2,5 % que dans la station 1(K19) (6,27 %), cette zone étant identifiée comme une zone de décantation. Un fait majeur est à signaler : il n'a été recueilli que deux individus de *Parvicardium exiguum*, espèce indicatrice de la zone polluée (Bellan, 1967a ; 1967b) dans une seule station (11PM) ; cette présence fait figure d'accidentelle.

Les espèces et taxons « sans signification précisée » sont nettement plus abondants, dépassant les 10 % dans cinq stations, cette abondance relative étant due à l'inclusion dans nos calculs des individus que nous n'avons pu déterminer jusqu'au niveau spécifique.

Les espèces à « large répartition écologique » sont particulièrement bien représentées ; leur dominance globale dépasse les 50 % dans 3 stations et les 25 % dans 5 autres. Ceci est directement lié à l'abondance du Sipunculien *Aspidosiphon muelleri*. Il s'agit d'espèces que l'on retrouve dans l'ensemble des peuplements de substrat meuble, indépendamment des caractéristiques biocénologiques de ceux-ci, notamment de l'étagement. Ils ont tendance à devenir prépondérant dans les milieux perturbés par des phénomènes liés à l'anthropisation. On notera, néanmoins, que le développement de *A. muelleri* n'est probablement pas lié directement à ces phénomènes, mais plutôt à la disparition d'espèces dont les coquilles peuvent servir à l'« hébergement » du sipunculien.

Picard (1965), puis Bourcier (1976), suivis par de nombreux auteurs, ont mis en évidence le lien qu'avaient de nombreuses espèces avec des caractéristiques particulières liées à des types sédimentaires particuliers (sables, graviers, vases, éléments figurés d'origine détritique et débris coquilliers, sédiments hétérogènes, etc.) et ont rangé ces espèces en tant que sabulicoles, vasicoles, gravellicoles, détriticoles, mixticoles, etc. Ces espèces ont, en général, une assez large distribution bathymétrique et il est possible de les retrouver au sein de communautés bien individualisées entre zéro et une centaine de mètres de profondeur, encore que, compte tenu de la distribution bathymétrique préférentielle des sédiments, elles seront *ipso facto* davantage présentes dans certaines biocénoses que dans d'autres. Il est intéressant de noter que, plus la profondeur des stations augmente, plus la dominance de ce groupe d'espèces s'accroît (Figure 24), ceci étant particulièrement net pour la station 7SR. Cette station présentait en outre des valeurs de fraction fines élevées qui n'étaient pas attendues pour la zone, et qui ont été confirmées lors des observations vidéo en ROV. Il semble que la station Riou sud, au départ considéré comme station de référence, soit en fait perturbé, au moins dans la zone profonde.

À l'exception de la station 10EV où leur dominance globale atteint 46,64 %, les espèces caractéristiques de biocénoses (Picard, 1965 ; Bourcier, 1976) regroupent de 10 à 25 % des individus dénombrés, ce qui apparaît assez faible.

Phase 2 : Rapport méthodologique et résultats

Tableau 8. Variation de la biométrie, de la nature biocénotique et des espèces subnormales dans les stations de prélèvement de substrat meuble dans les Calanques en 2003 (Abond. : Abondance (en nombre d'individus), Dom. : Dominance (en %), INST. : espèces indicatrices d'instabilité du peuplement ; SSPR : espèces sans signification écologique précise ; LRE : espèces à large répartition écologique ; BIOC. : espèces indicatrices de biocénoses ; SFBC : sables fins bien calibrés ; SGCF : sables et graviers sous influence des courants de fond ; DC : détritique côtier ; SD : substrats durs)

Stations	0 MR	6 Sor	9 MC	11PM	2 NR	1 (K19)	10 EV	8 ML	7 SR
BIONOMIE	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.
INST.	15 1,03	0	3 0,79	3 0,67	0	17 6,27	3 2,33	4 1,1	1 0,67
SSPR	198 13,6	35 9,59	17 4,45	39 8,69	49 15,9	28 10,3	16 12,4	37 10,2	14 9,33
LRE	721 49,5	212 58,1	235 61,8	243 54,1	137 44,3	79 29,2	22 17,1	121 33,3	48 32
SÉDIMENTS	163 11,2	60 16,4	56 14,7	78 17,4	63 20,4	93 34,3	33 25,6	129 35,5	72 48
BIOC.	361 24,8	58 15,9	70 18,3	86 19,2	60 19,4	54 19,9	55 42,6	72 19,8	15 10
NATURE BIOCÉNOTIQUE	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.	Abond. Dom.
SFBC	20 5,54	8 13,8	4 5,71	2 2,33	1 1,67	0 0	2 3,64	0	0
SGCF	35 9,7	21 36,2	20 28,6	35 40,7	8 13,3	12 22,2	16 29,1	18 25	6 40
DC	124 34,4	21 36,2	32 45,7	37 43	38 63,3	9 16,7	28 50,9	27 37,5	8 53,3
SD	180 49,9	8 13,8	14 20	11 12,8	11 18,3	23 42,6	8 14,5	24 33,3	1 6,68
Vases	2 0,55	0	0	1 1,16	2 3,33	10 18,5	1 1,82	3 4,17	0
ESPECES SUBNORMALES	38 2,6	12 3,3	10 2,6	13 2,9	3 1	60 22	5 3,9	12 3,3	14 9,3

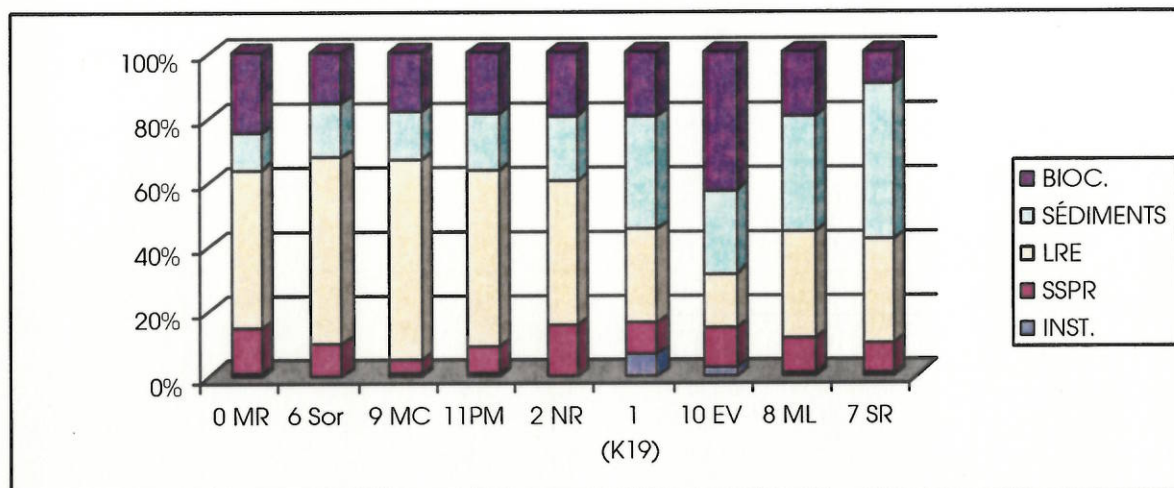


Figure 24. Répartition des grands groupes biomiques dans les stations de prélèvements de substrat meuble des Calanques en 2003 (INST. : espèces indicatrices d'instabilité du peuplement ; SSPR : espèces sans signification écologique précise ; LRE : espèces à large répartition écologique ; BIOC. : espèces indicatrices de biocénoses ; SEDIMENTS : espèces caractéristiques des sédiments)

3°) Les espèces « sentinelles de la zone subnormale »

Un certain nombre d'espèces ont été considérées (Bellan, 1967 a et b ; Bellan et Bourcier, 1984) comme jouant un rôle particulier dans la structuration de peuplements dans des aires fortement perturbées. Bellan (1991) les a considérées comme « sentinelles » de la zone subnormale, ceci indépendamment de leurs autres caractéristiques écologiques. Elles sont signalées dans l'annexe 5c, colonne 2 comme « Sub. ». C'est ainsi que les travaux de ces auteurs ont mis en évidence que ces espèces regroupaient jusqu'à 80 % des individus présents dans cette zone subnormale et, en tout état de cause, elles étaient toujours dominantes. Il était intéressant d'apprécier l'importance de ce groupe d'espèces dans les stations étudiées. On remarquera (Tableau 8, Figure 25) que seules les stations 1(K19) et 7SR présentent une certaine dominance globale de ces espèces. On n'en sera point surpris pour la station 1(K19), il en va autrement pour la station 7SR, située en dehors de la zone de rejet en mer de l'émissaire de Marseille. En fait, cela est lié à l'abondance relative (9 individus) de *Paralacydonia paradoxa*, espèce normalement présente entre 80 et 120 m de profondeur, mais qui a déjà été signalée (Solis, 1975 ; Bellan et Bourcier, 1984) à de plus faibles profondeurs, exclusivement dans des zones soumises à de fortes perturbations. Cette caractéristique avait conduit Bellan (1991) à la considérer comme « sentinelle » de la zone subnormale.

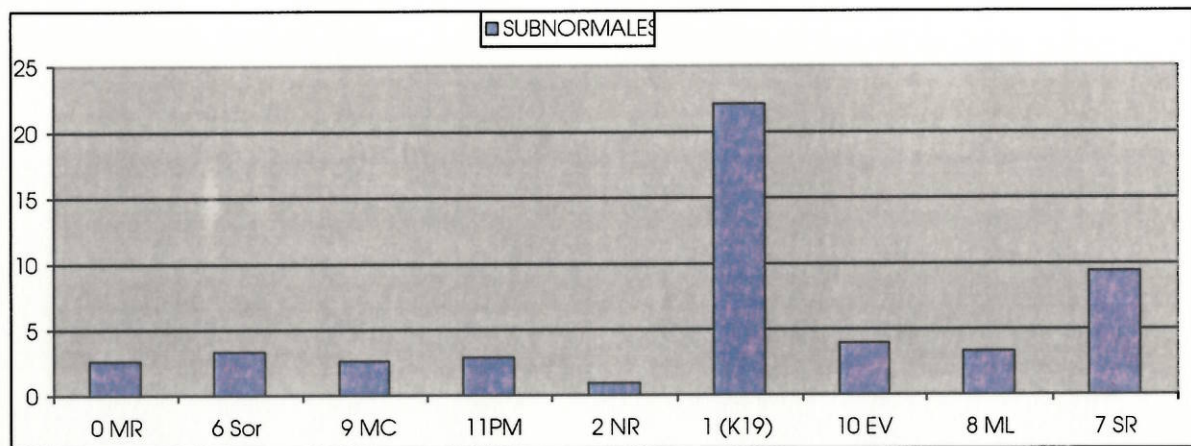


Figure 25. Répartition des espèces « sentinelles » de la zone subnormale dans les stations de prélèvement de substrat meuble des Calanques en 2003.

4°) *nature biocénotique des stations prospectées.*

Nous avons retenu trois grands types de biocénoses : La biocénose des **Sables Fins Bien Calibrés** est strictement infralittorale, celles des **Sables Grossiers sous Influence de Courants de Fonds** est infralittorale, mais susceptible d'être rencontrée, en général en mélange avec la biocénose du **Détritique côtier**, dans l'Étage circalittoral.

Nous avons, par pure commodité regroupé sous le vocable « **Vases** » les biocénoses du Détritique Envasé et de la Vase Terrigène Côtère. De même, nous avons regroupé sous le vocable **Substrats Durs (SD)** l'ensemble des espèces caractéristiques des biocénoses des fonds solides de l'Infralittoral et de l'Herbier de Posidonies.

Les pourcentages ont été calculés, non sur la totalité des taxons recueillis, mais uniquement sur l'ensemble des seules espèces considérées comme caractéristiques de Biocénoses (Tableau 8, Figure 26).

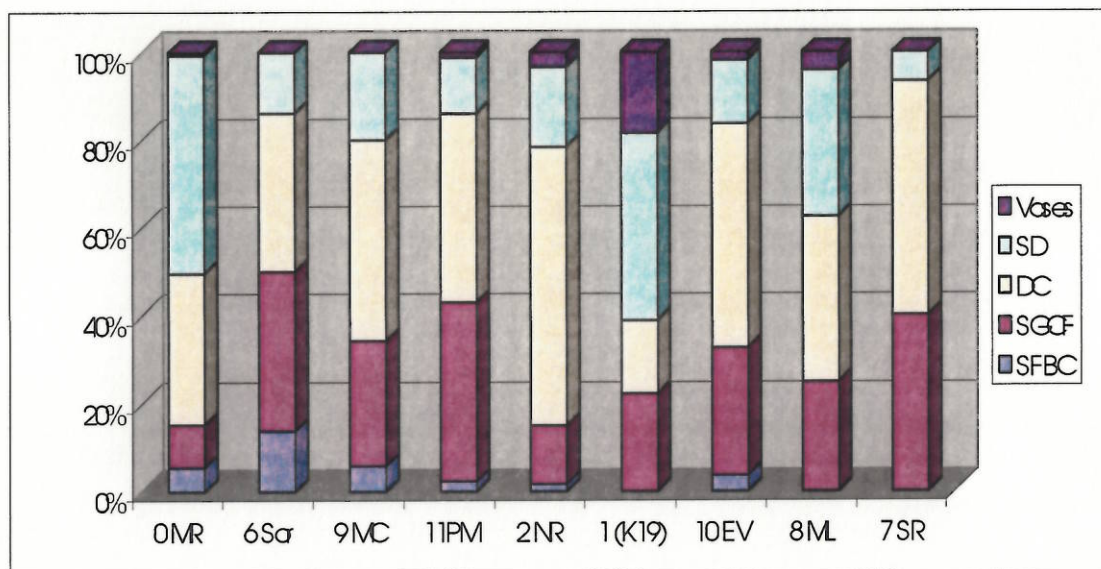


Figure 26. Répartition des espèces caractéristiques des biocénoses dans les stations de prélèvement de sédiment meuble des Calanques en 2003 (SFBC : sables fins bien calibrés ; SGCF : sables et graviers sous influence des courants de fond ; DC : détritique côtier ; SD : substrats durs).

SGCF : sables et graviers sous influence des courants de fond ; DC : détritique côtier ; SD : substrats durs).

Les éléments faunistiques de la Biocénose des Sables Fins Bien Calibrés ne sont bien représentés que les stations OMR et surtout 6Sor, les moins profondes. La Biocénose des Sables Grossiers sous Influence de Courants de Fonds est une biocénose majeure dans ce secteur parcouru par de forts courants linéaires ; les éléments de cette biocénose sont bien représentés sauf dans la station OMR, mais ils sont toujours mélangés avec ceux de la Biocénose des fonds Détritiques Côtiers, lesquels dominent à l'exception de la station 1(K19), où ils sont néanmoins présents. À l'exception de la station 1(K19), localisée dans un fond de décantation jadis particulièrement actif, les représentants des fonds Détritiques Envasés et de la Vase Terrigène Côtière sont tout à fait marginaux, voire absents. Enfin, sans atteindre l'importance qu'ils ont dans la station OMR (49,86 %) et à l'exception des stations 1 (K19) et 7 SR, les éléments biocénotiques des biocénoses de substrats solides et de l'Herbier de Posidonies regroupent entre 13 et 33 % des espèces présentes, ceci étant lié à la présence d'éléments figurés de grande taille dans l'ensemble de ces stations, comme il a été signalé au cours de l'analyse granulométrique.

5°) remarques générales concernant l'analyse bionomique des prélèvements

Le fait dominant qui se dégage des diverses analyses réalisées sur les peuplements échantillonnés est leur **très grande hétérogénéité structurale**. Ceci avait été précédemment mis en exergue dans le cadre de l'analyse granulométrique et de la sédimentologie de ces fonds. Cette hétérogénéité rejaillit bien évidemment sur la composition spécifique et biocénotique des peuplements. Cela est tout particulièrement net au niveau de l'analyse bionomique. Si à l'exception de la station 1 (K19), les traces d'une instabilité particulière des peuplements sont toujours faibles, voire nulles, il en va tout autrement pour trois compartiments. La dominance globale des espèces à Large Répartition Écologique est certes corrélée avec l'abondance d'*Aspidosiphon muelleri*, mais elle témoigne aussi de cette hétérogénéité permettant à de nombreuses espèces, à large valence écologique, peu spécialisées, de proliférer. Il nous paraît intéressant de mettre en évidence, sans rechercher l'exhaustivité, quelques relations entre la granulométrie du sédiment et les structures bionomique et biocénotique du peuplement de la station correspondante (Tableau 9). Il faut néanmoins souligner au préalable que la granulométrie n'est qu'un facteur parmi l'ensemble des conditions physiques (édaphiques) au sein des stations prospectées, même si ce facteur est corrélé à d'autres.

Tableau 9. Pourcentage des fractions de graviers-cailloutis, sables grossiers, sables fins et vases pour les 9 stations étudiés dans le massif des calanques de Marseille à Cassis y compris l'Archipel de Riou.

	OMR	6Sor	9MC	11PM	2NR	1(K19)	10EV	8ML	7SR
Graviers. Cailloutis	47,55	16,08	12,78	10,61	14,57	2,25	83,62	3,736	5,078
Sables grossiers	24,45	51,91	55,17	83,85	37,40	10,84	11,91	11,84	20,08
Sables fins	21,77	25,01	27,44	4,59	26,17	29,43	3,20	49,69	42,78
Vases	6,22	6,99	4,603	0,95	21,83	57,41	1,26	34,75	32,02

La station OMR située au sein d'un Herbier à Posidonies est caractérisée par un sédiment particulièrement grossier. Ceci explique la dominance des espèces des diverses Biocénoses regroupées sous la dénomination « Substrats Durs » (SD) et, à moindre titre des espèces « gavellicoles » et de la Biocénose des Sables Grossiers sous influence de courants de fond (SGCF). Les stations peu profondes (6Sor, 9MC, 11PM) sont largement dominées par les espèces des Sables Grossiers sous influence de courants de fond (SGCF), du Détritique

aux rejets de l'émissaire. Le sédiment des stations 2NR et 10EV contient une fraction grossière (graviers et sables) très importante, favorable à la présence d'espèces des biocénoses SGCF et du Détritique côtier, avec d'autres espèces gravellicoles et détriticoles, réunissant respectivement 19% et 39% des individus, les espèces vasicoles et de biocénoses affines regroupent respectivement 6 et 11 % d'individus. Les deux stations les plus profondes (8ML et 7SR) ont un sédiment renfermant un pourcentage notable de fraction très fine (vases), il en résulte la présence de l'ordre de 10% d'espèces vasicoles. Cependant, les espèces caractéristiques des biocénoses correspondantes sont mal ou pas représentées. Ce sont les caractéristiques des biocénoses SGCF et DC qui dominent largement comme cela été précédemment mis en évidence. Enfin, la station (K19), située au sein d'une cellule de décantation signalée par Picard dans les années 1970 et abondamment nourrie par les rejets de l'émissaire après leur forçage au-dessus de l'Herbier à Posidonies du Plateau des Chèvres, mérite un commentaire particulier. Le sédiment y est largement dominé (88%) par les éléments fins (vases et sables fins), toutefois si le peuplement recèle un contingent important (6,5% de l'ensemble des individus recueillis) d'espèces liées aux biocénoses de Vases ou de vasicoles, on remarquera un contingent notable, supérieur à 22%, d'espèces du Détritique côtier ou détriticoles.

5.2.3.3 Analyses de parcimonie

Les analyses ont été réalisées à partir de deux programmes de parcimonie (PAUP 3.1.1. (Swofford, 1993) et McClade 3.0.1 (Madison et Madison, 1992)). Ils donnent des résultats complémentaires pour ce qui concerne la représentation graphique des arbres (Figure 27). L'analyse a été effectuée à partir de 258 taxons déterminés au niveau spécifique à l'exception de 14 d'entre eux dont seul le genre a été reconnu.

Une analyse à l'aide du programme MacClade (Figure 27) a été réalisée. Seules trois espèces sont communes à l'ensemble des stations (*Aspidosiphon muelleri*, *Echinocyamus pusillus* et *Glycera lapidum*). La station 7SR est détachée d'un groupe déterminé par deux espèces (*Chrysopetalum débile* et *Ophiura albida*). Cette station au sud de l'île Riou possède en propre 6 espèces. Il a précédemment été signalé que cette station présente des caractères particuliers (nombre d'espèces, indices de Shannon, importance relative des espèces « sentinelles » de la zone subnormale, etc.). Du regroupement des autres stations, se distinguent les stations OBM et 11PM, ce ne sont pas moins de cinq espèces communes qui les réunissent dont *Cerithium vulgatum*, *Lysidice ninetta* et *Syllis gracilis* espèces largement réparties dans les peuplements de substrats solides et les Herbiers de Posidonies. Les autres stations contiennent des espèces présentes dans quelques branches et absentes des autres. Les stations, elles mêmes, se distinguent par la présence de nombreuses espèces recueillies dans une seule d'entre elles. L'ensemble apparaît peu différencié. On notera néanmoins, que les stations 1 (K19) et 8ML possèdent en commun deux espèces.

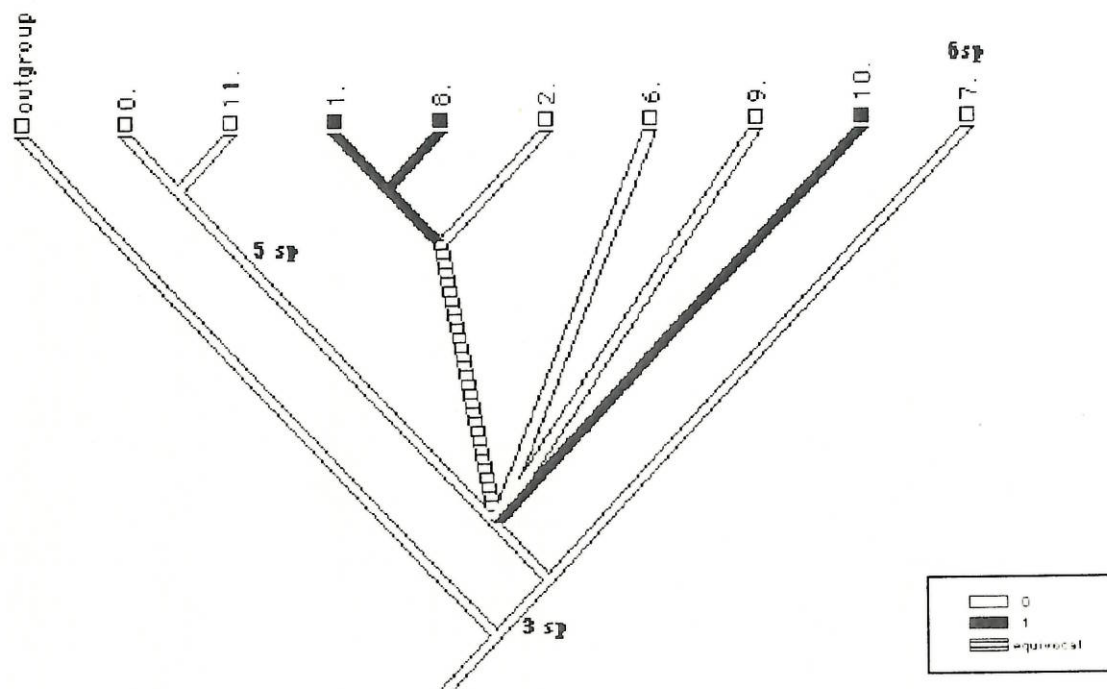


Figure 27. Analyse de Parcimonie sur les données relevées dans les stations de prélèvement de sédiment meuble des Calanques en 2003

5.2.4 Comparaisons complémentaires avec d'autres peuplements du secteur des Calanques

Une des particularités essentielles du site NATURA 2000 et du périmètre couvert par le GIP Calanques est "d'abriter", en position tout à fait centrale, le débouché en mer du grand émissaire des eaux usées de la Ville de Marseille et du flux détourné de l'Huveaune, comme nous l'avons signalé dans la partie Introduction de ce chapitre.

Il est en dehors du cadre strict de notre mission de traiter de cet aspect du problème de manière exhaustive. Toutefois, on ne saurait raisonnablement faire l'impasse sur ce problème lequel est, d'ailleurs, au centre même de la problématique générale tant du site NATURA 2000 que du GIP Calanques.

C'est donc en fonction de cet impératif qu'avait été choisie la station 1, précédemment étudiée (Contrat Station marine d'Endoume/Ville de Marseille, Étude du Benthos, 1989-1990) et dénommée K19. Nous avons, aussi, à partir de recherches conduites de manière indépendante par trois d'entre nous, en 1994 (Bellan *et al.*, 1999 ; Arfi *et al.*, 2000) souhaité introduire, dans le cadre du présent Rapport quelques éléments synthétiques qui, dans une certaine mesure, nous paraissent représentatifs de la situation qui prévaut actuellement dans le secteur plus particulièrement touché par les rejets de l'émissaire. Dans les deux cas, nous rappellerons que la mise en service de la station d'épuration de la Ville de Marseille, en 1987, a considérablement amélioré l'état biologique (Arfi *et al.*, 2000) des fonds de l'ensemble du secteur pris en compte dans le cadre de notre mission

5.2.4.1 La station 1 (K19) en 1989, 1990 et 2003

Nous présentons (Tableau 10) quelques données essentielles concernant cette station, qui avait été échantillonnée en été 1989 et en hiver 1990, soit 3 ans après la mise en service de la station d'épuration. Cette station avait été choisie car elle était située au centre d'une assez vaste zone de décantation précédemment mise en évidence par Picard (1978). Cette zone était soumise à des apports provenant de la baie de Marseille et notamment du fleuve Huveaune, mais surtout de l'émissaire de Cortiou après le forçage hydrodynamique subi par les masses d'eau transitant d'est en ouest, au-dessus du haut fond du plateau des Chèvres, culminant à 12 mètres de profondeur.

Tableau 10. Indices des stations de prélèvement de substrat meuble effectués en 1994 dans la zones de Cortiou et de la station K19 entre 1989 et 2003 (Abond. : Abondance (en nombre d'individus), Dom. : Dominance (en %) ; INST. : espèces indicatrices d'instabilité du peuplement ; SSPR : espèces sans signification écologique précise ; LRE : espèces à large répartition écologique ; BIOC. : espèces indicatrices de biocénoses ; SFBC : sables fins bien calibrés ; SGCF : sables et graviers sous influence des courants de fond ; DC : détritique côtier ; SD : substrats durs).

Stations	I7 (1994)		H3 (1994)		F2 (1994)		K19 (1989)		K19 (1990)		1 (K19)2003	
Profondeur (m)	35		51		70		60		60		60	
Taxons	15		28		48		17		23		87	
Nombre d'individus	37		122		149		71		117		272	
SHANNON	3,22		3,8		4,98		3,21		3,52		5,87	
SHANNON MAX.	5,21		6,93		7,22		6,15		6,87		8,08	
ÉQUITABILITÉ	61,8		54,8		69		52,2		51,1		72,7	
BIONOMIE												
	Abond.	Dom.	Abond.	Dom.	Abond.	Dom.	Abond.	Dom.	Abond.	Dom.	Abond.	Dom.
POLLUTION	1	2,7	0	0	0	0						
INST.	0	0	7	5,74	6	4,03	11	15,5	29	24,8	17	6,27
SSPR	3	8,11	2	1,64	20	13,4	0	0	0	0	28	10,3
LRE	3	8,11	56	45,9	51	34,2	41	57,8	57	48,7	79	29,2
SÉDIMENTS	27	73	47	38,5	65	43,6	14	19,7	26	22,2	93	34,3
BIOC.	3	8,11	10	8,2	7	4,7	5	7,04	5	4,27	54	19,9
NATURE BIOCÉNOTIQUE												
	Abond.	Dom.	Abond.	Dom.	Abond.	Dom.	Abond.	Dom.	Abond.	Dom.	Abond.	Dom.
SFBC	0	0	0	0	2	28,6	0	0	1	20	0	0
SGCF	1	33,3	2	20	0	0	4	80	4	80	12	22,2
DC	2	66,7	5	50	1	14,3	0	0	0	0	9	16,7
SD	0	0	1	10	1	14,3	0	0	0	0	23	42,6
Vases	0	0	2	20	3	42,9	1	20	0	0	10	18,5
ESPECES SUBNORMALES	5	14	77	63	65	44	47	66	82	70	60	22

La situation en 2003 est grandement améliorée par rapport à la période 1989-1990. On constate une augmentation sensible tant du nombre d'espèces que du nombre d'individus, un Indice de diversité de Shannon beaucoup plus élevé, ceci étant quelque peu tempéré par une équitabilité légèrement plus faible. Aucune espèce indicatrice de la zone polluée (Bellan,

1967a et b) n'avait été récoltée, mais la dominance globale des espèces indicatrices des conditions prévalant dans la zone subnormale (Bellan, 1967a et b) très abondantes en 1989 et 1990, a été divisée, en 2003, par un facteur supérieur à 3,5 (Tableau 11, Figures 15, 16, 17 et 18).

Cela, bien entendu, confirme l'évolution positive des fonds marins après la mise en service de la Station d'épuration. Il n'en demeure pas moins que la station 1(K19), située au sein d'une vaste cellule de décantation, comme il a été précisé ci-dessus, est tout à fait singulière par rapport aux autres stations prospectées en 2003. Ce qui est également observé au niveau de la granulométrie des sédiments et en particulier de la fraction fine très élevée (57 %).

5.2.4.2 Les Stations I7, H3 et F2 en 1994 et leurs enseignements

Il nous paraît intéressant de comparer nos résultats avec les données acquises en 1994 dans ces trois stations (Tableau 10, Figure 28, Figure 29, Figure 30, Figure 31). L'année 1994 correspond en fait avec une campagne de prélèvements réalisée dans des stations suivies de manière plus ou moins régulière depuis 1976 (Bellan et Bourcier, 1984, 1990), Bellan *et al.* (2001) et Arfi *et al.* (2000). Les prélèvements effectués peuvent être considérés comme représentatifs d'un secteur géographique soumis à des pollutions urbaines. Nous ne pouvons que regretter que les limites strictes imposées à notre mission ne nous aient point permis d'étudier les prélèvements dans ces stations, au cours de la mission 2003.

Un certain nombre d'analyses statistiques ont été réalisées, afin de comparer les peuplements des 9 stations de notre mission avec ceux de ces trois stations localisées à proximité du débouché de l'émissaire d'eaux usées de la Ville de Marseille. Ces études nous permettront de vérifier dans quelle mesure les stations 0 BM à 11PM sont contaminées ou non par les rejets urbains et surtout dans quelle mesure leur peuplement s'en trouverait affecté.

Dans une première étape, nous avons procédé à deux analyses statistiques qui nous ont toutes permis de mettre en évidence l'isolement des stations I7, H3 et F2, positionnées dans l'axe d'écoulement privilégié des rejets de l'émissaire de Marseille (Bellan et Bourcier, 1984, 1990 ; Arfi *et al.*, 2000).

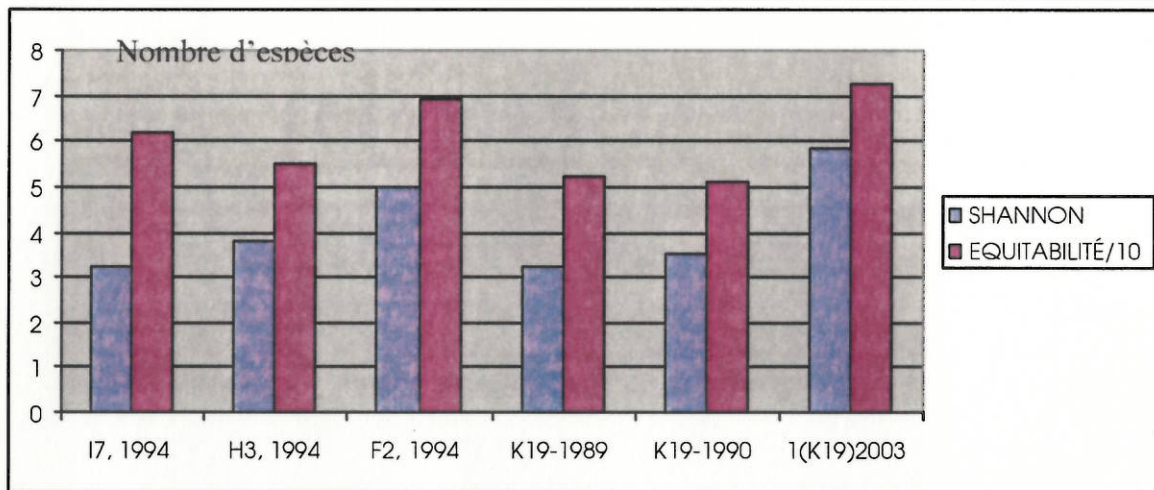


Figure 28. Répartition des Indices de Diversité de Shannon et de l'Équitabilité dans les stations de prélèvement de substrat meuble en 1989/1990/2003 (K19) et en 1994 (I7, H3, F2).

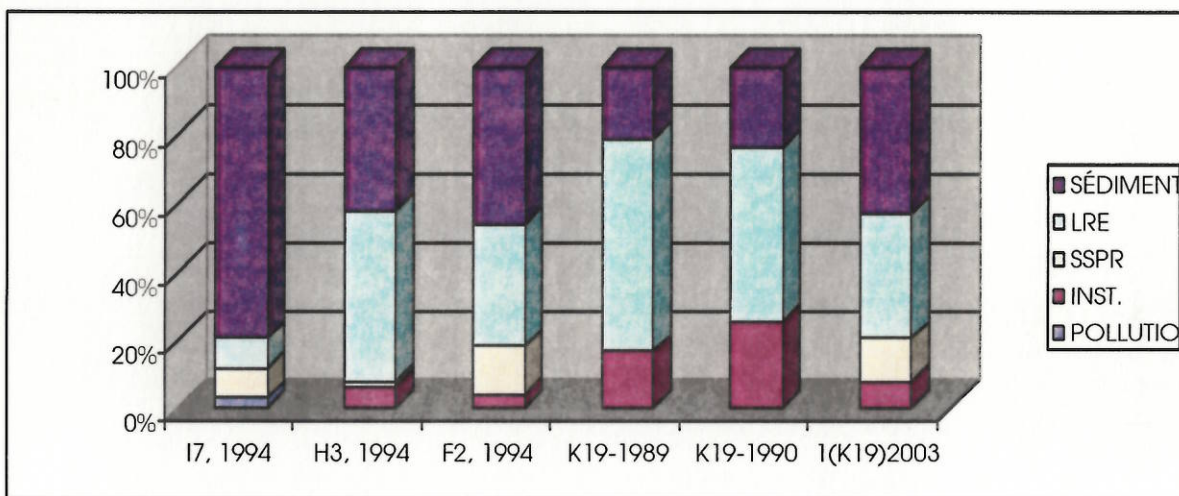


Figure 29. Répartition des grands groupes bionomiques dans les stations de prélèvement de substrat meuble en 1989/1990/2003 (K19) et en 1994 (I7, H3, F2) (INST. : espèces indicatrices d'instabilité du peuplement ; SSPR : espèces sans signification écologique précise ; LRE : espèces à large répartition écologique ; BIOC. : espèces indicatrices de biocénoses).

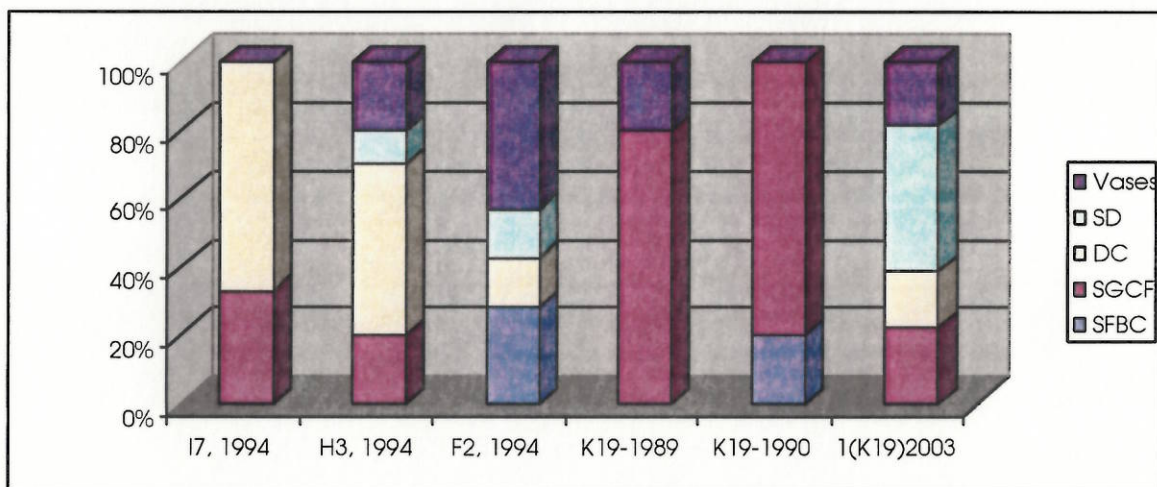


Figure 30. Répartition des biocénoses dans les stations de prélèvement de substrat meuble 1(K19), I7, H3, F2 (SFBC : sables fins bien calibrés ; SGCF : sables et graviers sous influence des courants de fond ; DC : détritique côtier ; SD : substrats durs).

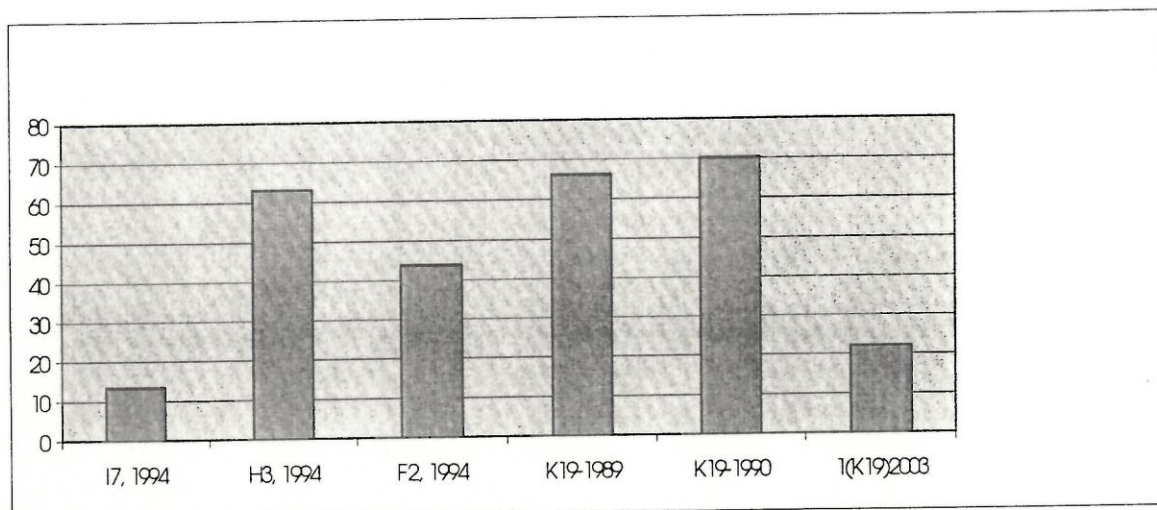


Figure 31. Répartition des espèces sentinelles de la zone subnormale dans les stations de prélèvement de substrat meuble 1(K19), I7, H3, F2.

1°) Analyse de similarité

Une analyse de similarité (Bray-Curtis similarity) issue du programme PRIMER (Warwick et Clarke, 1993) a été effectuée sur les données. La similarité de la composition spécifique entre les stations a été déterminée par une ordination « non-metric multidimensional scaling (MSD) » à partir de l'index de similarité de Bray-Curtis. Cette analyse a été basée sur 291 espèces. L'Index de similarité et le diagramme MSD, basés sur total de 291 espèces réparties dans 12 stations, montrent clairement que les stations I7, H3 et F2 sont séparées de l'ensemble de nos prélèvements (Figure 32). Au sein de ces derniers, la similarité s'accroît à partir de la station 7SR, puis 0MR, le cluster de similitude se dédoublant en deux branches, l'une regroupant les prélèvements 1(K19) et 8ML, l'autre les prélèvements 10EV, puis 6Sor, 2NR, 9MC et 11PM.

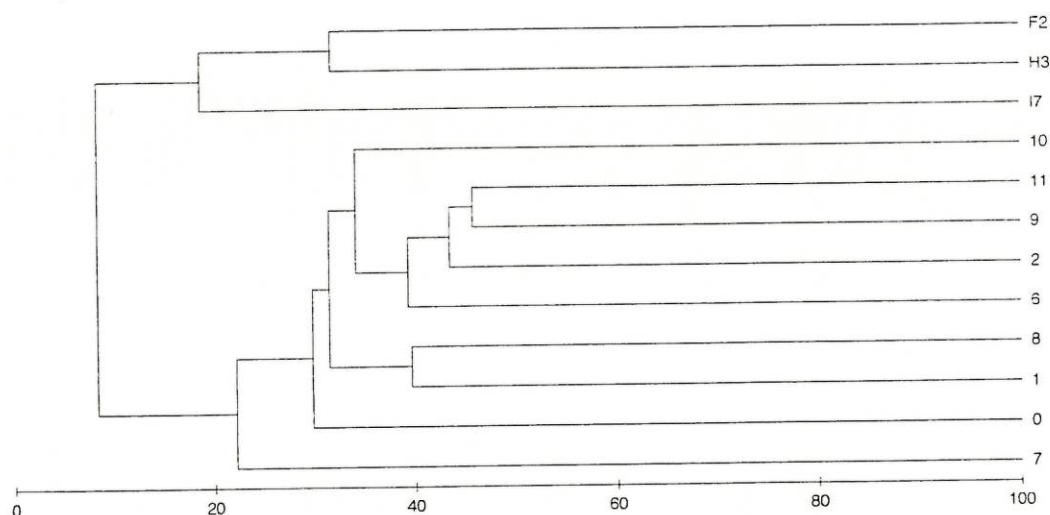


Figure 32. Similarité de Bray Curtis effectuée sur les données des stations de prélèvement de substrat meuble des Calanques en 2003 et des stations I7, H3, F2 en 1994.

2°) Analyse de parcimonie

Une analyse en présence-absence basée sur 289 taxons a été effectuée (Figure 33). Dans cette analyse, les stations I7, H3 et F2 sont réunies sur un embranchement distinct de l'ensemble des autres stations. Trente espèces ont été récoltées exclusivement dans ces trois stations,

cependant seules cinq d'entre elles concourent à la création d'un petit groupement (stations H3 et F2, déjà reconnu dans l'analyse en composantes principales). Dans le deuxième embranchement, la station 7SR manifeste encore sa singularité et les autres stations se répartissent de manière identique à ce qu'elles l'étaient dans la première analyse.

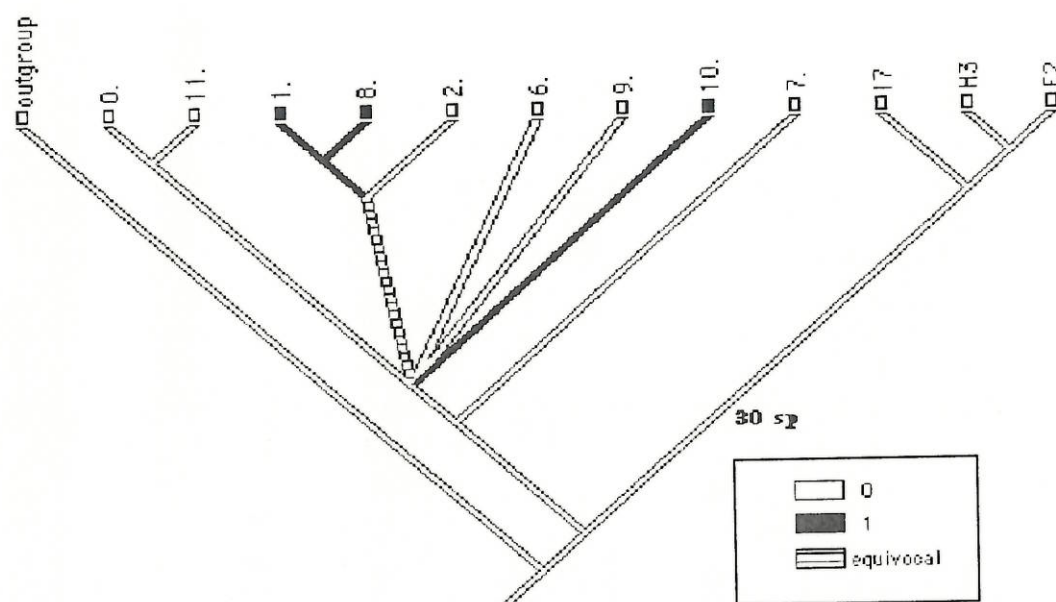


Figure 33. Analyse de Parcimonie sur les données relevées dans les stations de prélèvement de substrat meuble des Calanques en 2003 et à Cortiou en 1994

En résumé, les analyses statistiques ont montré que les prélèvements effectués à proximité de l'émissaire de Cortiou sont significativement différents de ceux qui en sont éloignés.

Si l'on compare, comme nous l'avons fait pour les prélèvements 1989-1990 de la station 1 (K19), les stations I7, H3 et F2 (1994) avec l'ensemble des stations de la mission 2003, on constatera que leur peuplement est très appauvri en termes de nombre de taxons et d'individus présents ; les indices de diversité de Shannon, faibles, s'apparentent avec ceux des prélèvements 1989 et 1990 de la station 1 (K19). Les espèces indicatrices de types particuliers de sédiment et celles à Large Répartition Ecologique dans les substrats meubles sont largement dominantes, tandis que les caractéristiques de biocénoses sont encore peu représentées. En revanche, la dominance globale des espèces sentinelles de la zone subnormale est encore notable, en particulier pour la station H3. Ceci conduit à admettre que les peuplements sont encore mal structurés et constitués d'espèces banales aux exigences écologiques peu spécialisées. On pourrait parler, pour les stations I7, H3 et F2 échantillonnées en 1994, de peuplements « en devenir » alors que les stations de la mission 2003, à l'exception relative de la station 1(K19) présentent les caractéristiques de peuplements définis.

5.2.5 Elaboration d'un indice de l'état général du peuplement

L'établissement d'un Indice correspondant à l'état général du peuplement de la macrofaune permettra d'effectuer un suivi régulier de différents sites.

D'une manière générale, cet Indice devrait être bâti à partir d'un certain nombre d'espèces indicatrices ou sentinelles, au sens de Bellan (1991), de conditions du milieu bien répertoriées. Concernant les peuplements établis sur substrat rocheux dans les niveaux superficiels, on possède effectivement de tels Indices simples et relativement fiables basés sur la composante végétale (Macrophytes) ou animale (Annélides Polychètes, Crustacés Amphipodes), à titre d'exemples locaux. En revanche, pour ce qui est des substrats meubles, un certain nombre de problèmes se posent et ne semblent pas avoir été encore correctement résolus, à tout le moins hors des zones soumises à des actions perturbatrices d'origine anthropique. On se référera à ce sujet à la monographie de Pérez *et al.* (2000b). Blandin (1986) faisait remarquer que si les Indices biologiques basés sur des espèces indicatrices avaient un caractère empirique, ils n'en étaient pas moins efficaces. En tout état de cause, ils apparaissent aussi fiables que les Indicateurs réputés théoriques et totalement objectifs comme l'ont signalé aussi bien Bellan (1991) que Pérez *et al.* (2000b).

De longue date, de tels Indices ont été utilisés dans le secteur de Cortiou, au cœur du territoire marin du GIP Calanques. Mis au point prioritairement pour évaluer l'impact du rejet de l'émissaire des eaux usées de Marseille sur les peuplements benthiques de substrat meuble et sur leur évolution dans l'espace et dans le temps, notamment en fonction de l'efficacité de la station d'épuration, ils se sont montrés particulièrement performants. Ces Indices sont basés sur trois catégories d'espèces définies par Bellan (1967a et b) et dont la liste a été affinée et progressivement fiabilisée depuis lors. Il s'agit d'espèces indicatrices :

- de la zone polluée,
- de la zone subnormale,
- d'espèces caractéristiques de Biocénoses (zone normale).

On a déjà remarqué la **quasi-absence d'espèces de la zone polluée** dans le périmètre de nos prélèvements. Les espèces indicatrices ou sentinelles de la zone subnormale ont été signalées comme « *Sub.* », pour ce Rapport. Il en va de même pour les espèces caractéristiques de Biocénoses. Nous proposons, dans une première approche la mise au point d'un **Indice de « Normalité »**, ou Indice de « qualité » des peuplements et partant du milieu. Cet Indice permet de mettre en évidence la proportion respective des espèces caractéristiques de biocénoses par rapport à celles « sentinelles » de la zone subnormale. Cet Indice n'a d'intérêt que pour un secteur soumis ou ayant été soumis à des perturbations anthropiques. Plus cet indice sera élevé, plus *a priori* le milieu pourra être considéré comme « de qualité » (tableau 12). Lorsqu'il n'a pas été recueilli d'espèces sentinelles de la « zone subnormale », cet indice ne peut être valablement calculer.

Un deuxième type d'Indice est proposé dans le cadre de cette mission. Il prend en compte un récent travail de Simboura et Zenetos (2002). Ces auteurs ont proposé un nouvel **Indice biotique**, dénommé BENTIX « based on the relative percentage of three ecological groups of species grouped according to their sensivity or tolerance of ecological classification ». Simboura et Zenetos insistent sur le fait que leur Indice réduit le nombre de groupes écologiques impliqués. Ceci, en quelque sorte, le rapprocherait de ce qui a été proposé auparavant dans le secteur de Cortiou. Toutefois, l'intérêt principal de BENTIX réside dans le fait que les auteurs ont appliqué un coefficient multiplicateur à chacun des groupes

considérés. Nous nous sommes inspirés de cette méthode. Toutefois, nous ne pouvons nous placer dans le cadre, simple, d'un milieu soumis à des perturbations anthropiques et de peuplements plus ou moins dégradés. Nous avons vu que nous n'étions pas dans un tel système. Cet indice doit être testé. Nous proposons, dans une première approche que nous espérons ultérieurement simplifier, d'établir un Indice biotique (tableau 12) basé sur cinq Groupes :

- 1°) espèces de la zone polluée,
- 2°) espèces indicatrices ou sentinelles d'instabilité du milieu,
- 3°) espèces à large répartition écologique,
- 4°) espèces indicatrices de la nature du sédiment,
- 5°) espèces caractéristiques de biocénoses.

Ces groupes sont affectés d'un coefficient multiplicateur de, respectivement, 1, 2, 3, 4 et 5. Ils reprennent les différentes catégories précédemment mise en évidence.

1°) *Indice de normalité* (Tableau 11, Figure 34)

On constate pour les prélèvements de la mission 2003 que les Indices de normalité sont supérieurs à 1, à l'exception de la station 1(K19). En revanche, cet Indice est toujours inférieur à 1 dans les prélèvements 1989-1990 de cette station 1(K19) et dans les prélèvements 1994 des stations I7, H3 et F2.

2°) *Indice biotique* (Tableau 11, Figure 34)

Pour les stations de la mission 2003, les Indices biotiques des différentes stations sont compris entre 3,47 (6Sor) et 6,10 (8ML). Quant aux stations prospectées antérieurement, cet Indice est compris entre 3,06 (1K19, 1990) et 3,91 (I7, 1994).

Tableau 11. Indices de normalité et indices biotiques des stations de prélèvement de substrat meuble des Calanques

Stations (2003)	0 MR	6 Sor	9 MC	11PM	2 NR	1 (K19)	10 EV	8 ML	7 SR
Indice de Normalité	9,5	4,86	7	6,62	19,9	0,9	11	6	1,07
Indice biotique	6,03	3,47	5,04	4,44	3,68	3,76	4,39	6,1	4,94
Stations	I7 (1994)	H3 (1994)	F2 (1994)	K19 (1989)	K19 (1990)				
Indice de Normalité	0,6	0,12	0,11	0,11	0,06				
Indice biotique	3,91	3,5	3,57	3,18	3,06				

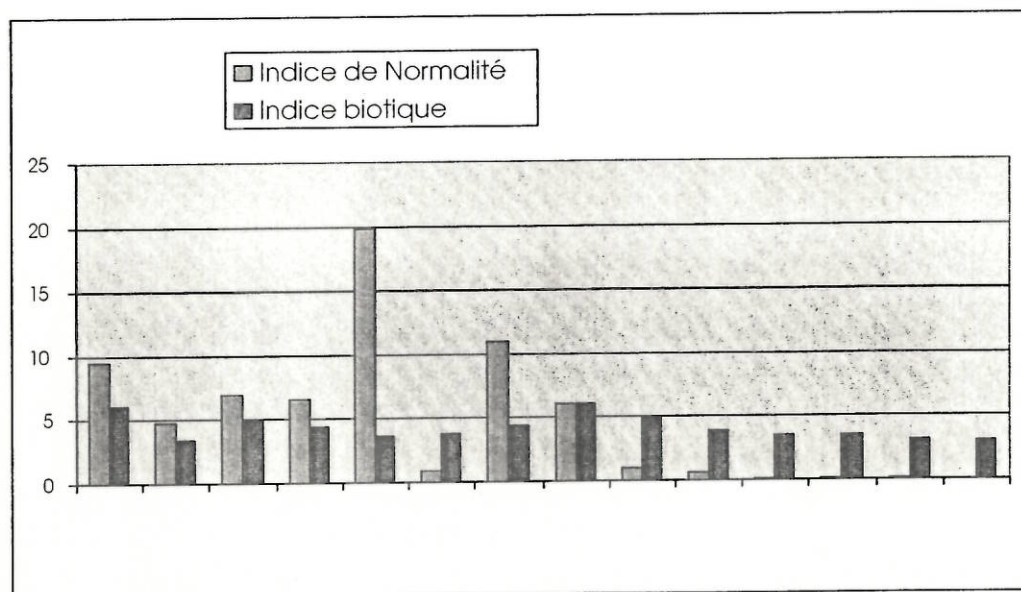


Figure 34. Répartition des Indices de Normalité et biotiques dans les stations de prélèvement de substrat meuble des Calanques en 2003, 1989/1990 (K19) et 1994 (17, H3 et F2)

3°) Conclusion sur ces Indices

La mise au point de ces Indices est, pour le moment, basée sur la présente étude. Elle devrait se poursuivre dans le cadre d'une étude parallèle (Cap Canaille). La mise en synergie de ces deux études si elle est souhaitée ultérieurement par le GIP Calanques de Marseille à Cassis dans le cadre du DOCOB Calanques et Archipel marseillais pourrait permettre un affinement méthodologique de ces Indices.

En l'état actuel, ces Indices doivent être retravaillés et certainement améliorés et, surtout, il doivent impérativement être testés dans d'autres secteurs de la région marseillaise à partir de données que l'on peut qualifier d'« Historiques » (avant les perturbations massives subies par les peuplements de substrats meubles au cours de ces quatre dernières décennies) et de récentes acquises dans les mêmes secteurs. Ces études sont en bonne voie.

5.2.6 Conclusion

Une étude des peuplements benthiques établis sur différents substrats meubles du secteur Calanques-Archipel de Riou a été effectuée. Il s'agissait, tout à la fois de présenter un « état des lieux » et de replacer ce dernier dans une perspective à plus long terme, tant en s'appuyant sur des connaissances acquises depuis plusieurs décennies que délibérément tournées vers le futur, c'est-à-dire tout à la fois dans le cadre de la création d'un Parc marin national et de l'établissement d'un Document d'Objectif servant de base à la désignation d'un site NATURA 2000.

Le problème auquel nous nous sommes heurtés réside dans le trop faible nombre de prélèvements que nous pouvions réaliser dans un secteur aussi vaste que celui prospecté et le fait que nous n'avons, dans ce cadre, pu étudier des prélèvements réalisés à proximité du rejet en mer de l'émissaire des eaux usées traitées, de Marseille. Nous nous sommes efforcés de combler ces lacunes, y compris en recherchant des données hors du champ strict prospecté et en effectuant diverses analyses complémentaires de l'ensemble des données en notre possession.

Partant de ces prémisses, nous pouvons considérer :

1° que sur le long terme, on a observé une nette amélioration de la qualité notamment structurelle des peuplements benthiques de l'ensemble du périmètre Calanques-Archipel marseillais,

2° que les peuplements effectivement étudiés lors de la présente étude peuvent être considérés comme présentant une qualité assez bonne à bonne. Nous nous basons sur un certain nombre de données importantes :

- a. pas d'espèces de la zone polluée,
- b. faibles pourcentages d'espèces indicatrices d'instabilité du sédiment (donc du milieu dans son ensemble) et de la zone « subnormale »,
- c. pourcentages non négligeables d'espèces caractéristiques de biocénoses et parmi celles-ci, nous retiendrons l'importance du compartiment Sables Grossiers sous Influence de courants de fond et Détritique côtier, biocénoses « phares » des côtes provençales
- d. la dominance dans certaines stations des espèces « à Large répartition écologique » n'étant peut-être que la conséquence secondaire des perturbations antérieures, comme nous l'avons proposé.

5.3 Produits rendus

Les produits issus de cette voie d'acquisition sont

- L'analyse granulométrique du sédiment : fraction grossière sur tamis (annexe 5a) et fraction fine au granulomètre laser (annexe 5b).
- Liste des espèces de la macrofaune identifiées dans les prélèvements du sédiment (annexe 5c).
- Couche SIG de localisation des stations de prélèvement associé aux résultats de la granulométrie.

6 La campagne de plongées

6.1 Introduction

L'intervention en plongée sous-marine a pour but, par observation *in situ*, de valider certaines données sonar, de photos aériennes ou de vidéo (vérités terrain), ou encore de combler les lacunes sur certaines zones non renseignées. Ces plongées permettent de reconnaître la nature des fonds et de caractériser les peuplements qui les occupent. Le choix de leur répartition géographique est principalement dicté par l'état des connaissances, fourni par la synthèse bibliographique de la phase 1 de l'étude et par les résultats des investigations sur le terrain. Ces plongées ont été effectuées en mai 2004. Elles permettent :

- l'étude des paramètres de vitalité de l'herbier à *Posidonia oceanica* (recouvrement, densité, déchaussement, etc.), dans certains secteurs clé ; elles permettent également l'étude de l'état des principales communautés benthiques (éponges, gorgones, bryozoaires, etc.) dans le coralligène et les grottes semi-obscuras,
- l'inventaire des espèces patrimoniales,
- l'étude des principaux groupes morpho-fonctionnels de végétaux marins, dont le développement maximal est atteint au printemps. L'analyse de ces groupes morpho-fonctionnels permet de caractériser la qualité du milieu au moyen d'un indice.

6.2 Matériel et méthodes

6.2.1 Les différents types d'interventions

Les interventions en plongée sous-marine ont nécessité la mise en œuvre d'une équipe de quatre personnes : deux scaphandriers scientifiques, un scaphandrier de secours et un pilote (équipe minimum requise par l'arrêté n° 90-277 du 28 mars 1990 du Ministère du Travail, relatif à l'intervention en milieu hyperbare).

Les plongées de type I (vérités terrain) et les plongées de types II (plongées d'investigations plus poussées destinées à l'étude de sites intéressants et présumés d'intérêt particulier) ont été effectuées à partir de l'embarcation du GIS Posidonie « Chourmo ». Ces plongées, effectuées le long de transects et par prospections, ont permis aussi de dresser des inventaires d'espèces patrimoniales ainsi que des estimations de la qualité globale du milieu. La limite inférieure de l'herbier a également pu être précisée lors de ces plongées sur les secteurs où la donnée était manquante. La limite inférieure de l'herbier est suivie par des plongeurs qui se signalent en surface au moyen d'une bouée. La bouée permet au bateau d'assistance de prendre à intervalles de temps réguliers des points GPS.

Au total, ont été effectuées dans le secteur des Calanques : 6 plongées pour évaluer les paramètres de vitalité et effectuer des vérités-terrain sur l'herbier de Posidonie ; 4 plongées pour l'étude des principales communautés benthiques de substrat dur, 7 plongées pour l'établissement des groupes morpho-fonctionnels de macrophytes (Figure 35). Les coordonnées géographiques (points GPS) sont relevées pour chaque site de plongée (Tableau 12).

Tableau 12. Caractéristiques des interventions en plongée sous-marine (1 : vérité terrain ; 2 : observations) sur les différents sites des Calanques (y compris l'archipel de Riou) : HP=herbier de Posidonie.

Date	Site	Coordonnées géo	Type de plongée	Objet de la plongée
16/05/04	Maïre	43° 12' 370/05° 19' 520	2	Coralligène
		43° 12' 702/05° 19' 942	2	Macrophytes
17/05/04	Bestouan	De 43° 12' 182/05° 31' 420 à 43° 12' 316/05° 31' 238	1	Coralligène et HP
	Port-Miou	De 43° 12' 226/05° 31' 013 à 43° 12' 107/05° 30' 900	1	HP
18/05/04	Sormiou	De 43° 12' 447/05° 25' 886 à 43° 12' 632/05° 25' 392	2	HP
19/05/04	Castel-Vieil	De 43° 11' 898/05° 29' 935 à 43° 11' 925/05° 29' 922	2	Coralligène
		43° 12' 254/05° 29' 562	2	Macrophytes
	En-Vau	43° 11' 915/05° 30' 261	1	HP
21/05/04	Morgiou	De 43° 12' 448/05° 27' 302 à 43° 12' 757/05° 27' 857	2	HP
		43° 12' 678/05° 27' 074	2	Grotte
	Est Sugiton	43° 12' 593/05° 28' 681	1	HP
	Dévenson	43° 12' 259/05° 28' 571	1	HP
25/05/04	Morgiou	43° 12' 205/05° 27' 427	2	Coralligène
	Bec Sormiou	43° 12' 374/05° 25' 474	2	Macrophytes
	Plane nord	43° 11' 392/05° 23' 200	2	Macrophytes
26/05/04	Riou sud	43° 10' 421/05° 23' 260	2	Macrophytes
	Cortiou	43° 12' 805/05° 24' 297	2	Macrophytes
	Marseilleveyre	43° 12' 645/05° 22' 904	2	Macrophytes
	Cap Croisette	43° 13' 192/05° 20' 269	1	HP

Phase 2 : Rapport méthodologique et résultats

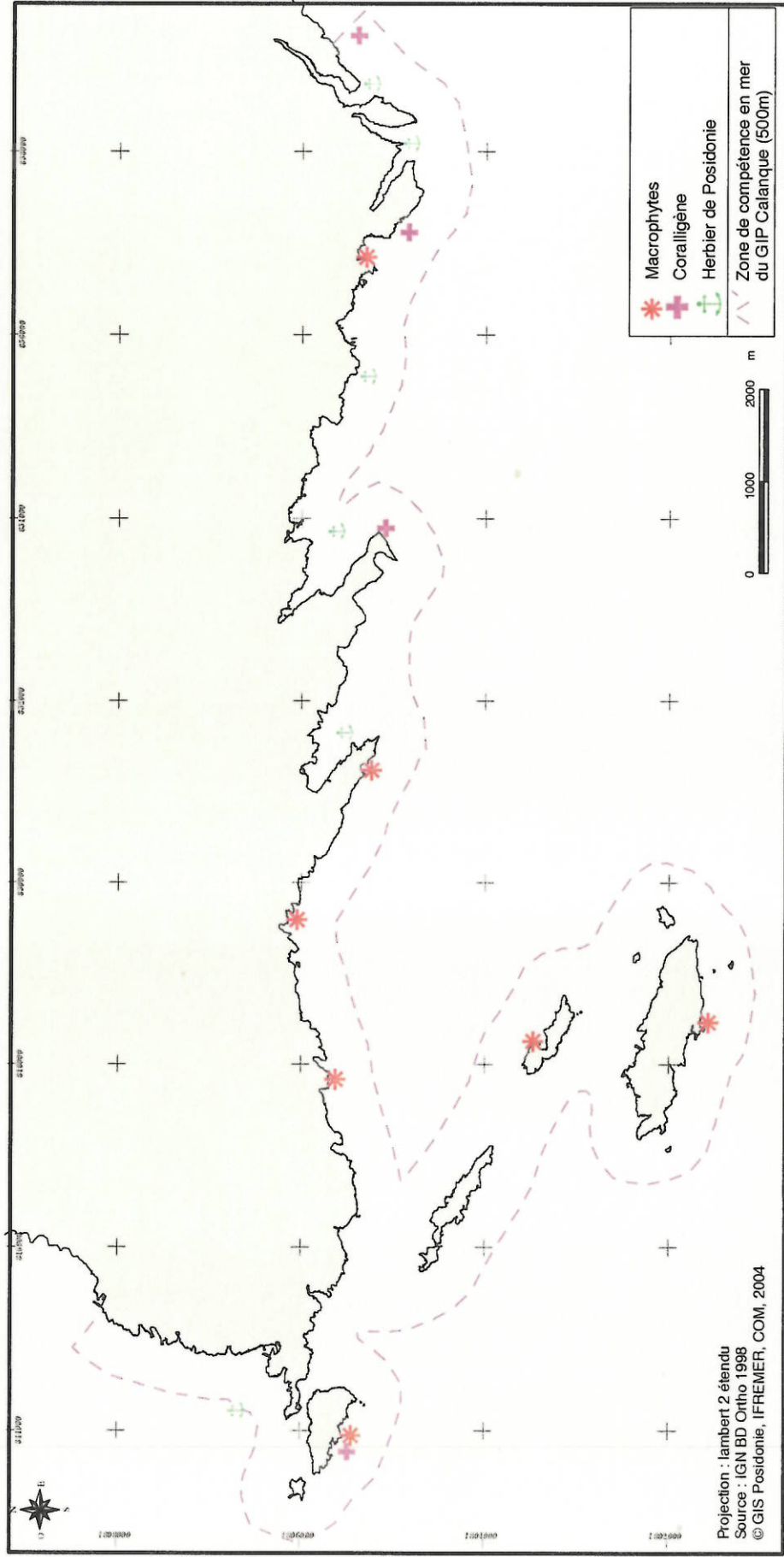


Figure 35. Plan d'échantillonnage de la campagne de plongée sous-marine dans les Calanques de Marseille-Cassis.

6.2.2 Paramètres de vitalité de l'herbier à *Posidonia oceanica*

Les explorations en plongée sous-marine ont été effectuées le long de transects. Les coordonnées géographiques des extrémités de ces radiales sont obtenues par positionnement GPS. Le long de chaque radiale, la bathymétrie, la typologie de l'herbier de Posidonie (herbier continu ou morcelé, herbier de plaine, de colline, etc.) et des fonds traversés (matte morte, intermattes érosives, etc.) ont été notés, sur une vingtaine de mètres de largeur. Dans l'herbier de Posidonie, différents paramètres ont été évalués : recouvrement, densité, déchaussement et orientation des rhizomes, importance du broutage des feuilles, épiphytisme, etc. Par ailleurs, la faune et la flore dominante ont également été notées ; une attention particulière a été portée à la présence d'espèces protégées comme la grande nacre, *Pinna nobilis*.

Ces transects ont été complétés par la prospection de petits fonds infralittoraux pour l'étude de la **stratification et des groupes morpho-fonctionnels d'algues** le long du linéaire de côte ainsi que par des plongées ponctuelles sur les sites particuliers tels les tombants ou les grottes sous-marines très présentes dans le secteur des Calanques. Les **biocénoses remarquables**, tels l'herbier de posidonie et les peuplements du coralligène et des grottes, ont fait l'objet d'une attention particulière, en raison de la biodiversité qu'elles abritent. Les **espèces remarquables et invasives** rencontrées ont été notées et les biocénoses constituant des **paysages sous-marins particuliers d'un point de vue patrimonial, culturel et esthétique** (perception du paysage par les plongeurs sous-marins) ont également été décrites.

Estimation du recouvrement de l'herbier

Le recouvrement correspond au pourcentage de couverture du substrat par les feuilles de Posidonie en place. Les valeurs de recouvrement varient selon l'état de vitalité de l'herbier ; elles diminuent avec la profondeur et la proximité de zones perturbées (aménagements ou rejets). Le recouvrement varie également de manière naturelle, selon la saison d'observation (variation de la longueur des feuilles), ou par exemple, dans des secteurs soumis à un fort hydrodynamisme ou à une hyper-sédimentation. En l'absence d'une méthode standardisée⁵ de mesure, une méthode originale a été mise au point en 1995 par l'équipe du GIS Posidonie (Gravez *et al.*, 1995). Cette méthode est basée sur l'utilisation d'une plaquette de PVC transparente de 30 cm x 30 cm, divisée en un carroyage de 10 cm de côté (9 carreaux au total, Figure 36). Cette plaquette permet à l'observateur d'effectuer un comptage du nombre de carreaux occupés par de l'herbier (entre 0 et 9, à un demi-carreau près, cette valeur étant ensuite exprimée en pourcentage). La mesure est réalisée à la verticale du point observé, à 3 mètres au-dessus du fond et les points d'échantillonnage sont déterminés de manière aléatoire au sein des stations. 30 mesures sont réalisées par station. Le long des transects, les mesures sont effectuées tous les 100 m, ou en fonction des changements de la configuration de l'herbier.

5 - Les méthodes proposées jusqu'alors reposent sur des évaluations subjectives (susceptibles de varier d'un observateur à l'autre) ou représentent un effort d'échantillonnage important (utilisation de photographies sous-marines verticales après la pose de cadres, in Cristiani, 1980 ; Romero-Martinengo, 1985) ou encore, souffrent de biais méthodologiques importants (mesures linéaires le long de transects, E. Fresi comm. pers.)

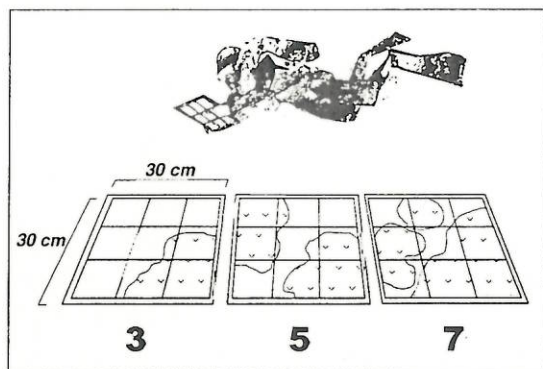


Figure 36. Méthode d'évaluation du recouvrement de l'herbier de Posidonie sur le substrat (d'après Gravez *et al.*, 1995).

Densité de l'herbier

La densité correspond au nombre de faisceaux de Posidonie présents par mètre carré. Ces mesures de densité permettent ensuite de classer l'herbier en six types différents, selon la terminologie de Giraud (1977) : herbier très dense, dense, clairsemé, très clairsemé, semi-herbier, faisceaux isolés (Tableau 13).

Tableau 13. Classification de l'herbier de Posidonie selon la densité de faisceaux de feuilles au m², d'après Giraud (1977).

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

La densité varie selon les herbiers en fonction de la profondeur (elle décroît selon Romero-Martinengo, 1985 et Pergent-Martini, 1994) avec l'augmentation de profondeur) et des conditions du milieu (lumière, type de substrat où l'herbier est implanté). Une grille de lecture simplifiée, tenant compte du facteur bathymétrique, a donc été proposée par Pergent-Martini (1994) et classe l'herbier en quatre catégories : densité anormale, sub-normale inférieure, normale, sub-normale supérieure (Figure 37).

Conventionnellement, la densité est mesurée au hasard dans l'herbier, au moyen d'un quadrat de 20 cm de côté (surface minimale garantissant la représentativité de la mesure, Panayotidis & Giraud, 1981). Du fait de l'hétérogénéité naturelle de l'herbier (phénomène de " patchiness "), plusieurs comptages (au moins 5 par station) sont réalisés, afin d'apprécier la variabilité des densités. Ces mesures sont effectuées régulièrement le long des transects (généralement tous les 100 m), ou lors des plongées ponctuelles.

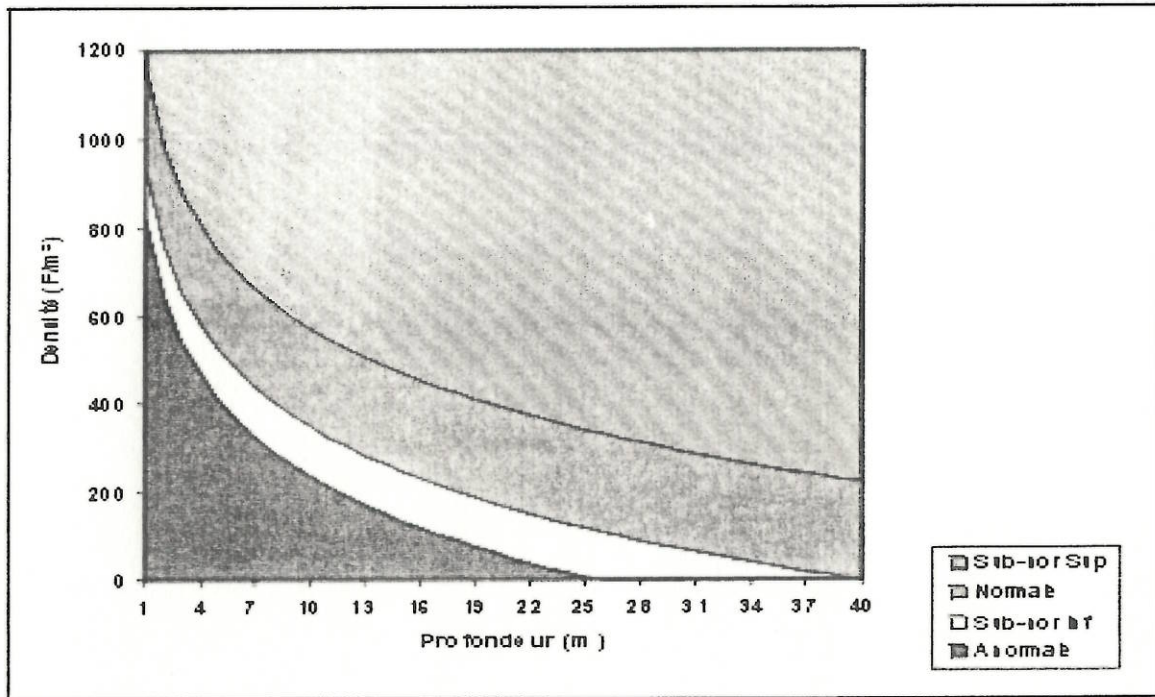


Figure 37. Abaque donnant le type de densité en fonction de la profondeur et du nombre de faisceaux/m² (d'après Pergent-Martini 1994).

Présence de rhizomes plagiotropes

En limite d'herbier ou en bordure des taches et îlots de Posidonie, la présence de nombreux rhizomes plagiotropes traçants (croissance horizontale) est un indice de bonne vitalité de l'herbier, car elle traduit une tendance à la progression. Un pourcentage élevé de rhizomes plagiotropes au sein de l'herbier rend possible une recolonisation des « microtaches » ou intermattes comme réponse de l'herbier à une pression d'ancrage passée ou présente. Cette réponse peut passer inaperçue si l'on se contente d'étudier la macrostructure de l'herbier (recouvrement, morcellement).

Le degré de morcellement

Sous l'influence d'un déséquilibre du milieu, les limites supérieures de l'herbier, généralement franches, vont se morceler (Charbonnel *et al.*, 1995). Selon l'importance du déséquilibre, le morcellement sera d'abord visible sous forme d'ondulations puis d'invaginations de sa marge et enfin d'un véritable fractionnement en îlots dont les dimensions diminueront en se rapprochant de la source de nuisance. Pour déterminer le degré de morcellement, un plongeur déroule en ligne droite, de manière aléatoire, un ruban gradué de 10 m de long, puis dénombre et mesure la taille des intermattes traversées par le ruban. Cette méthode est inspirée de la *line intercept method* (Forgeard, 1987).

6.2.3 Paramètres de vitalité des communautés benthiques de substrats durs

Lors de cette campagne, 4 plongées ont été dédiées à l'observation des biocénoses benthiques de substrat dur (Tableau 12, Figure 35). Elles ont permis l'utilisation de paramètres standardisés (ou en cours de standardisation) pour l'évaluation de l'état de vitalité des peuplements remarquables comme les peuplements de gorgones et de corail rouge (*Corallium*

rubrum). La méthodologie appliquée pour l'évaluation de l'état de vitalité et de la structure démographique des peuplements de gorgones et de corail rouge s'appuie sur celle utilisée dans le cadre du suivi de la mortalité massive de l'été 1999 (Perez *et al.*, 2000a ; Bonhomme *et al.*, 2001) : taux de nécrose des colonies ; colonisation des axes dénudés par les organismes épiphytes ; classes de taille.

Pour chacune des colonies de *Paramuricea clavata* étudiées, trois paramètres sont systématiquement notés :

(1) taux de nécrose ; les différents stades de nécrose sont représentés à l'aide d'un gabarit, utilisé en plongée lors des observations. L'échelle utilisée est la suivante :

0 : colonie entièrement morte : 100 % de la colonie nécrosés

1 : 75-99 % de la colonie nécrosés

2 : 50-74 % de la colonie nécrosés

3 : 25-49 % de la colonie nécrosés

4 : 10-24 % de la colonie nécrosés

5 : 0-9 % de la colonie nécrosées.

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

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

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

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

(3) Classes de taille

L'ensemble des colonies ont été mesurées à 10 cm près, à l'aide d'une pige en PVC graduée tous les 10 cm. Ces données, plus précises, permettent de dresser les histogrammes de distribution des tailles de chaque peuplement étudié.

6.2.4 Stratification et groupes morpho-fonctionnels de macrophytes

Un important cortège de macrophytes (Chlorobiontes, Chromobiontes, Rhodobiontes) se développe sur les substrats durs ; leur développement s'effectue depuis les milieux les plus superficiels et est limité en profondeur par la lumière (photosynthèse). Certaines espèces d'algues sont saisonnières, d'autres sont pérennes voire même très longévives. Ces dernières sont capables de constituer des peuplements qui se stratifient au cours du temps, où le nombre de strates et l'épaisseur de la strate caractérisent le degré de maturité du peuplement. En effet, le développement et la maturation des peuplements sont directement influencés par les conditions du milieu environnant. Le degré de stratification des peuplements facilement identifiables, en particulier pour les espèces du genre *Codium*, *Mesophyllum*, *Lithophyllum*, *Peyssonnelia*, *Halimeda*, *Cystoseira* sera recherché. Le genre *Cystoseira* présente d'ailleurs une valeur patrimoniale reconnue.

Little (1980) et Lüning (1990) ont classé les principales espèces de macrophytes en 6 groupes morpho-fonctionnels : espèces en lames minces, filamenteuses, branchues épaisses, corallinacées articulées, cartilagineuses et encroûtantes. Chacun de ces groupes traduit une stratégie adaptative vis à vis des conditions du milieu, des perturbations et des conditions de stress.

Les stations étudiées couvrent l'ensemble de la zone des Calanques (Figure 35) : Maire, Marseilleveyre, Plane nord, Riou sud, Cortiou, Sormiou, Castel-Vieil.

Lors des plongées effectuées dans ce cadre (Tableau 12), le degré de stratification des peuplements d'algues et l'importance relative des groupes morpho-fonctionnels ont été déterminés pour les espèces de macrophytes les plus facilement identifiables. Un indice à 5 classes de qualité du milieu, permettant, en fonction du degré de stratification et des groupes morpho-fonctionnels, une représentation hiérarchique de la zone, a été établi pour chaque station.

Dans chaque station, 3 relevés ont été effectués au hasard dans un quadrat de 20 cm x 20 cm, à 5 m et 10 m de profondeur, ce qui fait un total de 6 relevés par station. Chacun a été effectué sur un substrat sub-horizontale et donc avec un éclairage identique. Pour chaque relevé, les macrophytes dressées ont été prélevées ; leur importance relative a été évaluée par la suite au laboratoire. Le taux d'occupation des groupes de macrophytes filamenteuses et encroûtantes a été évalué en plongée.

6.3 Résultats

6.3.1 Les vérités terrain

Après interprétation des différentes sources de données (photos aériennes, sonar latéral, vidéo), plusieurs zones d'incertitude ont fait l'objet de validation en plongée sous-marine (Tableau 12). Le Tableau 14 regroupe les principales observations et le travail effectués lors de ces plongées de vérités terrain.

Tableau 14. Détails des observations effectuées dans différents secteurs des Calanques de Marseille-Cassis lors des plongées de vérités-terrain (HP : herbier de Posidonie).

Secteur	Biocénose	Observations
Cap Croisette	Limite inférieure HP	A l'ouest du point, limite inférieure à 22 m, franche avec des invaginations. Reprise de la progression avec de nombreux rhizomes plagiotropes. Bon équilibre sédimentaire : pas de déchaussement. Sable fin à vaseux sur la matte morte. Densité normale pour la profondeur. Relief sub-horizontale. Présence de <i>Flabellia petiolata</i> sur la matte. Présence d'un <i>Psetta maxima</i> (turbot) de 45 cm de long et trois <i>Mola mola</i> (poisson lune). A l'est, on observe un changement de structure de la limite inférieure, qui devient régressive et est constituée par des taches d'herbier. La densité reste normale pour la profondeur. de nombreuses éponges sont présentes sur les rhizomes de Posidonie. A 23 m, présence de la Chlorobionte invasive <i>Caulerpa racemosa</i> (recouvrement de 100 %).
Sugiton est	Limite inférieure HP	- Délimitation d'une portion de la limite inférieure manquante - Réalisation de vidéo numérique (plus extraits photos) fournit sur CD-ROM Limite inférieure de l'herbier de Posidonie régressive à 31 m de profondeur sur détritique côtier grossier et galets. En progressant vers l'est, plages de matte morte plus importantes jusqu'à 25 m. Présence d'une langue rocheuse séparant la limite inférieure en deux zones.

Dévenson	Limite inférieure HP	<p>- Délimitation d'une portion de la limite inférieure manquante</p> <p>La limite inférieure de l'herbier de Posidonie se situe à 25 m de profondeur au milieu de patates coralligènes. Au-delà, à 29 m, présence occasionnelle de coralligène de plateau.</p>
En-Vau	Limite inférieure HP	<p>- Délimitation d'une portion de la limite inférieure manquante.</p> <p>Limite inférieure en mosaïque. Près de la falaise de Castel-Vieil, profondeur de la limite à 29 m avec quelques îlots isolés, densité de 175 faisceaux/m². Pas de déchaussement, sable coquillier. En se dirigeant vers l'est, bordure de matte non érosive, grosses tache de Posidonie jusqu'à 31,5 m. Limite inférieure à 31 m avec densité de 200 faisceaux/m² puis langue rocheuse marquant la transition avec la calanque de Port-Pin. Quelques rhizomes plagiotropes sont présents.</p>
Port-Miou	HP	<p>- Délimitation d'une portion de la limite inférieure manquante.</p> <p>Entrée de la résurgence de Port Miou. Mauvaise visibilité. Beaucoup de gros sars <i>Diplodus sargus</i> à l'entrée de la résurgence. Fond constitué d'éboulis rocheux avec graviers. Macrophytes présentes: <i>Dictyota</i> sp., <i>Padina pavonica</i>, <i>Halopteris filicina</i>, peu de Corallinacées encroûtantes. Quelques gorgones <i>Eunicella cavollini</i> (beaucoup sont mortes et entièrement épiphytées à l'entrée extérieure de la résurgence), beaucoup d'éponges, et beaucoup de bivalves sur les parois (moules, huîtres, chlamys), fond vaseux avec beaucoup de coquilles de bivalves. Au bord, grosses touffes de posidonies de plusieurs mètres de diamètre, puis vers le milieu de la calanque l'herbier est plus continu. A l'entrée de Port-Miou, limite supérieure de l'herbier à 22 m, densité normale pour la profondeur. Sable coquillier, rhizomes peu déchaussés (5 à 7 cm). Présence de canalisations (Péchiney) à 25 m où sont fixés des gorgones <i>Eunicella cavolini</i>. Limite inférieure franche à 30 m et derniers faisceaux isolés sur matte morte à 31 m. Présence de blocs rocheux près des canalisations avec <i>E. cavolini</i>. Sable fin.</p>
Bestouan	Coralligène et HP	<p>- Délimitation d'une portion de la limite inférieure manquante.</p> <p>Visibilité moyenne et mauvaise au fond. Fond de détritique, un peu vaseux. Pas de coralligène de plateau identifié mais fond de détritique côtier à grosses pralines de <i>Lithothamnion valens</i>; espèce de Chromobionte présente sur le détritique: <i>Sporochnus pedunculatus</i>. Limite inférieure de l'herbier de Posidonie à 32 m. Limite progressive. Puis herbier homogène, recouvrement de 100 %, pas de grandes plages de matte morte. Présence importante de l'anémone <i>Alicia mirabilis</i>. Limite supérieure de l'herbier nette vers 15 m de profondeur, puis sable grossier et graviers, avec les Chromobiontes <i>Dictyota dichotoma</i>, <i>D. linearis</i>, <i>Halopteris filicina</i>, et la Rhodobionte introduite <i>Asparagopsis armata</i>. Vers 12m quelques <i>Padina pavonica</i>, <i>Dictyota</i> sp. Au bord, éboulis rocheux de petite taille, sûrement issus de rejets des carrières de calcaire de la région.</p>

	<i>pavonica</i> , <i>Dictyota</i> sp. Au bord, éboulis rocheux de petite taille, sûrement issus de rejets des carrières de calcaire de la région.
--	--

6.3.2 L'herbier à *Posidonia oceanica*

L'herbier de Posidonie a fait l'objet d'une prospection approfondie dans les calanques de Sormiou et Morgiou. L'ensemble des résultats concernant les paramètres de vitalité figure dans l'annexe 6a.

* L'herbier à *Posidonia oceanica* de la calanque de Sormiou

L'herbier de Posidonie occupe toute la calanque de Sormiou, de 3 à 29 m de profondeur. Entre la limite inférieure et 24 m de profondeur, c'est un herbier très clairsemé avec une densité normale pour la profondeur. La limite inférieure est franche et forme des échancrures dans le sable grossier coquillier (Figure 38) ; peu de rhizomes plagiotropes ont été observés. Juste au-dessous, on trouve deux tombants de matte érosifs de 50 cm de hauteur, de même qu'à 26,5 m de profondeur. De 23 à 18 m de profondeur, l'herbier est clairsemé puis devient dense à très dense vers 12 m. La densité en faisceaux devient alors sub-normale supérieure pour la profondeur. A partir de 10 m, les traces d'ancrage deviennent de plus en plus fréquentes et on constate la présence de rhizomes plagiotropes en bordure des taches de matte morte. Entre 6 et 3 m de profondeur, la zone de mouillage est récente ; les chenaux sont plus saillants et profonds. La limite supérieure de l'herbier est de type régressive, ce qui est dû en grande partie à la forte pression d'ancrage dans cette calanque (en particulier l'été), mais également au fort hydrodynamisme qui y règne.



Figure 38. Limite inférieure de l'herbier de Posidonie dans la calanque de Sormiou, vers 29 m de profondeur (extrait vidéo).



Figure 39. Ancrage sur l'herbier de Posidonie de la calanque de Morgiou.

*** L'herbier à *Posidonia oceanica* de la calanque de Morgiou**

Comme à Sormiou, l'herbier de Posidonie occupe toute la calanque, entre 4 et 28 m de profondeur. La limite inférieure est très morcelée, avec de nombreux sillons de matte morte recouverts de sable vaseux. L'herbier est très clairsemé jusqu'à 20 m de profondeur et la densité est normale pour la profondeur. De nombreux rhizomes sont arrachés et le déchaussement varie de 5 à 10 cm. Jusqu'à 12 m, l'herbier est clairsemé, avec une densité en faisceaux normale pour la profondeur ; le relief est vallonné malgré la pente régulière. A partir de 12 m, l'herbier est dense avec de nombreuses petites intermattes circulaires bordées par des rhizomes plagiotropes. Dès 10 m de profondeur, la présence de macrodéchets devient importante ; le fort hydrodynamisme est marqué par la présence de marmites d'érosion remplies de sable coquillier. Le mitage de l'herbier, sans doute dû aux ancrages, s'intensifie mais la densité en faisceaux reste normale pour la profondeur. Le long de la partie ouest de la calanque, on trouve de grandes zones successives de sable avec un relief important. La limite supérieure est érosive ; les causes en sont les mêmes que dans la calanque de Sormiou : ancrage et hydrodynamisme importants (figure 36).

6.3.3 Les peuplements du coralligène et des grottes, les paysages sous-marins

Les peuplements du coralligène constituent, en Méditerranée, des paysages sous-marins remarquables parmi les plus appréciés des plongeurs. Ces peuplements procurent nourriture et habitats pour une faune vagile variée (poissons, crustacés, mollusques, échinodermes, etc.) qui se regroupe le long de tombants rocheux par exemple.

Les sites de coralligène profond étudiés lors des plongées d'observation se situent (i) sur la face sud-ouest de l'île Maïre, (ii) sur la face sud du cap Morgiou et (iii) sur la face sud-ouest de la pointe Castel-Vieil (tableau 8). Une grotte a pu être prospectée (à Morgiou), du fait du faible nombre de plongées programmées (Tableau 12).

Un inventaire faunistique et floristique non exhaustif a été réalisé en s'attachant à :

- rechercher les espèces présentant un statut légal de protection et celles présentant également un intérêt patrimonial, bien que non protégées, ainsi que les paysages sous-marins remarquables,
- rechercher les espèces bio-indicatrices susceptibles de caractériser le milieu et l'état de vitalité des principales biocénoses (gorgonaires, éponges, grands bryozoaires).

*** Le coralligène de l'île Maïre**

La plongée sur le Coralligène de la face sud de l'île Maïre a été effectuée à l'est du site dit « la Cathédrale ». La plongée commence sur un tombant qui se prolonge jusqu'à 20 m. Au-delà, des blocs rocheux entrecoupés de sable détritique font rapidement place à un coralligène de plateau à *Halimeda tuna* qui s'étend jusque vers 30 m de profondeur. Sur les treize premiers mètres, le substrat est recouvert exclusivement de la rhodobionte invasive *Asparagopsis armata*, puis des gorgones (*Eunicella singularis* et *E. cavolini*) commencent à apparaître. Sous les surplombs sont présentes des espèces caractéristiques du coralligène, telle que la Corallinacée *Pseudolithophyllum expansum*. Le corail rouge, *Corallium rubrum*, y forme de petites colonies d'une dizaine de centimètres. La gorgone rouge *Paramuricea clavata* n'est présente qu'au bas du tombant. Sur le coralligène de plateau, seules les gorgones *E. cavolini* et *Lophogorgia ceratophyta* (une seule colonie de 20 cm de hauteur) ont été rencontrées. La grande éponge *Axinella polypoides* est également présente, mais seule une espèce de grand bryzoaire a été trouvée : *Myriapora truncata*. La présence encore

importante d'*Asparagopsis armata* à cette profondeur (30 m) a rendu difficile la localisation des forêts de Cystoseires profondes repérées lors du passage en vidéo remorquée. Dans l'ensemble, sur ce site, les communautés benthiques (corail rouge, gorgones, éponges, bryozoaires) sont en bon état (pas de nécrose, pas d'individus cassés) mais peu développées pour certaines espèces. Le peuplement de Rhodobiontes corallinacées est aussi bien développé. La richesse et l'hétérogénéité structurale du site donnent un beau paysage sous-marin.

Le coralligène du cap Morgiou

La plongée a été effectuée sur la face sud du cap Morgiou, de l'est vers l'ouest. Le relief sous-marin se présente sous la forme d'un tombant jusqu'à 40 m de profondeur, formant un plateau à mi-profondeur. De 3 à 14 m, le substrat est occupé à 90 % par la rhodobionte invasive *Asparagopsis armata* ; de 14 à 29 m, le recouvrement diminue de 40 à 10 %. Sur des arêtes rocheuses, la gorgone blanche *Eunicella singularis* parvient à se développer. Plusieurs individus nécrosés (jusqu'à 25 cm de haut) ont été observés mais des juvéniles de moins de 10 cm de haut sont également présents. Dès 25 m, le coralligène présente un faciès à *Halimeda tuna* et *Eunicella cavolini*. Sous les surplombs, le corail rouge *Corallium rubrum* est présent. Le bas du tombant est occupé par de beaux peuplements non nécrosés de la gorgone rouge *Paramuricea clavata* (jusqu'à 80 cm). On notera la présence du gorgonocéphale *Astrospartus mediterraneus*, de l'oursin melon, *Echinus melo* et de la gorgone *Lophogorgia ceratophyta*. Plus en profondeur, vers 42 m, près d'une pierre isolée couverte des gorgones *P. clavata* et *E. cavolini*, des colonies de *P. clavata* arrachées ont été trouvées. De 35 à 42 m, des bourrelets de Corallinacées sont très présents. La présence de gorgones arrachées, mais aussi de filets abandonnés, indiquent une pression de pêche professionnelle importante sur la zone ; les filets étant calés au plus près du coralligène. La présence de nombreux fils de pêche sur le fond laisse à penser que la pêche amateur est également très pratiquée sur la zone. Cette zone des Calanques est, en effet, riche en poissons, comme le montre la diversité des espèces rencontrées (loups, sars, dentis, dorades, etc.). Ce site présente des paysages sous-marins remarquables de par sa structure et sa richesse spécifique ; sa profondeur importante et sa localisation proche d'une zone interdite à la plongée (grotte Cosquer) limite sa fréquentation.

Au large de l'extrémité sud-est du cap Morgiou, une plongée a été effectuée sur une « bronde » coralligène profonde. A 52 m de profondeur, une épave de moteur recouverte d'un filet enragué et concrétionné, constitue un substrat idéal pour de nombreuses espèces fixées du coralligène dont les grands bryozoaires *Reteporella septentrionalis*, *Pentapora fascialis* et *Adeonella calveti*. Un nuage de barbières *Anthias anthias* signale sa présence. Autour, sur le détritique côtier, des rougets (*Mullus surmuletus*) et des pageots (*Pagellus acarne*) sont présents en grand nombre. Vers 60 m, de petites brondes de coralligène (coralligène de plateau) affleurent çà et là, mais sont moins riches en faune fixée que l'épave précédemment citée. Sur le fond, on observe des colonies de *Paramuricea clavata* arrachées, certainement en provenance du tombant.

Le coralligène et les fonds rocheux photophiles de la pointe Castel-Vieil

La visibilité très mauvaise a beaucoup limité les possibilités d'évaluation du site, en particulier pour les poissons. Le départ en limite de fond de roches est à 45 m de profondeur, avec de gros blocs sur une pente modérée (Figure 40). Les gorgones *Eunicella cavolini* sont abondantes, portant parfois *Acyonium coralloides*, mais pas de *Paramuricea clavata* ; le corail rouge est fréquent mais petit et quelques grosses colonies du bryzoaire *Smittina cervicornis* ont été observées. Malgré tout, les grands bryozoaires dressés semblent peu fréquents.

Au-dessus, de 40 à 35 m, des massifs de vieux concrétionnements sont couverts de *Flabellia petiolata* en peuplement dense ; quelques *Sphaerechinus granularis* et un *Echinus melo* (à 36 m, Figure 41) sont présents et une langouste de taille moyenne (environ 25 cm sans les antennes) a été observée à 34 m.



Figure 40. Coralligène de la pointe de Castel-Vieil.



Figure 41. L'oursin *Echinus melo* dans le coralligène de la pointe Castel-Vieil.



Figure 42. Corail rouge, *Corallium rubrum*, et gorgones jaunes, *Eunicella cavolini*, sur le tombant de Castel-Vieil.

Entre 30 et 32 m, le type de fond est le même, avec une couverture en *Halimeda tuna* qui devient prédominante ; des *Sphaerechinus granularis* et des spirographes sont également observés.

Une grosse roche à 32 m avec gros blocs regroupe des *Eunicella cavolini* et du corail rouge sur les rebords de roches (Figure 42) ; ils sont abondants et un peu plus grands que sur les roches plus profondes.

La gorgone rouge *Paramuricea clavata* est toujours absente. Le grand bryozoaire *Adeonella calveti* est également présent. A partir de 21-22 m, le fond est moins accidenté, la gorgone blanche *Eunicella singularis* devient relativement fréquente, avec une bonne vitalité. La Chlorobionte *Codium bursa* devient également plus fréquente ; les Rhodobiontes *Sphaerococcus coronopifolius* et *Asparagopsis armata* commencent à être aussi bien présentes. Les poissons les plus abondants sont les barbiers (*Anthias anthias*) et le sar *Diplodus vulgaris*. A 18 m, on observe un mélange des peuplements d'*E. singularis* et de *Sphaerococcus coronopifolius*, avec de nombreux oursins *Arbacia lixula*. A 16m, les Chromobiontes Dictyotales deviennent très fréquentes avec toujours des *Eunicella singularis* bien vivantes. Puis le peuplement de la Rhodobionte invasive *Asparagopsis armata* devient dominant avec une forte abondance jusqu'à la surface (parois verticales dans la zone 0-10 m ; peu d'oursins, surtout *Arbacia lixula*, Figure 43). Entre 3 et 5 m, les espèces de poissons suivantes ont été observées : *Coris julis*, *Serranus cabrilla*, *Ctenolabrus rupestris* et une murène (*Muraena helena*) dans une faille à 3 m.



Figure 43. Peuplement de macrophytes sur substrat dur à pointe Castel-Vieil

Cette plongée faite en conditions défavorables rend peu compte de l'intérêt patrimonial des paysages sous-marins coralligènes de ce site. Celui-ci présente aussi des habitats très remarquables, qui n'ont pas été parcourus au cours de cette plongée, mais qui sont connus des plongeurs du Centre d'Océanologie de Marseille. Il s'agit d'un grand surplomb situé sous la falaise (au niveau des traces noires ressortant bien sur le calcaire blanc) qui part de quelques mètres sous la surface à environ 18m et qui se prolonge dans sa partie nord par un ensemble de deux grottes obscures. Le surplomb est très richement peuplé de corail rouge associé à des bouquets de grands bryozoaires, des scléactiniaires et des éponges. Ce faciès à corail rouge est d'un très grand intérêt paysager ; il est de temps en temps exploité par les professionnels qui font des récoltes sélectives sur les colonies les plus grosses. En bordure de ce faciès à corail et sur les parois moins surplombantes, il y a de grandes *Paramuricea clavata* qui étaient établies de 18 à moins de 10 m de fond. Cependant, les gorgones les moins profondes sont mortes sans doute à la suite de la mortalité de 1999 et 2002. Ce peuplement fait l'objet d'un suivi de la part des scientifiques du COM. Les grottes obscures sont de petites dimensions, mais présentent des peuplements typiques d'organismes fixés et mobiles de cet habitat aphotique.

*** Les peuplements de la grotte de Morgiou**

La grotte de Morgiou se situe entre la calanque de Morgiou et la calanque de Sugiton. La partie supérieure de la grotte est aérienne. Le recouvrement des parois par *Parazoanthus axinellae* est maximal, surtout à l'entrée de la grotte. Le peuplement est composé d'un grand nombre d'espèces de spongiaires (Figure 44) mais de peu de Bryozoaires (à part *Reteporella septentrionalis*). La liste des espèces présentes est donnée dans l'annexe 6b. Les peuplements observés ne présentent pas les traces de dégradation que l'on peut observer dans le cas des grottes très fréquentées par les plongeurs. A la sortie de la grotte, les parois sont surpaturées par l'oursin *Arbacia lixula*.



Figure 44. L'éponge *Petrosia ficiformis* entourée de *Parazoanthus axinellae* dans la grotte de Morgiou.

6.3.4 Les espèces animales rencontrées dans les différents sites étudiés

Les observations et reconnaissances d'espèces ont été faites *in situ* lors des plongées. Elles concernent essentiellement les espèces les plus connues et facilement reconnaissables visuellement ; des erreurs peuvent donc apparaître (en particulier en ce qui concerne les spongiaires, espèces délicates à identifier *in situ*). Cette liste (Tableau 15) est toutefois représentative de la faune observable.

Tableau 15. Principales espèces observées *in situ* sur les différents sites prospectés dans le coralligène ou l'herbier de Posidonie en plongée (en gras : espèces patrimoniales).

Espèces	Embranchement	Sites d'observation	Coralligène	Herbier de Posidonie
<i>Spongia officinalis</i>	Spongiaires	Maïre, Morgiou	*	
<i>Axinella polypoides</i>		Maïre, Morgiou	*	
<i>Axinella damicornis</i>		Maïre	*	
<i>Parazoanthus axinellae</i>	Cnidaires	Maïre, Morgiou	*	
<i>Corallium rubrum</i>		Maïre, Castel Vieil, Morgiou	*	
<i>Alcyonium acaule</i>		Maïre, Morgiou, Castel Vieil	*	
<i>Parerythropodium coralloides</i>		Maïre	*	
<i>Paramuricea clavata</i>		Maïre	*	

Phase 2 : Rapport méthodologique et résultats

<i>Eunicella singularis</i>		Maïre, Castel Vieil	*	
<i>Eunicella cavolini</i>		Maïre, Morgiou, Castel Vieil, Sormiou	*	
<i>Lophogorgia ceratophyta</i>		Maïre, Morgiou	*	
<i>Spirographis spallanzani</i>	Annélides	Maïre, Castel Vieil, Sormiou, Morgiou	*	*
<i>Filograna sp.</i>		Maïre, Morgiou	*	
<i>Pteria hirundo</i>	Mollusques	Maïre	*	
<i>Spondylus gaederopus</i>		Maïre	*	
<i>Haliotis lamellosa</i>		Maïre	*	
<i>Pinna nobilis</i>		Sormiou		*
<i>Sphaerechinus granularis</i>	Echinodermes	Morgiou, Castel Vieil	*	
<i>Echinus melo</i>		Castel Vieil, Morgiou	*	
<i>Arbacia lixula</i>		Maïre, Castel Vieil	*	
<i>Paracentrotus lividus</i>		Sormiou, Morgiou		*
<i>Marthasterias glacialis</i>		Maïre	*	
<i>Astrospartus mediterraneus</i>		Morgiou	*	
<i>Echinaster sepositus</i>		Maïre, Morgiou, Sormiou	*	*
<i>Hacelia attenuata</i>		Castel Vieil	*	
<i>Holothuria forskali</i>		Maïre	*	
<i>Holothuria tubulosa</i>		Maïre, Morgiou, Sormiou	*	*
<i>Palinurus elephas</i>	Crustacés	Morgiou, Sormiou, Castel-Vieil	*	
<i>Myriapora truncata</i>	Bryozoaires	Maïre	*	
<i>Pentapora fascialis</i>		Morgiou	*	
<i>Reteporella septentrionalis</i>		Morgiou	*	
<i>Adeonella calveti</i>		Morgiou, Castel Vieil	*	
<i>Smittina cervicornis</i>		Morgiou, Castel Vieil	*	
<i>Halocynthia papillosa</i>	Tuniciers	Maïre, Morgiou	*	
<i>Phallusia mammilata</i>		Morgiou	*	
<i>Serranus cabrilla</i>	Vertébrés Poissons	Maïre, Castel Vieil, Morgiou, Sormiou	*	*
<i>Serranus scriba</i>		Morgiou, Sormiou		*
<i>Diplodus vulgaris</i>		Maïre, Morgiou, Castel Vieil	*	
<i>Diplodus sargus</i>		Maïre, Morgiou	*	
<i>Pagellus acarne</i>		Morgiou	*	
<i>Sparus aurata</i>		Morgiou	*	
<i>Dentex dentex</i>		Morgiou	*	
<i>Dicentrarchus labrax</i>		Morgiou	*	
<i>Zeus faber</i>		Morgiou	*	
<i>Mullus surmuletus</i>		Maïre, Morgiou	*	
<i>Symphodus tinca</i>		Maïre, Sormiou, Morgiou	*	*
<i>Labrus merula</i>		Maïre	*	
<i>Ctenolabrus rupestris</i>		Castel Vieil	*	
<i>Anthias anthias</i>		Maïre, Morgiou, Castel Vieil	*	
<i>Scorpaena scrofa</i>		Morgiou	*	
<i>Trigla sp.</i>		Sormiou		*

6.3.5 Les groupes morpho-fonctionnels de macrophytes

6.3.5.1 Proportion des différents groupes morpho-fonctionnels

La liste des différentes espèces de macrophytes (« algues ») constituant les groupements morpho-fonctionnels dans les différentes stations étudiées ainsi que les données brutes sont regroupées dans les annexes 6c et 6d. Les proportions des différents groupes morpho-fonctionnels présents dans chaque station ont été relevées sur le terrain (pour la strate encroûtante et la strate gazonnante (filamenteuse) et au laboratoire pour la strate dressée (Tableau 16).

- Plusieurs constatations peuvent être effectuées à la suite de ces relevés (Figure 45) : seules des algues encroûtantes et filamenteuses (en gazon, jusqu'à 5 m de profondeur) se développent à la sortie de l'émissaire.
- Prédominance à 5 m de la Rhodobionte *Ceramium ciliatum* à Marseilleveyre (Figure 45): cette espèce constitue à 5 m de profondeur un véritable tapis d'une épaisseur de plusieurs centimètres, au-dessous duquel seules quelques espèces encroûtantes peuvent survivre. L'abondance de cette espèce filamenteuse dans ce secteur caractérise un milieu perturbé. En effet, la nappe d'effluents s'échappant de l'émissaire dérive principalement du côté ouest.
- Mise en évidence d'un fort surpâturage dans le secteur de l'île Maire et à Cortiou (Figure 45) en particulier dans la zone entre 0 et 5 m de profondeur.
- Présence constante de la Rhodobionte invasive *Asparagopsis armata* (sauf à Cortiou ; Figure 45), pouvant atteindre 100 % de recouvrement, en particulier dans les cinq premiers mètres de profondeur.
- Absence totale de Cystoseires (Chromobiontes) infralittorales à 5 et 10 m de profondeur. Les seules espèces rencontrées ont été repérées en vidéo remorquée vers 35 m de profondeur.

Tableau 16. Proportions des différents groupes morpho-fonctionnels de macrophytes dans les différentes stations prospectées dans la zone des Calanques.

5 m	Groupe morpho fonctionnel	Maire	Marseilleveyre	Plane	Riou	Cortiou	Sormiou	Castel-Vieil
Terrain	Encroûtantes	100	100	100	100	100	100	100
Labo	Encroûtantes	0	0	0	0		0	1
total		100	100	100	100	100	100	101
Terrain	Filamenteuses	100	73	70	97	100	100	87
Labo	Filamenteuses	1	73	3	5		6	5
total		101	146	73	102		106	92
Terrain	Dressées	100	67	63	53	0	63	77
Labo	Articulées	5	1	47	27		30	22
	Branchues	100	0	20	22		14	27
	Cartilagineuses	0	1	3	5		0	11
	Lame mince	0	4	7	11		21	15

10 m	Groupe morpho fonctionnel	Maire	Marseilleveyre	Plane	Riou	Cortiou	Sormiou	Castel-Vieil
Terrain	Encroûtantes	100	100	100	100	100	100	100
Labo	Encroûtantes	1	0	0	0		0	4
total		101	100	100	100	100	100	104
Terrain	Filamenteuses	90	87	73	90	0	100	87
Labo	Filamenteuses	5	23	8	2		5	2
total		95	110	81	92	0	105	89
Terrain	Dressées	67	70	57	80	0	60	87
Labo	Articulées	30	3	1	10		4	5
	Branchues	29	3	30	22		8	12
	Cartilagineuses	0	5	10	10		7	45
	Lame mince	6	40	13	33		45	18

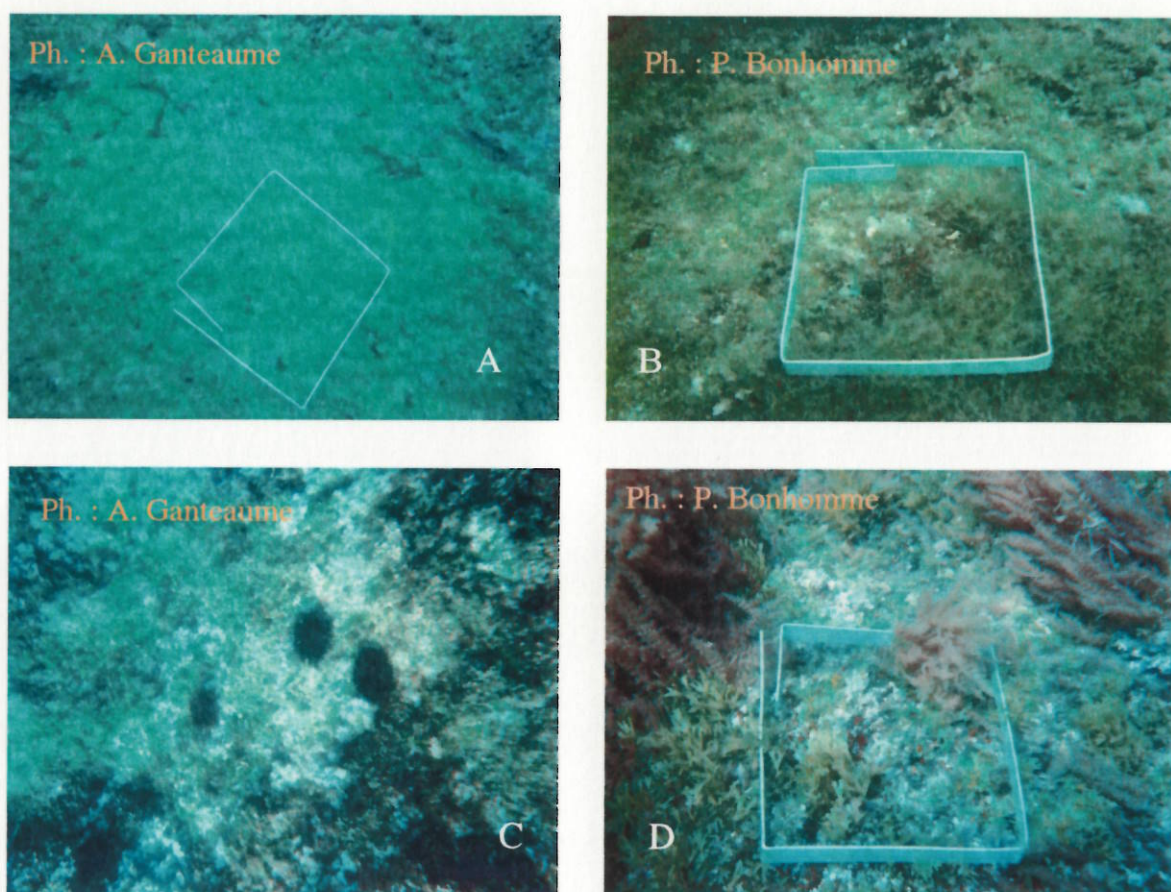


Figure 45. Relevés de macrophytes : A : à Cortiou (- 10 m) ; B : à Marseilleveyre (- 5 m) ; C : à Cortiou (- 5 m) ; D : à Riou (- 5 m).

6.3.5.2 Elaboration d'un Indice d'Etat Ecologique (EEI)

L'application du EU frame Directive for Water Policy (WFD, 2000/60/EC) oblige tous les membres de la communauté européenne à évaluer l'état écologique de leur milieu marin côtier puis d'identifier des cibles de réhabilitation. Les macrophytes benthiques marines dépendent directement des conditions environnementales biotiques ou abiotiques ; elles représentent donc des indicateurs sensibles de ces changements. L'utilisation d'un indice permettant d'estimer l'état écologique du milieu s'est avérée plus fiable en travaillant au niveau de groupes morpho-fonctionnels, basés essentiellement sur la morphologie du thalle (Feldmann, 1951 ; Chapman & Chapman, 1976 ; Russel, 1977), et non pas au niveau spécifique, plus instable et imprévisible dans le temps (Steneck & Watling, 1982 ; Steneck & Dethier, 1994). En outre, il ne nécessite pas que l'opérateur soit un spécialiste des macrophytes ; une formation rapide permet à un technicien de l'utiliser en routine. Un tel indice permettra aux gestionnaires des milieux naturels de comparer, de classer et de mettre en place des priorités de gestion du milieu, au niveau régional ou national. (Orfanidis *et al.*, 2001).

Contrairement aux indices déjà utilisés par les auteurs (Orfanidis *et al.*, 2001 ; Orfanidis *et al.*, 2003), l'indice que nous proposons (Indice GIS Posidonie) ne réunit pas les groupes morpho-fonctionnels en deux groupes d'états écologique (ESG), mais en trois : ainsi les espèces filamenteuses et en lame mince sont regroupées (ESG1), de même avec les espèces articulées et branchues (ESG2). Le groupe des espèces cartilagineuses reste isolé (ESG3) et le groupe des espèces encroûtantes n'a pas été pris en compte car toujours présent à au moins 100 % de recouvrement. Le pourcentage de recouvrement total de ces trois ESG est calculé et 4 classes d'état écologique (ESC), de 0 à 3 (sauf pour le groupe des cartilagineuses où il y a 5 classes, de 0 à 4) sont attribuées à chacun des groupes en fonction des pourcentage calculés (Tableau 17).

Tableau 17. Etablissement d'une classe d'état écologique (ESC) d'après le pourcentage de recouvrement total de chacun des ESG basés sur les groupes morpho-fonctionnels de macrophytes pour le calcul de l'indice GIS Posidonie .

% de recouvrement des espèces filamenteuses + en lame mince (ESG1)	ESC	% de recouvrement des espèces articulées + branchues (ESG2)	ESC	% de recouvrement des espèces cartilagineuses (ESG3)	ESC
0 - 20 %	3	0 - 10 %	0	0 - 4 %	0
21 - 40 %	2	11 - 30 %	1	5 - 9 %	1
41 - 60 %	1	31 - 45 %	2	10 - 20 %	2
> 60 %	0	46 - 60 %	3	21 - 40 %	3
		> 60 %	4	> 40 %	4

Pour chaque station de prélèvement, le somme des ESC est calculée et permet d'établir un indice d'état écologique (EEI) pour chacune d'elle (Tableau 18). Cinq qualités de milieu, de 1 à 5 (mauvais, bas, modéré, bon, élevé), sont ainsi établies. Si la strate dressée est absente, ou inférieure à 10 % dans le relevé, l'EEI est alors considéré comme mauvais.

Tableau 18. Evaluation de l'état du milieu grâce à l'établissement d'un indice d'état écologique GIS Posidonie (EEI) calculé d'après la somme des classes d'état écologique (ESC) dans chaque station

Somme des ESC	EEI GIS Posidonie	Etat du milieu
0 - 2	1	Mauvais
3 - 4	2	Bas
5 - 6	3	Modéré
7 - 8	4	Bon
9 - 10	5	Elevé

Le calcul de cet indice de qualité du milieu a été effectué pour chacune des stations réparties sur l'ensemble du secteur des Calanques et de l'archipel de Riou (cf. rapport méthodologique). Dans un premier temps, le pourcentage de recouvrement total de chaque groupe morpho-fonctionnel et la classe d'état écologique (ESC) de chaque station ont été calculés (Tableau 19).

Tableau 19. Calcul de l'indice de qualité écologique GIS Posidonie (EEI) de chaque station étudiée dans les Calanques et l'archipel de Riou (F : filamenteuse, L : lame mince, A : articulée, B : branchue, C : cartilagineuse, - : absent du prélèvement, ESC : classe d'état écologique)

	% F + L ESG1	ESC	% A + B ESG2	ESC	% C ESG3	ESC	∑ ESC	EEI GIS Posidonie	Etat du milieu
<i>profondeur 5 m</i>									
Cortiou	-	0	-	0	-	0	0	1	mauvais
Marseilleveyre	77	0	1	0	1	0	0	1	mauvais
Sormiou	27	2	44	2	0	0	4	2	bas
Plane	10	3	67	2	3	0	5	3	modéré
Maïre	1	3	105	2	0	0	5	3	modéré
Riou	16	3	49	3	5	1	7	4	bon
Castel-Vieil	20	3	49	3	11	2	8	4	bon
<i>profondeur 10 m</i>									
Cortiou	-	0	-	0	-	0	0	1	mauvais
Marseilleveyre	63	0	73	2	5	1	3	2	bas
Sormiou	50	1	12	1	7	1	3	2	bas
Plane	21	2	31	2	10	2	6	3	modéré
Maïre	11	3	59	3	0	0	6	3	modéré
Riou	35	2	32	2	10	2	6	3	modéré
Castel-Vieil	20	3	17	1	45	4	8	4	bon

Entre 5 et 10 m de profondeur, la station de Marseilleveyre passe d'un état de qualité du milieu **mauvais** à **bas** ; le panache d'eau douce polluée provenant du rejet de Cortiou englobant cette station reste, en effet, en surface (dans les cinq premiers mètres environ), sa densité étant moins importante que celle de l'eau salée. Au-delà, la qualité du milieu s'améliore légèrement. La station de Riou (considérée comme station de référence) passe, entre 5 et 10 m de profondeur, d'un état de qualité du milieu **bon** à **modéré** ; l'influence du

rejet de Cortiou devant encore se faire ressentir en profondeur au niveau de cette station. La station de Castel-Vieil est la station de référence, ne subissant plus aucune influence de l'émissaire (état de qualité du milieu **bon** quelle que soit la profondeur). Entre l'origine de la perturbation (station de Cortiou) et les stations de référence, un gradient dans la qualité du milieu s'installe. Il faut noter, qu'aucune des stations étudiées ne présente un état de qualité du milieu considéré comme élevé (EEI = 5) ; en effet, on ne retrouve cet état que dans des milieux infralittoraux présentant un recouvrement maximal en espèces cartilagineuses (comme c'est le cas lorsqu'on est en présence de « forêts » de Cystoseires).

Quoi qu'il en soit, l'indice EEI-GIS Posidonie qui est proposé ici est encore expérimental : il devra être testé et sans doute modifié en prenant en compte d'autres saisons et une plus large gamme de stations.

6.4 Produits rendus

Les produits issus de cette voie d'acquisition sont

- Paramètres de vitalité de l'herbier (annexe 6a)
- Liste des invertébrés présents dans la grotte de Morgiou (annexe 6b)
- Liste des genres de macrophytes en fonction des groupes morpho-fonctionnels
- Couches SIG :
 - localisation des stations d'étude (Herbier, Macrophyte, Coralligène)
 - stations d'étude gorgones
 - espèces remarquables
 - paysages remarquables
- Photos : Site de Castel-Viel, prélèvements algues, photos numériques extrait de vidéo réalisée à Morgiou et Sormiou
- Vidéo réalisée à Sormiou et Morgiou.

6.5 Conclusion

Les interventions en plongée ont permis d'une part de valider certaines données issues du traitement des sonogrammes et des photos aériennes non-validés par les autres voies d'acquisition, ou encore de combler des lacunes sur certaines zones non renseignées, notamment en précisant le contour de plusieurs portions de limites inférieures de l'herbier de Posidonie. D'autre part elles ont permis d'acquérir des données pour l'évaluation de la qualité des biocénoses, en particulier sur l'herbier de Posidonie, les fonds coralligènes et à algues photophiles. L'échantillonnage a été établi en se basant à la fois sur l'état des connaissances du milieu et sur l'effort pouvant être consenti.

L'étude des paramètres de vitalité des herbiers de Posidonie a montré qu'il existait des différences notables au sein des calanques. La limite inférieure de l'herbier diminue d'ouest en est, elle se situe vers 22 m de profondeur à l'ouest du Cap croisette, atteint 28 et 29 m dans les calanques de Morgiou et Sormiou et parvient à 32 m de profondeur au large des côtes du Bestouan. L'herbier montre des signes de régression au niveau des limites inférieures, situées au large du littoral compris entre la Madrague de Montredon et les Goudes, de part et d'autre du plateau des Chèvres au niveau des zones les plus profondes et au niveau de la passe de Riou-Plane. Dans les calanques, l'herbier présente un bon état de vitalité, sauf dans les secteurs soumis à une forte pression de mouillage et au chalutage. Dans les deux sites étudiés de Sormiou et Morgiou, la forte pression de mouillage induit une régression et un mitage de l'herbier en fond de calanque, souvent amplifiée par les effets synergiques de

l'hydrodynamisme. Cette situation s'applique également aux calanques d'En Vau, Port Pin et dans l'avant port de Port Miou, où les étendues de matte morte sont largement représentées.

Les investigations conduites au sud de l'île Maïre, au Cap Morgiou et à Castel-Viel, ont permis de mettre en évidence la présence de zones coralligènes riches, où gorgones, éponges, bryozoaires et corail rouge, constituent les éléments marquants du paysage sous-marins. La gorgone *Paramuricea clavata* est toutefois observée morte sur le site de Castel-Viel, entre 10 et 18 m de profondeur, suite aux épisodes de mortalité. Les espèces de grands bryozoaires dressés restent dans l'ensemble assez peu représentées. Des branches de *Paramuricea clavata* jonchent le bas des tombants du cap Morgiou, ce qui est sans doute à relier avec la présence de filets de pêche enragués ou à l'impact des ancres de bateau. Les sites prospectés peuvent être considérés comme des sites riches, offrant une bonne vitalité d'ensemble et ne présentant pas les signes manifestes d'une très forte fréquentation.

Les peuplements algaux ont été étudiés, dans sept stations couvrant l'ensemble de la zone des calanques, à 5 et 10 m de profondeur. L'étude des prélèvements réalisés a conduit à classifier les principales espèces de macrophytes, en fonction du degré de stratification observé et de leur appartenance à un groupe morpho-fonctionnel. Un indice à 5 classes de qualité du milieu a été établi pour chaque station, cet indice reste toutefois expérimental et devra encore être testé. Les peuplements apparaissent fortement perturbés dans le secteur de Cortiou-Marseilleveyre, l'indice est mauvais à bas. Il devient modéré au niveau de Plane et Maïre. A Riou il est modéré à bon selon la profondeur, et devient bon à Castel-Viel, cette station pouvant être considérée comme station de référence pour la zone des calanques. On ne trouve en aucun cas un indice élevé, qui indiquerait un recouvrement maximal en espèces cartilagineuses comme cela est le cas lorsque l'on est en présence dans les milieux infralittoraux de « forêts » de *Cystoseires*.

7 La campagne d'étude des peuplements algaux du médiolittoral et de la frange supérieure de l'infralittoral

7.1 Introduction

Les caractéristiques des masses d'eaux influent sur la distribution des peuplements, sur leur composition spécifique et sur la dominance de certaines espèces. Dans la zone de battement des vagues se trouvent des ceintures étroites de macrophytes et d'invertébrés dont la répartition est limitée à ce niveau marin (Figure 46). Leur présence dans ce milieu, hostile pour les organismes, est conditionnée par une grande résistance à l'hydrodynamisme, ainsi qu'une bonne adaptation aux très fortes variations de températures et d'humectation et, pour certaines d'entre elles, de salinité. La zone de sub-surface, et donc les peuplements qui s'y trouvent, sont particulièrement exposés aux pollutions de surface, comme les rejets d'émissaires urbains ou les pollutions pétrolières (Arnoux et Bellan-Santini, 1972 ; Belsher, 1974, 1979). L'étude de leur répartition géographique, ainsi que leur suivi dans le temps, peut permettre de caractériser la qualité du milieu littoral (Bellan-Santini, 1966) ; on parle alors d'indicateurs biologiques et plus particulièrement d'espèces sentinelles (Pergent, 1991 ; Bellan, 1993 ; Boudouresque, 1995, 1996).

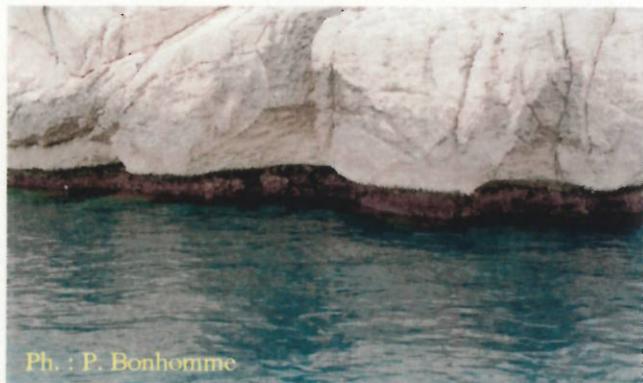


Figure 46. Ceintures de macrophytes du médiolittoral inférieur et de l'infralittoral supérieur.

Le présent travail vise à poursuivre l'étude cartographique réalisée en 2000 (Soltan, 2001) sur l'archipel de Riou et la zone continentale du Cap Croisette au Bec de Sormiou (Figure 47). Le littoral cartographié dans le cadre de la présente étude, s'étend de la Madrague de Montredon au cap Croisette et du Bec de Sormiou à Cassis.

Phase 2 : Rapport méthodologique et résultats

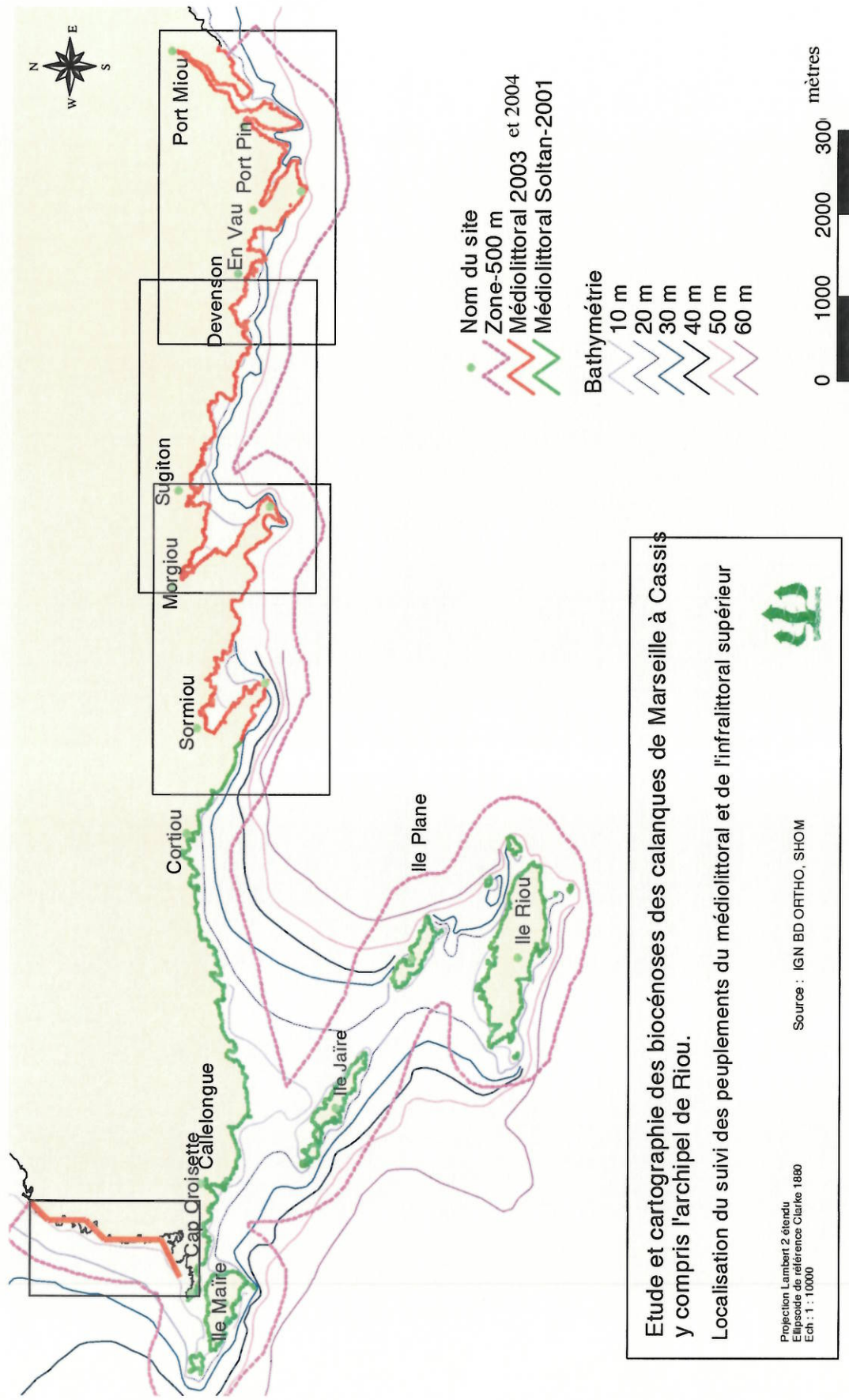


Figure 47. Plan d'échantillonnage des relevés des peuplements de macrophytes du médiolittoral inférieur et de l'infralittoral supérieur dans les calanques de Marseille-Cassis.

7.2 Matériel et méthodes

7.2.1 Les peuplements algaux sélectionnés



Parmi les espèces remarquables de ces peuplements, *Lithophyllum byssoides* est une Rhodobionte calcaire encroûtante qui ne se développe que dans un intervalle bathymétrique très restreint, sur les substrats durs du sous-étage inférieur du médiolittoral et affectionne particulièrement les modes battus (Molinier, 1960, Pérès et Picard, 1964). Cette Rhodobionte peut constituer, dans des conditions de substrat et d'éclairement particulier, des encorbellements (bourelets en surplomb formés par la coalescence des thalles). Les encorbellements de grande taille sont appelés « trottoir » (Figure 48). Par leur rareté et leur vulnérabilité face aux agressions de surface, ils constituent des constructions d'importance patrimoniale.

Figure 48. Trottoir à *Lithophyllum byssoides*, face sud de l'île Maire.

Cystoseira amentacea var. *stricta* est une Chromobionte de couleur brun-vert à brun-rouge, constituée d'un ou plusieurs troncs, portant de nombreuses ramifications (Figure 49). Les plus grandes des *Cystoseires* méditerranéennes peuvent dépasser 1 m de hauteur ; elles constituent, du fait de leur grande taille, des habitats remarquables en terme de biodiversité et de productivité (de nombreux invertébrés trouvent abri entre les feuilles). Par ailleurs, leurs caractéristiques biologiques (par exemple grande longévité) en font des espèces très vulnérables, incapables de supporter de trop fortes perturbations du milieu. Elles sont sensibles à la pollution et à la turbidité des eaux, ainsi qu'au surpâturage, comme en témoigne leur régression dans toute la Méditerranée (Boudouresque *et al.*, 1990 ; Verlaque, 1990).



Figure 49. *Cystoseira amentacea* var. *stricta* (Chromobionte).

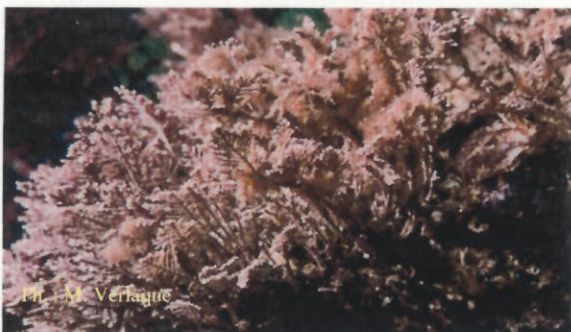


Figure 50. *Corallina elongata* (Rhodobionte).

L'exubérance des peuplements à *Corallina elongata* (Rhodobionte calcifiée articulée) peut témoigner d'une eau polluée. En effet, en cas de pollution, sur les portions de côte rocheuse, les espèces les plus caractéristiques de la biocénose sont éliminées (les Cystoseires en particulier, car leur tolérance vis à vis des conditions de milieu sont très strictes). Les espèces à larges potentialités écologiques comme les corallines (ou les moules) colonisent alors la surface laissée libre. Toutefois des peuplements abondants de corallines peuvent également être présents dans des zones exemptes de pollution (Figure 50) ; *Corallina elongata* constitue par exemple des peuplements denses dans des stations où l'hydrodynamisme (très fort) ou l'éclairement (très faible) élimine également ses concurrents.

Les Ulves (*Ulva* spp.) et les Entéromorphes (*Enteromorpha* spp.) sont des Chlorobiontes aimant les eaux dessalées et/ou enrichies en matière organique : elles sont donc souvent indicatrices de pollution, directement (matière organique) ou indirectement (dessalure consécutive aux émissaires) et se développent à proximité des émissaires urbains.

7.2.2 Méthode d'évaluation quantitative des peuplements

Les secteurs de côte entre Saména et Croisette et entre le Bec de Sormiou et Cassis ont été divisés en sous-entités de 50 m linéaires, longueur de tronçon retenue par Bianconi *et al.* (1987), sur la base des photos aériennes de la BD-Ortho98 de l'IGN. Au total 42.4 km de côte ont été suivis entre le Bec de Sormiou et Cassis au mois de septembre 2003, puis entre la Madrague de Montredon et le cap Croisette en mai 2004, représentant au final 849 secteurs de 50 m de longueur. Les relevés ont été réalisés à partir d'un bateau pneumatique semi-rigide de 5 m de longueur, permettant de suivre le linéaire côtier de très près.

Pour chacune des entités définies, l'évaluation quantitative des espèces et groupes d'espèces retenus a été effectuée d'après les critères suivants :

- Les trois types morphologiques de développement caractéristiques de *Lithophyllum byssoides* (Bianconi *et al.*, 1987) ont été considérés : (i) type I : thalles isolés, (ii) type II : thalles voisins localement coalescents (sans former de surplomb), (iii) type III : la coalescence des thalles et leur mode de croissance détermine la formation d'un surplomb dont la profondeur est supérieure à 5 cm (encorbellement).
- L'évaluation quantitative des peuplements à *Cystoseira amentacea stricta*, *Corallina elongata*, *Lithophyllum byssoides* (pour chacun des 3 types), *Ulva* spp., *Enteromorpha* spp. a été déterminée visuellement pour chaque unité de 50 m : cinq classes d'abondance ont été retenues en fonction du recouvrement occupé sur le linéaire côtier (Tableau 20).

Tableau 20. Classes d'abondance et recouvrement du linéaire côtier (en mètres et en pourcentage), utilisés pour l'évaluation quantitative des espèces et groupes d'espèces retenus.

Classe	Linéaire couvert sur secteur de 50 m
1	0 à 2,5 m (0 à 5 %)
2	2,5 à 10 m (5 à 20 %)
3	10 à 25 m (20 à 50 %)
4	25 à 45 m (50 à 90 %)
5	45 à 50 m (90 à 100 %)

7.3 Résultats

L'abondance de chaque espèce a été évaluée par entité linéaire de 50 m, l'ensemble des résultats portant sur les valeurs des codes d'abondance de chaque espèce étudiée est rassemblé dans un tableau de données en annexe 7a. Les cartes de répartition des espèces et groupes d'espèces retenus, ont été élaborées sur SIG au 1/10 000^{ème}. La zone de Saména à Croisette est représentée par une carte au format A3, la zone de Sormiou à Cassis comporte 3 cartes au format A3. Les cartes sont réunies en annexe 7b dans un atlas cartographique comprenant une carte de localisation des vues cartographiques, une carte de localisation des secteurs et les cartes de répartition des espèces ou groupes d'espèces selon leur code d'abondance, soit 29 cartes en tout.

La répartition de chaque espèce ou groupe d'espèces d'algues a été analysée, dans les secteurs étudiés, en fonction des différents codes d'abondance considérés. Les résultats sont présentés, pour le secteur de la Madrague de Montredon au Cap Croisette et de Sormiou à Cassis, respectivement dans le Tableau 21 et le Tableau 22.

Tableau 21. Répartition des codes d'abondance (nombre et pourcentage) pour chaque espèces ou groupe d'espèces étudiés (*Corallina elongata*, *Lithophyllum byssoides* (type I, II et III), *Rissoella verruculosa*, *Cystoseira stricta* var. *amentacea*, et les genres *Ulva* et *Enteromorpha*), le long du littoral entre la Madrague de Montredon et le Cap Croisette.

Codes d'abondance		0	1	2	3	4	5	Somme 1 à 5	Total
<i>Lithophyllum byssoides</i> thalles isolés	Nb	39	19	25	48	33	1	126	165
	%	23,6%	11,5%	15,2%	29,1%	20,0%	0,6%	76,4%	100%
<i>Lithophyllum byssoides</i> thalles coalescents	Nb	134	3	16	7	5	0	31	165
	%	81,2%	1,8%	9,7%	4,2%	3,0%	0,0%	18,7%	100%
<i>Lithophyllum byssoides</i> encorbellements	Nb	141	17	2	5	0	0	24	165
	%	85,5%	10,3%	1,2%	3,0%	0,0%	0,0%	14,5%	100%
<i>Corallina elongata</i>	Nb	25	2	3	7	30	98	140	165
	%	15,2%	1,2%	1,8%	4,2%	18,2%	59,4%	84,8%	100%
<i>Rissoella verruculosa</i>	Nb	165	0	0	0	0	0	0	165
	%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100%
<i>Cystoseira stricta</i> var. <i>amentacea</i>	Nb	84	57	15	7	2	0	81	165
	%	50,9%	34,5%	9,1%	4,2%	1,2%	0,0%	49,0%	100%
<i>Ulva</i> et <i>Enteromorpha</i>	Nb	111	37	10	4	1	2	54	165
	%	67,3%	22,4%	6,1%	2,4%	0,6%	1,2%	32,7%	100%

Tableau 22. Répartition des codes d'abondance (nombre et pourcentage) pour chaque espèces ou groupe d'espèces étudiés (*Corallina elongata*, *Lithophyllum byssoides* (type I, II et III), *Rissoella verruculosa*, *Cystoseira stricta* var. *amentacea*, et les genres *Ulva* et *Enteromorpha*), le long du littoral entre le Bec de Sormiou et Cassis.

Codes d'abondance		0	1	2	3	4	5	Somme 1à5	Total
<i>Lithophyllum byssoides</i> thalles isolés	Nb	177	59	183	127	135	3	507	684
	%	26,7%	8,8%	26,6%	18,7%	18,8%	0,4%	73,3%	100%
<i>Lithophyllum byssoides</i> thalles coalescents	Nb	243	58	129	165	85	4	441	684
	%	35,6%	8,6%	18,7%	24,1%	12,4%	0,6%	64,4%	100%
<i>Lithophyllum byssoides</i> encorbellements	Nb	390	119	100	49	17	9	294	684
	%	57,1%	17,4%	14,6%	7,2%	2,5%	1,3%	43,0%	100%
<i>Corallina elongata</i>	Nb	79	7	16	41	80	461	605	684
	%	12,3%	1,0%	2,3%	6,0%	11,5%	66,9%	87,7%	100%
<i>Rissoella verruculosa</i>	Nb	683	1	0	0	0	0	1	684
	%	99,9	0,0					0,0%	100%
<i>Cystoseira stricta</i> var. <i>amentacea</i>	Nb	431	113	74	46	19	1	253	684
	%	62,9%	16,5%	10,8%	6,7%	2,9%	0,1%	37,0%	100%
<i>Ulva</i> et <i>Enteromorpha</i>	Nb	468	107	60	23	20	6	216	684
	%	68,5%	15,6%	8,8%	3,4%	2,9%	0,9%	31,6%	100%

Les traits dominants de la répartition des espèces inventoriées sont les suivants :

Lithophyllum byssoides

La présence de *L. byssoides* a été observée sous forme de thalles isolés dans 633 secteurs sur les 849 examinés, on ne note pas de différence significative entre les deux secteurs (73 % et 76 %). Cette espèce est, parmi les espèces cartographiées, la seconde espèce la plus abondante dans les calanques après la coralline. Les placages ou thalles coalescents sont beaucoup plus abondants le long du littoral de Sormiou à Cassis, ils sont présents sur 64,4% des secteurs contre seulement 18,7 % entre le Cap Croisette et la Madrague de Montredon. Les encorbellements sont également plus abondants dans les calanques, ils sont respectivement présents dans 43 % et 14,5 % des secteurs. Les encorbellements sont extrêmement réduits entre la Madrague de Montredon et le Cap Croisette, ils dépassent 10 m de longueur uniquement au niveau de 5 secteurs (code d'abondance égale à 3), leur largeur est souvent réduite, inférieure à 20 cm. Le contexte général de la rade sud de Marseille semble moins favorable au développement de *L. byssoides*. Dans les calanques, le développement de *L. byssoides* devient notable à partir du bec de Sormiou. Les encorbellements sont présents dans quasiment la moitié des secteurs, le linéaire couvert représente toutefois moins de 20 % d'un secteur. On observe cependant 25 secteurs, où le recouvrement est compris entre 50 et 100%, soit 25 à 50 m de longueur. Ces encorbellements les plus développés (longueur et largeur) se rencontrent, dans la zone étudiée, essentiellement au niveau de la calanque d'En Vau et de Port Pin, deux calanques particulièrement bien exposées aux houles et aux vagues (Figure 51). Les encorbellements que l'on peut observer dans ces deux calanques restent toutefois nettement moins remarquables par leur développement que ceux présents dans la calanque des Contrebandiers à Riou, où ceux-ci atteignent plus d'un mètre de largeur. Il est par contre difficile de définir l'état de vitalité des thalles de *L. byssoides*, une partie des placages ou encorbellements apparaissent morts. Seule une étude de suivi spécifique, permettrait de définir leur leur état de vitalité et leur dynamisme.

Corallina elongata

C'est l'espèce la plus représentée quelque soit le secteur considéré. Elle se développe dans 745 secteurs (87.8 % en moyenne pour les deux secteurs étudiés), le code d'abondance le plus élevé, égal à 5, est le plus exprimé (65 %). On ne note pas de différence significative entre les deux secteurs. Les Corallines sont en fait présentes partout, sauf dans les zones peu agitées comme les fonds de calanque et les ports : Sormiou, Morgiou, En Vau, Port-Pin, port de Sormiou, port de Morgiou, port de Port Miou, ou lorsque le substrat est mobile et ne permet pas leur développement, notamment au niveau des petites plages (Figure 52).

Rissoella verruculosa

Cette algue est totalement absente du massif des calanques sauf au niveau d'un secteur le long des falaises du Vaisseau. Son absence n'est pas surprenante dans le massif calcaire des calanques étant donné que cette algue est calcifuge.

Cystoseira amantacea var. *stricta*

Cette algue brune se développe dans la partie superficielle de l'étage infralittoral, sur des substrats rocheux à faible pente et dans des sites bien éclairés, soumis à un fort hydrodynamisme. Elle a été trouvée dans 81 secteurs (49 % des secteurs) entre la Madrague de Montredon et le Cap Croisette et dans 253 secteurs (37 % des secteurs) entre le Bec de Sormiou et Cassis. Les Cystoseires sont rapidement présentes après Cortiou (dès les falaises de la pointe du Vaisseau où ont commencé les relevés), mais les falaises accores, relief principal de la zone des Calanques, limitent leur extension (Figure 53). Elles ne sont généralement observées qu'en faible proportion (code d'abondance égale à 1 ou 2). Les secteurs où elles sont le mieux représentées se situent sur la face nord de la calanque de Sormiou jusqu'au bec de Sormiou, la calanque de Sugiton, les Pierres Tombées, les calanques de l'œil de Verre et du Dévenson et à l'est de l'entrée de la calanque de Port Miou. Les cystoseires sont dans l'ensemble mieux représentées entre la Madrague de Montredon et le Cap Croisette (49 %) que dans les calanques, les densités sont par contre plus faibles et on n'observe pas le développement de faciès très étendus, alors que cette partie du littoral présente un relief beaucoup plus atténué. Le contexte général de la rade sud semble, comme pour le *Lithophyllum*, moins favorable à leur développement. Bien que cette espèce soit considérée comme un indicateur incapable de supporter de trop fortes perturbations du milieu, il est difficile, en dehors de la zone du Prado, de Cortiou et des zones portuaires ou de fonds de calanque peu agités, de mettre en évidence une réelle tendance de sa répartition, sans pouvoir analyser la part prépondérante que jouent la morphologie du substrat et l'agitation du milieu.

Ulves et Entéromorphes

Ces groupes d'espèces constituent les espèces les moins représentées dans les deux secteurs cartographiés. Ils sont présents dans 32.7 % des secteurs entre la Madrague de Montredon et le Cap Croisette et dans 31.6 % entre le Bec de Sormiou et Cassis. Leur abondance est globalement faible, on note respectivement dans les deux zones étudiées, 3 et 26 secteurs où leur développement dépasse 50 % du linéaire couvert. Les Ulves et Entéromorphes n'indiquent pas d'influence de l'émissaire de Cortiou (absence de ces espèces dans la zone échantillonnée la plus proche de l'émissaire) mais elles indiquent souvent des résurgences d'eau douce, fréquentes dans les Calanques ou des apports d'eau douce dans des lieux très fréquentés par les usagers (lieux de mouillage forain, plages, etc, Figure 54). Les plus fortes abondances sont observées dans le port des Goudes, le nord de la calanque de Morgiou (à l'extérieur du port), l'est de la calanque de Sugiton et des Pierres Tombées, les falaises du Dévenson, et les quais du port de Port-Miou au niveau de la Capitainerie.

En conclusion, la répartition et l'abondance des algues étudiées laisse apparaître que la zone des calanques constitue un territoire bien conservé où *L. byssoïdes* est bien développé, et constitue de beaux encombres à En Vau et Port Miou. Le contexte général de rade sud du Prado, semble par contre moins favorable au développement de *L. byssoïdes*. Le développement irrégulier de *C. amanatacea* var. *stricta* le long du littoral reste difficile à interpréter, on note toutefois qu'elle est présente à moins de 1000 m à l'est de l'émissaire de Cortiou et que les peuplements qu'elle constitue sont moins denses dans la rade sud du Prado, même s'ils sont plus fréquents. La zone littorale entre le cap Croisette à la Madrague de Montredon, montre toutefois des signes d'amélioration de la qualité du milieu marin, avec notamment la réapparition de *C. amanatacea* var. *stricta* au cap Croisette, après la fin des années 90 (Boudouresque C.F. comm. pers.).

L'interprétation des cartes de répartition de l'abondance de ces espèces reste délicat, en l'absence de données précises sur la courantologie, l'hydrodynamisme, la nature et la verticalité du substrat, l'exposition au ressac et la luminosité. En effet, seuls une paramétrisation et un inventaire de ces facteurs, secteur par secteur, pourraient permettre des analyses plus poussées.

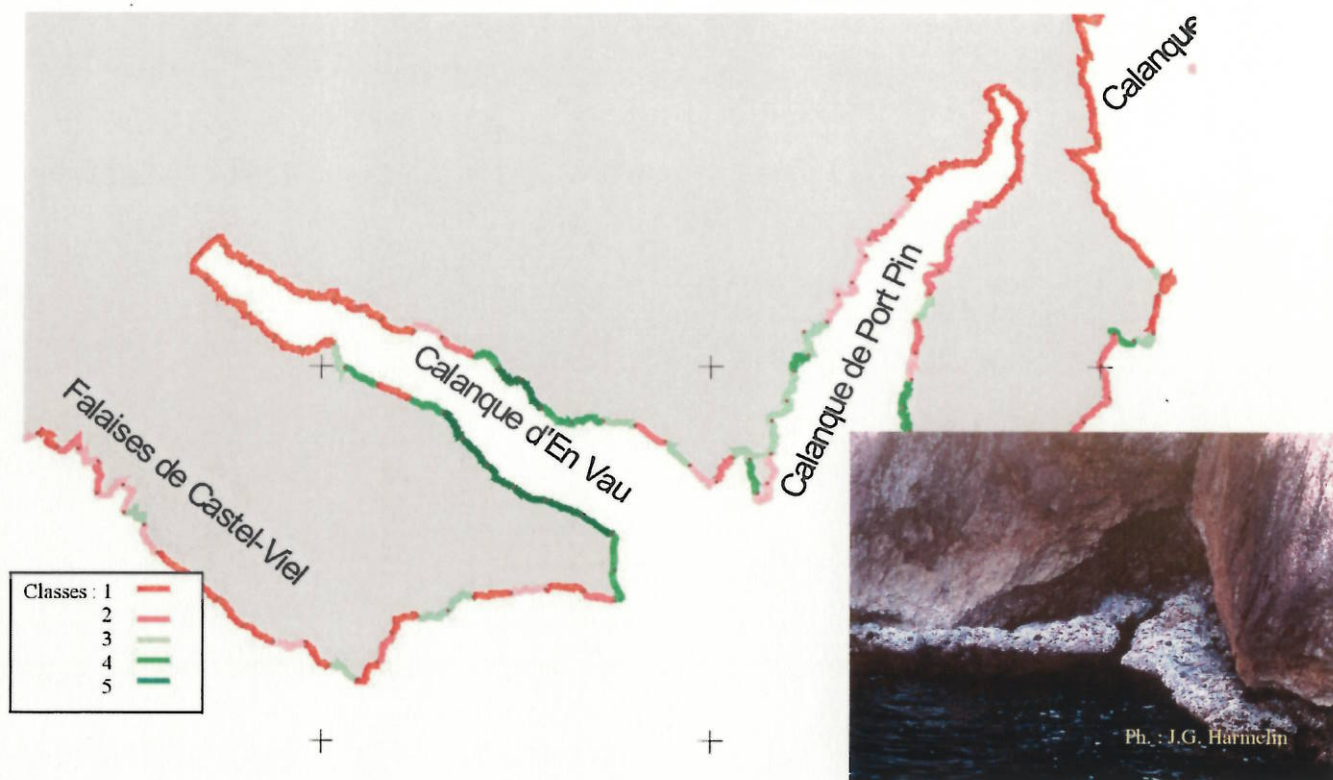


Figure 51. Exemple de répartition de *Lithophyllum byssoides* (encorbellement) dans le médiolittoral de la zone d'En-Vau et Port-Pin.

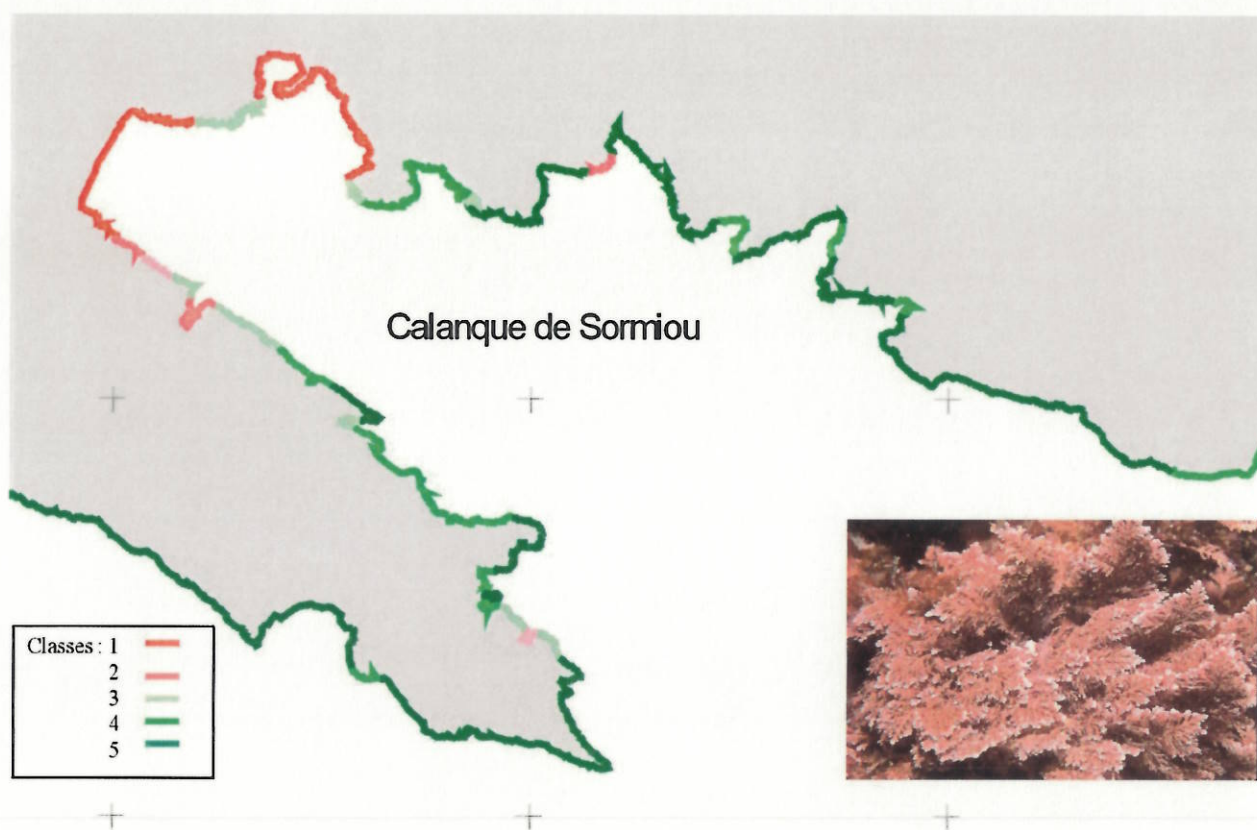


Figure 52. Exemple de répartition de *Corallina elongata* dans l'infralittoral superficiel de la zone de Sormiou.



Figure 53. Exemple de répartition de *Cystoseira amentacea* var. *stricta* dans l'infralittoral superficiel de la zone de Sormiou.



Figure 54. Exemple de répartition d'*Ulva* sp. Et d'*Enteromorpha* sp. dans l'infralittoral superficiel de la zone de Sugiton.

7.4 Comparaison avec les données antérieures

Seule la tendance évolutive des peuplements à *Cystoseira amentacea* var. *stricta* a pu être évaluée, et seulement sur l'archipel de Riou et sur la portion de côte du cap Croisette au Bec de Sormiou ; en effet, les données de Bellan-Santini (1966) permettent la réalisation d'une comparaison sur ce peuplement depuis une quarantaine d'années. La progression de cette espèce s'effectue lentement de part et d'autre du rejet de Cortiou depuis la mise en service de la station d'épuration. La recolonisation a été beaucoup plus importante à l'ouest qu'à l'est de Cortiou, puisque dans les années 1990s, la portion de côte comprise entre la calanque de la Mounine et l'est de la calanque de Callelongue présentait des peuplements à *C. amentacea* var. *stricta* pouvant être abondants alors qu'ils étaient absents dans les années 1960s. Pour les autres espèces (*Lithophyllum byssoides*, *Corallina elongata*, *Ulva/Enteromorpha*), et, concernant *C. amentacea*, pour les portions de côte comprises entre le port de la Pointe Rouge et le cap Croisette et entre le Bec de Sormiou et Cassis, il n'existe aucune donnée antérieure aux travaux de Soltan (2001) et aux relevés effectués dans le cadre de cette étude.

7.5 Produits rendus

Les produits issus de cette voie d'acquisition sont :

- Le découpage de la côte en secteur de 50 m linéaire entre la Madrague de Montredon et le Cap Croisette et entre Le Bec de Sormiou et Cassis (couche SIG),
- La couche SIG de répartition des espèces ou groupes d'espèces selon leur code d'abondance, accompagnée des fichiers de légende,
- Un atlas cartographique comprenant une carte de localisation des vues cartographiques, une carte de localisation des secteurs et les cartes de répartition des espèces ou groupes d'espèces selon leur code d'abondance : 29 cartes, fourni en annexe 7b.

7.6 Conclusion

Les cartographies linéaires des peuplements du médiolittoral et de la frange supérieure de l'infralittoral sont relativement rares en Méditerranée française. La méthodologie utilisée, basée sur les différentes techniques appliquées pour ce type de cartographie dans la littérature, n'est pas encore standardisée.

Une première étude de cartographie des peuplements de *Cystoseira amentacea* var. *stricta* a été menée en 2000 (Soltan, 2001) au niveau de l'Archipel de Riou et de la côte continentale. La cartographie des peuplements algaux du médiolittoral et de la frange supérieure de l'infralittoral a été poursuivie, dans le cas de la présente étude, de la Madrague de Montredon au cap Croisette et entre le bec de Sormiou et Cassis. Elle a porté sur l'abondance de cinq espèces ou groupes d'espèces facilement identifiables depuis une embarcation, à savoir : *Corallina elongata*, *Lithophyllum byssoides*, *Rissoella verruculosa*, *Cystoseira stricta* var. *amentacea*, et les genres *Ulva* et *Enteromorpha*. Au total 42.4 km de côte ont été suivis entre Sormiou et Cassis et la Madrague de Montredon et le Cap Croisette, représentant au final 849 secteurs de 50 m de longueur. *Lithophyllum byssoides* est essentiellement présent sous forme de boules isolées et de placages dans la rade sud et à partir de Sormiou, les encorbellements sont bien développés à En Vau où ils atteignent leur maximum de développement. Les Cystoseires sont observées majoritairement en faible proportion, le relief abrupt des falaises semble limiter leur extension. La comparaison avec les cartes de 1966, laisse apparaître que la recolonisation le long du littoral a été plus importante à l'ouest de Cortiou qu'à l'est, où l'on observe quasiment pas de progression. La cartographie plus

approfondie, menée dans le cadre de cette étude, mériterait dans un futur proche, d'être étendue à la zone de l'archipel de Riou.

Cette cartographie des peuplements du médiolittoral et de la frange supérieure de l'infralittoral constitue un état des lieux précis d'un ensemble d'espèces, ayant des exigences différentes pour ce qui concerne l'hydrodynamisme ou la lumière. Les espèces inventoriées étant particulièrement exposées aux polluants flottants (hydrocarbures, détergents), cet inventaire permettra d'évaluer toute éventuelle atteinte à ces populations et contribuera à déterminer les causes, anthropiques ou naturelles, des fluctuations.

8 Enquêtes auprès des plongeurs

8.1 Introduction

Des enquêtes ont été menées auprès des plongeurs fréquentant le secteur des Calanques. Il s'agissait de récolter des informations sur la présence et la répartition de certaines espèces, sur l'état actuel du milieu et l'évolution dans le temps de ces espèces et des peuplements en place.

8.2 Matériel et méthodes

Pour ce faire, un questionnaire a été réalisé et distribué aux plongeurs de loisir ayant un recul important sur la zone et à des plongeurs scientifiques travaillant depuis des dizaines d'années dans le secteur des Calanques et de l'archipel de Riou (Annexe 8a). Les espèces retenues dans les questionnaires d'enquête ont été regroupées en plusieurs catégories : les espèces patrimoniales ou à valeur esthétique importante, les espèces cibles de la pêche professionnelle et amateur, dont la chasse sous-marine, les espèces de passage et les espèces invasives. Pour chacune des espèces observées sont demandés, le lieu d'observation (site de plongée), la profondeur d'observation, la période à laquelle a été faite cette observation, la fréquence d'observation par site, l'évolution de l'espèce par site au cours du temps, la fréquence de visite du site et l'état des peuplements fixés.

8.3 Résultats

Au total, 15 questionnaires ont été retournés. Le taux de retour des questionnaires individuels destinés aux plongeurs fréquentant les clubs de Marseille et Cassis a été faible (5 sur 31 édités).

Les informations rapportées au travers des questionnaires d'enquête sont "qualitatives" et présentent différents niveaux de précision. En effet, ces informations sont fournies pour un certain nombre de sites (Annexe 8b), par un petit nombre de plongeurs possédant des expériences et des sites de plongées de prédilection différents. De plus, ces informations sont pour la plupart restreintes à la présence et la fréquence d'observation des espèces en question, les éléments sur leur état de conservation et leur tendance évolutive étant peu décrits. De ce fait, ces informations ne peuvent constituer ni un inventaire ni fournir un état des lieux des espèces qui figurent dans les questionnaires sur l'ensemble de la zone étudiée. Les informations issues des questionnaires, permettent d'affiner, pour un certain nombre de sites, la répartition d'espèces patrimoniales, cibles, de passage et invasives, et de fournir d'éventuelles tendances évolutives pour un certain nombre d'entre elles.

Les informations recueillies par les questionnaires d'enquête sont synthétisées sous la forme de trois tableaux en Annexe 8c. Pour chaque site recensé dans les réponses des questionnaires, des éléments sur la présence, la fréquence d'observation et sur la tendance évolutive (quand ils existent) des espèces considérées dans les enquêtes sont donnés.

Dans les paragraphes suivants ne sont développés que les éléments sur les espèces les plus renseignées dans les questionnaires d'enquête, notamment au sujet de leur état de conservation et de leur tendance évolutive.

Les espèces patrimoniales ou à valeur esthétique

Le *corb* (*Sciaena umbra*) fait l'objet de rares observations par les plongeurs enquêtés dans la zone des Calanques. Les sites récurrents où le corb a pu être observé sont les grottes de Jarre, la calanque des Contrebandiers, Moyade, Caramassaigne, la calanque du Figuier et au niveau de la résurgence

de Port-Miou. D'après un questionnaire, les corbs sont peu fréquemment observés dans les Calanques malgré le potentiel en habitats appropriés que présente la zone étudiée. Les corbs sont généralement cachés dans les grottes et sont rarement visibles à l'extérieur, contrairement au comportement qu'ils peuvent présenter dans les zones soumises à protection (réserves).

D'après les questionnaires d'enquête, le **mérou brun** (*Epinephelus marginatus*) est présent sur une vingtaine de sites. Cette espèce est fréquemment observée autour des Îles de Maire et de Riou (au nord-ouest et sur la face sud), au sud de Jarre (Pierre à Joseph), entre la Calanque de Sormiou et la Calanque de L'Oule (une quinzaine d'individus y seraient recensés), au niveau du Cap Morgiou et à la Pointe Cacao. La population de mérou brun est donnée en progression pour les sites de l'Île Maire, de Jarre, de Moyade et du Moyadon, et au niveau de la Grotte Cosquer, et est stable pour les autres sites renseignés. Les observations de mérou ont été faites dans toutes les tranches bathymétriques, à partir 8 mètres de profondeur.

L'**hippocampe** (*Hippocampus* sp.), la **grande cigale** (*Scyllarides latus*) et l'**oursin diadème** (*Centrostephanus longispinus*) ont été recensés dans une dizaine de sites de plongée. Mise à part quelques éléments sur la stabilité de la population d'oursin diadème, les informations contenues dans les réponses d'enquêtes ne permettent pas de donner les tendances évolutives sur ces espèces.

La **grande porcelaine** (*Luria lurida*) est observée fréquemment dans les anfractuosités sur l'ensemble de la zone des Calanques et sa population est stable voire en progression sur toute la zone étudiée.

Les questionnaires d'enquête ne peuvent pas fournir d'éléments précis sur la répartition de la **grande nacre** (*Pinna nobilis*) car les sites de plongée sont principalement des zones rocheuses et l'habitat favorable à cette espèce qu'est l'herbier de Posidonie est peu exploré. En revanche, cette espèce est présente fréquemment à peu fréquemment dans les sites de plongée visités par les plongeurs enquêtés, avec une tendance à la stabilité voire à la progression, ce qui laisserait penser à une large répartition de cette espèce dans son habitat favorable et une assez bonne dynamique évolutive.

En ce qui concerne les éponges, l'espèce protégée *Axinella polypoides* est présente un peu partout dans les Calanques, dans des fonds rocheux relativement profonds (supérieurs à 20-30 m) et peu inclinés. Elle est présente notamment sur la face Sud de Riou, au niveau du Grand Conglue, entre ce dernier et le Petit Conglue et au Cap Morgiou. La tendance évolutive de l'axinelle dans les éléments fournis par les enquêtes est la stabilité.

Le **corail rouge** (*Corallium rubrum*) est présent sur l'ensemble de la zone, sur des fonds rocheux présentant des anfractuosités, entre 10 mètres et au-delà de 80 mètres de profondeur, mis à part dans les secteurs situés entre l'Île Maire et la Calanque de Saména, sur la face Nord-Est de Jarre et Nord de Riou, entre le Cap Croisette et la Pointe du Vaisseau (Est de Cortiou), dans la Calanque de Sormiou, sur la face nord-est du Cap Morgiou et entre la Grotte des Trémies et le Port de Cassis. Les principaux grands faciès à corail rouge, c'est à dire un recouvrement de plusieurs mètres carrés avec une couverture dominante de corail, sont observés au niveau des sites suivants :

- face Sud-Ouest de l'Île Maire (grottes à corail) ;
- face Sud-Ouest de l'Île de Jarre (grotte Arc-en-ciel) ;
- grotte à Pérès (Plane) ;
- Île de Riou (Moyade, grottes face Sud, Impérial de Terre et du Milieu) ;
- face Sud du Grand Conglue ;
- Bec de Sormiou ;
- Cap Morgiou (Calanques du Figuier et de la Triperie) ;

- Castel Vieil ;
- grotte des Trémies.

D'après les enquêtes, l'état de conservation des peuplements à corail rouge semble être bon (stabilité générale). Au niveau de sites situés autour des Iles de Maire et de Riou, le corail rouge montrerait une tendance à la progression.

La **gorgone pourpre** (*Paramuricea clavata*) est largement présente dans la zone étudiée, avec des peuplements stables, voire en progression (d'après 1 enquête). Les sites les plus souvent cités au travers des enquêtes pour leurs peuplements de gorgones pourpres sont Moyade, les Impériaux, le Grand et le Petit Conglue, Caramassaigne ainsi que le Cap Morgiou.

Les **grands bryozoaires** dressés calcifiés présentent une large répartition dans la zone sur des fonds rocheux ombragés. Les enquêtes ne désignent pas de sites particuliers d'observation de ces espèces, qui généralement, n'attirent pas ou peu l'attention de la plupart des plongeurs.

Les labres de profondeur (*Acantholabrus palloni* et *Lappanella fasciata*) ont été recensés, à partir de 35 m, au niveau de 4 mêmes sites répartis autour de l'Île de Riou, ainsi qu'au niveau des Farillons pour le Lappanelle. La rareté d'observation de ces deux espèces patrimoniales rajoute de l'intérêt aux sites où ils sont vus de manière récurrente.

Les observations fréquentes à peu fréquentes de **gorgonocéphales** (*Astrospartus mediterraneus*), ont été faites par les plongeurs enquêtés au niveau de 3 sites : Moyade, le Grand Conglue et le Cap Morgiou. Pour les deux premiers sites cette espèce semble présenter une tendance à l'augmentation.

Le "corail noir" (*Gerardia savaglia*) est présent au Grand Conglue et à l'Impérial de Terre, actuellement sous la forme d'une petite population résultant des expériences de bouturage menées par H. Zibrowius (CNRS-COM).

A partir de commentaires tirés des questionnaires, la **datte de mer** (*Lithophaga lithophaga*), espèce protégée, est présente sur l'ensemble du littoral rocheux des Calanques, y compris à Cortiou, mais cette espèce est peu visible du fait de son mode de vie endogée.

Les espèces cibles

Les espèces dites "cibles" sont des espèces recherchées par la pêche professionnelle et amateur.

Le **denti** (*Dentex dentex*) est observé de plus en plus fréquemment, principalement en été sur l'ensemble de l'archipel de Riou. Dans la même zone, le **sar tambour** (*Diplodus cervinus*) est également très fréquemment vu en plongée et cette espèce possède une stabilité et une tendance à l'augmentation de sa population selon les sites.

Le loup (*Dicentrarchus labrax*) et la daurade (*Sparus aurata*) sont observés fréquemment dans la zone d'étude avec une tendance évolutive stable voire à la progression (1 questionnaire).

La **baudroie** (*Lophius piscatorius*) est visible en hiver autour des îles (Maire, Plane, Jarre) sur des fonds de 10 à 20 m. Sa fréquence d'observation est faible mais stable dans le temps.

En ce qui concerne les grands crustacés, mis à part l'**araignée de mer** (*Maja squinado*), qui est observée de manière saisonnière à la côte au printemps (à Caramassaigne et au Cap Morgiou d'après les enquêtes), le **homard** (*Homarus gammarus*) et la **langouste** (*Palinurus elephas*) sont

régulièrement observés sur une dizaine de sites de plongée. Les plus gros individus (langouste) sont vus en profondeur. La tendance évolutive générale de ces deux derniers crustacés est la stabilité voire la progression des populations (2 questionnaires font état d'une progression).

La **murène** (*Muraena helena*), en raison de sa large répartition sur l'ensemble des Calanques, est peu mentionnée dans les questionnaires. Cependant, d'après les remarques figurant dans ceux-ci, cette espèce serait en augmentation.

Les espèces de passage

Le poisson lune (**Mola mola**) est observé habituellement et fréquemment en été, en surface, sur l'ensemble de la zone et particulièrement en rade Sud de Marseille et entre l'Île Maire et Jarre. Il est plus rarement vu en plongée sur des sites comme les Farillons et l'Impérial du large.

Les cétacés sont observés en surface autour des îles de l'archipel de Riou. Le grand **dauphin** (*Tursiops truncatus*) est observé assez régulièrement en été en groupe de quelques individus de passage entre les îles. Des signalisations de dauphin bleu-et-blanc (*Stenella coeruleoalba*), de globicéphale (*Globicephala melas*) et de dauphin de Risso (*Grampus griseus*) figurent dans les réponses aux enquêtes. Un **rorqual commun** (*Balaenoptera physalus*) a été observé à proximité de l'Île de Jarre. Les réponses issues des questionnaires ne fournissent pas d'éléments sur l'évolution dans le temps de la fréquence d'observations de ces cétacés.

En ce qui concerne la présence de **tortues**, quelques rares observations de tortues caouanne (*Caretta caretta*) et luth (*Dermochelys coriacea*) au Grand Congloue sont rapportées dans les questionnaires.

Les espèces à caractère invasif

La Rhodobionte invasive *Asparagopsis armata* fait l'objet de peu de renseignements non pas par sa rareté mais au contraire par sa banalité d'observation aujourd'hui sur notre littoral au printemps.

Caulerpa racemosa var. *cylindracea* est la seule **caulerpe** invasive signalée dans les Calanques. Elle a été recensée par les plongeurs enquêtés au niveau des Calanques de Saména, de Callelongue et de l'Escue et présente une progression (poursuite de son expansion).

8.4 Conclusion

De nombreuses espèces protégées, d'intérêt patrimonial, "cibles" et emblématiques sont présentes sur l'ensemble de la zone des Calanques entre Marseille et Cassis. Les tendances évolutives des espèces recensées dans les questionnaires d'enquête sont dans l'ensemble stables voire à la progression. Les sites les plus cités dans les réponses aux questionnaires d'enquête pour leur richesse en espèces patrimoniales et cibles sont localisés au niveau de l'Île de Riou (Caramassaigne) et ses îlots qui l'entourent (Moyade et le Moyadon, Les Impériaux, Les Conglues), de l'Île Maire, et dans une moindre mesure, au niveau des Caps de Sormiou, de Morgiou et de Castel Vieil. Ces sites "phares" présentent de nombreux habitats favorables à la présence de ces espèces, qu'il faut toutefois pondérer par le fait ces sites sont fréquentés prioritairement et sont donc très renseignés, d'où un effet de concentration d'informations pour ces sites d'exception.

9 Conclusion Générale

Suite à la synthèse bibliographique effectuée sur la zone marine du sous-site Natura 2000 des Calanques de Marseille à Cassis, y compris l'archipel de Riou, les lacunes et les besoins en données complémentaires sur la zone ont été identifiés. Un plan d'échantillonnage des nouvelles campagnes d'acquisition a alors été élaboré et validé par le comité de pilotage de l'étude. Le présent document présente la méthodologie et les résultats des huit filières d'acquisition de données mise en œuvre.

Les conclusions relatives à chaque filière d'acquisition ont déjà été clairement énoncées dans, chaque partie, les principaux résultats sont repris ci-après.

Le traitement de photographies aériennes et de sonar latéral a permis d'élaborer sur SIG, la carte préalable des contours des principales biocénoses. Cette couche d'information a été complétée et validée à partir des campagnes de vérités terrain. D'importantes zones de matte morte de Posidonie ont été mises en évidence sur les sites de mouillage les plus fréquentés. La comparaison des cartes avec des données plus anciennes, suffisamment fiables pour être exploitées, a mis en évidence sur le plateau des Chèvres, d'une part la stabilité de l'herbier de Posidonie entre 10 et 18 m de profondeur, d'autre part sa régression dans les zones les plus profondes de part et d'autre de cette zone.

Les campagnes de vidéo remorquée et de ROV ont permis à la fois de relever les zones de doutes ou d'incertitudes identifiées lors de la phase de traitement des photographies et des sonogrammes et de compléter les zones non totalement renseignées. Cette filière d'acquisition a permis de compléter la description des biocénoses entre Morgiou et Cassis, de mettre en évidence la disparition de *Caulerpa prolifera* à Port-Miou, la présence de nombreux macro-déchets et l'existence de faciès à Maërl, sur des secteurs localisés de la biocénose des fonds du Détritique Côtier. Les prospections ROV réalisées sur des zones profondes ; jusqu'à 83 m de profondeur, ont permis de décrire les peuplements et paysages. Un déficit de certaines espèces, notamment de corail et de grands bryozoaires a été mis en évidence sur la face sud de Riou, station pour laquelle une fraction fine importante y a été observée.

Les campagnes de prélèvement de sédiment étaient prévues au niveau de 12 stations réparties dans l'ensemble de la zone d'étude, toutefois les trois stations proches de Cortiou n'ont pas été échantillonnées suite à la demande du maître d'œuvre. Une nette amélioration de la qualité notamment structurelle des peuplements benthiques a été observée. Les peuplements peuvent être considérés comme présentant une qualité assez bonne à bonne (absence d'espèces de la zone polluée, faible pourcentage d'espèces indicatrices d'instabilité et de la zone sub-normale, pourcentage non négligeable d'espèces caractéristiques de biocénoses (SGCF et DC)). A l'avenir il conviendra de suivre tout particulièrement l'évolution du secteur au sud de Riou, où un certain envasement a été observé et où la macrofaune présente des caractéristiques singulières (moins diversifié, peu d'individus, dominance des espèces à large répartition écologique, certaine dominance des espèces « sentinelles » de la zone sub-normale, fraction fine supérieure à 30 %).

La campagne de plongée a également permis de relever les zones de doutes ou d'incertitudes relevées dans la phase de traitement cartographique. Les plongées étaient principalement destinées pour l'évaluation de la qualité des biocénoses, en particulier sur l'herbier de Posidonie, les fonds coralligènes et à algues photophiles. L'herbier de Posidonie présente globalement un bon état de vitalité qui est variable selon les secteurs. La régression des limites inférieures s'observe encore sur certains secteurs, elle est surtout manifeste dans les zones subissant une importante pression de mouillage. Les sites coralligènes prospectés (Maïre, cap Morgiou, Castel-Viel) peuvent être considérés comme des sites riches, offrant une bonne vitalité d'ensemble et ne présentant pas les

signes d'une très forte fréquentation. L'étude des peuplements algaux et la mise au point d'un indice expérimental, ont mis en évidence leur importante dégradation à proximité de Cortiou et l'existence d'un gradient avec l'éloignement par rapport au point de rejet.

La cartographie des peuplements algaux du médiolittoral et de la frange supérieure de l'infralittoral a été réalisée de la Madrague de Montredon au cap Croisette et entre le bec de Sormiou et Cassis. Elle a porté sur l'abondance de cinq espèces ou groupes d'espèces facilement identifiables depuis une embarcation. Les encorbellements à *Lithophyllum byssoides* sont bien développés à En Vau, où ils atteignent leur maximum de développement. Les Cystoseires sont observées majoritairement en faible proportion, le relief abrupt des falaises semble limiter leur extension. La comparaison avec les cartes de 1966, laisse apparaître que la recolonisation le long du littoral a été plus importante à l'ouest de Cortiou qu'à l'est.

Les enquêtes réalisées auprès des plongeurs ont montré que de nombreuses espèces protégées, d'intérêt patrimonial, "cibles" et emblématiques sont présentes sur l'ensemble de la zone des Calanques entre Marseille et Cassis. Les tendances évolutives des espèces recensées sont dans l'ensemble stables voire à la progression. Les enquêtes ont permis d'apporter des compléments d'information sur la zone d'étude, principalement dans les zones phares, très plongées.

La mise en oeuvre de campagnes d'acquisition sur le terrain, a permis de répondre aux besoins de nouvelles données, identifiées suite à la phase de synthèse bibliographique. Les résultats présentés dans les deux premières phases de l'étude vont permettre d'établir un rapport de synthèse qui s'attachera en phase 3, à décrire les différents habitats dans la zone des calanques et leur état de conservation, en particulier les habitats communautaires. Les mesures de gestion et de suivi, à mettre en oeuvre dans le cadre de la gestion du site Natura 2000 ou du futur Parc National des Calanques, seront également proposées.

10 Bibliographie

- Arfi R., Arnoux A., Bellan-Santini D., Bellan G., Laubier L., Pergent-Martini Ch., Bourcier M., Dukan S., Durbec J.P., Marinopoulos J., Millot C., Moutin Th., Patriiti G., Pétrengo A., 2000.** Impact du grand émissaire de Marseille et de l'Huveaune détournée sur l'environnement marin de Cortiou. Etude bibliographique raisonnée. Centre d'Océanologie de Marseille et Université de la Méditerranée, Rapport pour la Ville de Marseille : 1-138.
- Arnoux A., Bellan-Santini D., 1972.** Relations entre la pollution du secteur de Cortiou par les détergents anioniques et les modifications des peuplements de *Cystoseira stricta*. *Téthys*, 4 (3) : 583-586.
- Augris C., Durand F., Maze J.P., Loubrieu B., Chauvaud S., Normand A., Satra C., Carre D., Paulmier G., Bouchon C., 2000.** Maps of the superficial formations of the insular shelf of Martinique : Le François- Le Marin, Presqu'île de la Caravelle, Ste Luce-Fort de France, Grand Rivière-La Trinité (scale : 1/25 000) (14°30'N, Mercator Projection). IFREMER, Plouzane (France) : 1-32.
- Bellan G., 1967a.** Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. Première Partie. *Rev. intern. Océanogr. méd.* 6-7 : 53-87.
- Bellan G., 1967b.** Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. Deuxième Partie. L'ensemble portuaire marseillais. *Rev. intern. Océanogr. méd.* 8 : 51-95.
- Bellan G., 1991.** Characteristic, indicative and sentinel species: from the conception to the utilization. 1.9. *In Terrestrial and Aquatic Ecosystems: Perturbation and Recovery*, Ravera (Ed.), E. Horwood Ltd Publ., UK : 95-100.
- Bellan G., 1993.** Les espèces indicatrices de pollution et leur repérage en milieu marin. *Biosystema*, 8 : 45-60.
- Bellan G., 1998.** Évolution à long terme des peuplements benthiques dans le secteur de Cortiou (rejet en mer de l'émissaire de Marseille) *In : Actes du Colloque national "Navires côtiers et océanographie en Méditerranée"*, Marseille, 1-2/ 07/ 1997. : 39-40.
- Bellan G., Bellan-Santini D., 1998.** Utilizzazione delle analisi di parsimonia (cladistica) in sinecologia bentonica : esempi in una zona inquinata. *ECOLOGIA*, S.It.E Atti, 18: 247-250.
- Bellan G., Bellan-Santini D., Mastrototaro F., 2001.** Campagna oceanografica della N/O "Antedon" nelle Bocche di Bonifacio (Agosto 1960) : una rivalutazione dei risultati. *Biol. Mar. Medit.*, 8(1) : 590-592.
- Bellan G., Bourcier M., 1984.** Bilan écologique du détournement permanent d'un petit fleuve côtier dans l'émissaire d'eaux usées d'une grande ville. *Mar. Envir. Res.*, 12: 83-111.
- Bellan G., Bourcier M., 1990.** Les enseignements d'une étude sur dix ans (1976-1986) des peuplements au large d'un émissaire d'eaux usées: Marseille-Cortiou. *Cah. Biol. Mar.*, 31: 225-249.
- Bellan G., Bourcier M., Salen-Picard C., Arnoux A., Casserley S., 1999.** Benthic Ecosystem Changes Associated with Wastewater Treatment at Marseille: Implications for the Mediterranean Protection and Recovering. *Water Environment Research*, 71 (4): 483-493.
- Bellan-Santini D., 1966.** Influence des eaux polluées sur la flore et la faune marine benthiques dans la région marseillaise. *Tech. et scien. municip.* 61^e année, 7 : 285-292.
- Bellan-Santini D., Dauvin J.C., Bellan G., 1994.** Analyse de données en Ecologie benthique : utilisation de la méthode de Parcimonie. *Oceanologica Acta* , 17 (3) : 331-340.
- Belsher T., 1974.** Séquence des effet d'un égout urbain, fonction de l'éloignement de la source de pollution, sur les peuplements photophiles de mode battu (fraction algale) ; premiers résultats. *Soc. Phycol. Fr. Bull.*, 19 : 158-163.
- Belsher T., 1979.** Analyse des répercussions du rejet en mer du grand collecteur de Marseille sur la fraction algale des peuplements photophiles de l'infralittoral supérieur. *Téthys*, 9 (1) : 1-16.

- Bernard G., Bonhomme P., Daniel B.,** 1998. Archipel de Riou : Etude socio-économique sur la pêche, la plaisance, la plongée et la chasse sous-marine. *Contrat d'étude GIS Posidonie/Ville de Marseille*, Fr. : 54p + 19p annexes.
- Bianconi C.H., Boudouresque C.F., Meinesz A., Di Santo F.,** 1987. Cartographie de la répartition de *Lithophyllum lichenoides* (Rhodophyta) dans la réserve naturelle de Scandola (côte orientale de Corse, Méditerranée). *Trav. sci. Parc nat. Reg. Réserves nat. Corse*, 13 : 39-63.
- Blandin P.,** 1986. Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin d'Ecologie* ; t. 17 fascicule 4 ; 317p.
- Bonhomme P., Boudouresque C.F., Bernard G., Verlaque M., Charbonnel E., Cadiou G.,** 2001. Espèces, peuplements et paysages marins remarquables de La Ciotat, de l'Ile Verte à la Calanque de Capucin (Bouches-du-Rhône, France). *Contrat RAMOGE & GIS Posidonie*, GIS Posidonie publ., Fr. : 1-133.
- Boudouresque C.F.,** 1995. Les indicateurs biologiques. *La lettre de Méditerranée 2000*, Fr., 13 : 8-9.
- Boudouresque C.F.,** 1996. Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée. 2^{ème} édition. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-243.
- Boudouresque C.F., Ballesteros E., Ben-Maiz N., Boisset F., Bouladier E., Cinelli F., Cirik S., Cormaci M., Jeudy de Grissac A., Laborel J., Lanfranco E., Lundberg B., Mayhoub H., Meinesz A., Panayotidis P., Semroud R., Sinnassamy J.M., Span A., Vuignier G.,** 1990. Livre rouge "Gérard VUIGNIER" des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de Méditerranée; *Programme des Nations Unies pour l'Environnement*. (PNUE-PAM-CAR-ASP-IUCN) et GIS Posidonie publ. : 1-250.
- Boudouresque C.F., Bertrand M.C., Desjardins C., Fifis J.C., Foret P., Lefèvre J.R., Meinesz A., Nieri M., Patrone J., Pergent G., Gravez V.,** 1987. Mise en place d'un système de surveillance des herbiers à *Posidonia oceanica* le long du littoral méditerranéen français. *Symp. Intern. Prot. Milieu Mar. contre les rejets urbains*, Ville de Marseille : 1-20.
- Bourcier M.** 1976. Économie benthique d'une baie méditerranéenne largement ouverte et des régions voisines en fonction des influences naturelles et humaines. *Thèse Doctorat es Sciences*, Université d'Aix-Marseille II, 10 décembre 1976, : 1-161 + Annexe, Index, Tableaux.
- Bourcier M.** 1979. Contribution à la connaissance des sédiments marins entre le Cap Croisette et le cap d'Alon (Est de Marseille) et de leur évolution de 1966 à 1972. *Téthys* 9 (1) : 31-40.
- Boutalbi L.** 2002. Comparaison préliminaire de deux bennes : Van Veen et Orange Peel dans le secteur pollué de Cortiou, Marseille, France. Stage, *Maîtrise de biologie des populations et des Écosystèmes marins*, Centre d'Océanologie de Marseille : 1-23.
- Charbonnel E., Gravez V., Abellard O., Boudouresque C. F., Remonnay L.,** 1995. Surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* du golfe de Giens (Var-France). Second suivi. *Contrat Syndicat Intercommunal Hyères-Carqueiranne pour l'assainissement de la baie de Giens & GIS Posidonie*. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-106 + 8 p annexes.
- Clabaut P.,** 1991. Cartographie morpho-sédimentaire du site de Cortiou. *Rapp. Clabaut/IFREMER, Mission Roselys II* : 1-19 + ann. + cartes.
- Cristiani G.,** 1980. Biomasse et répartition de l'herbier de *Posidonia oceanica* de la Côte bleue (B.d. Rh., France) et pollution marine par les métaux lourds. *Thèse 3^{ème} cycle*, Univ. Aix-Marseille III : 1-150 + I-IX, + 1 carte h.t.
- Deets , Dalkey ,** 2001. Chapter 6. Macrofaunal Assemblages. In City of Los Angeles, Environmental Monitoring Division. Marine Monitoring in the Los Angeles Harbor : Annual Assessment Report for the Period January 2000 through December 2000. *Report submitted to EPA and RWQCB (Los Angeles)*. Department of Public Works, Bureau of Sanitation, Terminal Island Treatment Plant, San Pedro, California.
- Feldmann J.** 1971. Ecology of marine algae. In : *Manual of Phycology* (Smith G.M. ed.) Vol.1, pp. 313-334. Waltham, Mass.: The Chronica Botanica Co.

- Forgeard F.** 1987. Les incendies dans les landes bretonnes. Caractéristiques et conséquences sur la végétation et le sol. *Thèse Doct. Sci. nat.*, Ecol. Univ. Rennes, Fr. : 1-363.
- Gaillande D. de**, 1968. Monographie des peuplements benthiques d'une calanque des côtes de Provence :Port Miou. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume* 44 (60) : 357-401.
- Giraud G.**, 1977. Contribution à la description et à la phénologie des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Thèse de Doctorat 3 cycle*, Océanologie, Univ. Aix-Marseille II : 1-150.
- Gravez V., Gelin A., Charbonnel E., Francour P., Abellard O., Remonnay L.**, 1995. Surveillance de l'herbier de Posidonie de la baie du Prado (Marseille) - Suivi 1995. *Ville de Marseille & GIS Posidonie, Marseille*, Fr. : 1-56.
- Lamshead P.J.D, Paterson G.L.J.**, 1986. Ecological cladistics. An investigation of numerical cladistics as a method for analysing ecological data. *J. Nat. Hist.*, 20, 895-909.
- Legendre P.**, 1989. Quantitative methods and biogeographic analysis. in : *NATO advanced workshop. St Andrews, N.B., Canada, septembre 1989* : 1-25.
- Littler M.M.**, 1980. Morphological form and photosynthesis performance of marine macroalgae : tests of a functional/form hypothesis. *Botanica Marina*, 22 : 161-165.
- Lüning K.**, 1990. Seaweeds : their environment, biogeography and ecophysiology. *Wiley Interscience publications*, Wiley & Sons ed., New York : 1-527.
- Masselot G.**, 2002. La synécoparcimonie : un outil d'évaluation de la qualité des eaux courantes. Théorie et applications. Thèse M.N.H.N., Doctorat , spécialité : Entomologie. 25 octobre 2002. Première Partie : 1-106 . Deuxième Partie : Annexes I à VI.
- Molinier R.**, 1960. Etude des biocénoses marines du Cap Corse. *Vegetatio*, Netherl., 9 (3-5) : 121-192, 217-312.
- Orfanidis S., Panayotidis P., Stamatis M.** 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal waters: a marine benthic macrophytes-based model. *Mediterr. Mar. Sci.* 2 (2): 45-65.
- Orfanidis S., Panayotidis P., Stamatis M.** 2003. An insight into the ecological evaluation index (EEI). *Ecological Indicators* 3: 27-33.
- Panayotidis P., Giraud G.**, 1981. Sur un cycle de renouvellement des feuilles de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile dans le golfe de Marseille. *Vie Milieu*, Fr., 31 (2) : 129-136.
- Pérès J.M., Picard J.** 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume*, 47(31) : 3-137.
- Pérez T , Garrabou J., Sartoretto S., Harmelin J.G., Francour P., Vacelet J.**, 2000a. Mortalité massive d'invertébrés marins : un événement sans précédent en Méditerranée nord-occidentale. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 323 : 853-865.
- Pérez T., Sartoretto S., Soltan D., Capo S., Fourn M., Dutrieux E., Vacelet J., Harmelin J.G., Rebouillon P.**, 2000b. Etude bibliographique sur les bioindicateurs de l'état du milieu marin. Système d'évaluation de la qualité des milieux littoraux-Volet biologique. *Rapport COM/Agence de l'Eau*, 4 fascicules : 1-642. + 1Cd-rom.
- Pergent G.**, 1991. Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée. *Oceanis*, 17 (4) : 341-350.
- Pergent-Martini C.**, 1994. Impact d'un rejet d'eaux usées urbaines sur l'herbier à *Posidonia oceanica*, avant et après la mise en service d'une station d'épuration. *Thèse Doct. Univ. Corse*, Fr. : 1-208.
- Pergent-Martini C., Pasqualini V., Pergent G.**, 1995. Monitoring of *Posidonia oceanica* meadows near the outfall of the sewage treatment plant at Marseilles (Mediterranean, France). *EARSeL advances in remote sensing*, 4 : 128-134.

- Picard J.**, 1965. Recherches qualitatives sur les biocénoses marines des substrats meubles
- Picard J.**, 1978. Impact sur le benthos de quelques grands types de nuisances liées à l'évolution des complexes urbains et industriels de la Provence occidentale. *Oceanis*, 4 (3) :214-251.
- Poizat C.**, 1966. Le débouché des calanques entre Marseille et La Ciotat : Étude des peuplements et des sédiments. *Rec. Trav. St. mar. Endoume*, 45 (61) :
- Romero-Martinengo J.**, 1985. Estudio ecologico de las fanerogamas marinas de la costa catalana : produccion primaria de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en las Islas Medes. *Mem. Doct.*, Univ. Barcelona, Esp. : 1-261.
- Salen-Picard, C., Bellan, G. Bellan-Santini, D., Arlhac, D., Marquet, R.**, 1995. Changements à long terme dans une communauté benthique d'un golfe méditerranéen soumis à des apports fluviaux et à d'importants travaux d'aménagement portuaire. *Oceanologica Acta*. 20 (1) : 299-310.
- Simboura N., Zenetos A.** 2002. Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottoms marine ecosystems, including a new biotic index. *Mediterranean Marine Science*. 3/2: 77-111
- Solis V.**, 1975. Étude des peuplements benthiques des fonds de décantation des parages de Marseille. Thèse, *Doctorat de Spécialité Océanographie biologique*. Université D'Aix-Marseille II, 107 pages, + annexes, tableaux.
- Solis-Weiss V.**, 1982. Estudio de las poblaciones macrobénticas en áreas contaminadas de la bahía de Marsella (Francia). *Anal. Instit. Ciencias Mar y Limnol.*, Mexico : 1-33.
- Soltan D.**, 2001. Etude de l'incidence de rejets urbains sur les peuplements superficiels de macroalgues en Méditerranée nord-occidentale. *Thèse de Doctorat*, Université de la Méditerranée, Marseille, Fr. : 1-157.
- Steneck R.S., Dethier M.N.** 1994. A functional group approach to the structure of algal dominated communities. *Oikos* 69: 476-498.
- Steneck R.S., Watling L.** 1982. Feeding capabilities and limitation of herbivorous molluscs: A functional group approach. *Marine Biology* 68 (3): 299-319.
- Swofford D.L.**, 1993. PAUP: phylogenetic analysis using parsimony, version 3.1.1. Computer program distributed by the Illinois Natural History Survey, Champaign, Illinois, USA
- Verlaque M.**, 1990. Relations entre *Sarpa salpa* (Linnaeus, 1758) (Téléostéen, Sparidae), les autres poissons brouteurs et le phytobenthos algal méditerranéen. *Oceanol. Acta*, 13 (3) : 373-388.
- Wanntorp H.-E., Brooks D.R., Nilsson T., Nylin S., Ronquist F., Stearns S.C., Wedell N.**, 1990. Phylogenetic approaches in ecology. *Oikos*, 57, 119-132.
- Warwick R.M., Clarke K.R.**, 1993. Comparing the severity of disturbance : a meta-analysis of marine macrobenthic community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 92 : 221-231.
- Webb C.O., Ackerly D.D., McPeck M.A., Donoghue M.J.**, 2002. Phylogenies and Community Ecology. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 33 : 475-505.