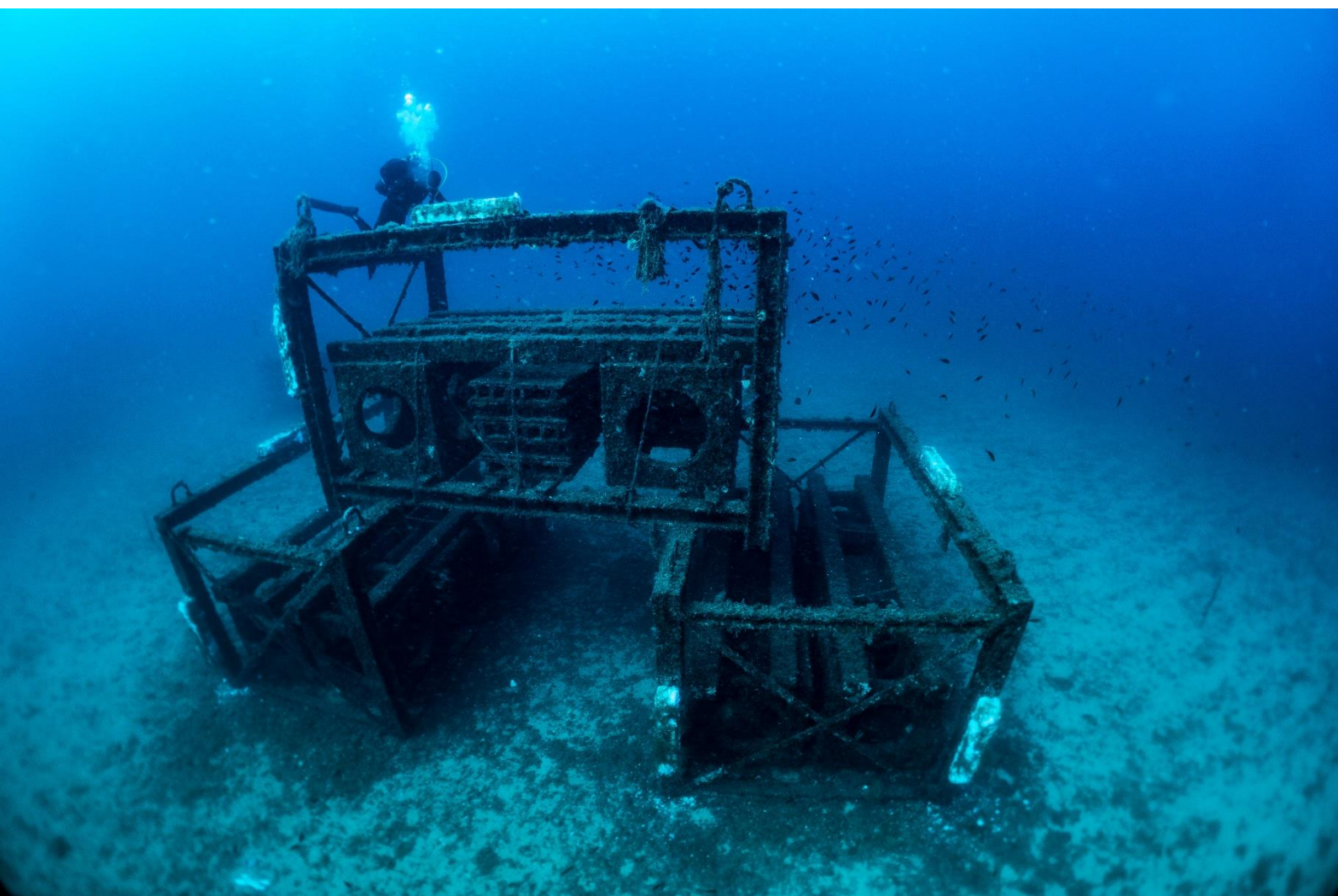


Réalisation d'un suivi scientifique biologique et halieutique dans le cadre de la gestion des récifs artificiels du Prado

Lot 1 - Suivi biologique et technique

Année 2019 - 2021

Rapport méthodologique



Réalisation d'un suivi scientifique biologique et halieutique dans le cadre de la gestion des récifs artificiels du Prado

Rapport méthodologique 2019-2021

Commanditaire :

Ville de Marseille
Direction de la Mer / Service de Ressources Partagées
2 Promenade Georges Pompidou
13233 Marseille cedex 20
Tel : 04 13 94 80 75 - e-mail : jguery@marseille.fr

Consultation n° 2019_45004_0010

Réalisation de l'étude :

GIS POSIDONIE, Groupement d'Intérêt Scientifique pour l'environnement marin
OCEANOMED, MIO
Campus de Luminy, Case 901
13 288 MARSEILLE Cedex 9
Tél. : 04 86 09 05 73 Fax. : 04 86 09 06 43 - e-mail : laurence.ledireach@univ-amu.fr

Coordinateur de l'étude :

Patrick ASTRUCH

Intervenants sur le terrain ou au laboratoire :

Patrick ASTRUCH, Laurence LE DIREACH, Elodie ROUANET, Thomas SCHOHN, Bruno BELLONI, Antonin LEFEVRE.

Rédaction :

Bruno BELLONI, Patrick ASTRUCH, Elodie ROUANET, Thomas SCHOHN, Laurence LE DIREACH.

Crédits photographiques, cartographiques et schématiques :

GIS Posidonie, sauf mention contraire.

Dossier : 1908

Ce document doit être cité sous la forme suivante :

Belloni B., Astruch P., Rouanet E., Schohn T., Le Diréach L., 2022. Réalisation d'un suivi scientifique biologique et halieutique dans le cadre de la gestion des récifs artificiels du Prado. Rapport final 2019 - 2021. Méthodologie. *GIS Posidonie – Ville de Marseille*, Fr. 1-76

Commanditaire :

Ville de Marseille, Direction de la Mer



Titulaire :

GIS Posidonie

Institut Méditerranéen d'Océanologie
Parc Scientifique et Technologique de Luminy
163, avenue de Luminy - Case 901
13288 MARSEILLE CEDEX 09 – France
Tél : 04 86 09 05 73/78

SIRET : 33 88 63 69 90 00 33
TVA N°: FR69338863699
Code NAF : 7219Z



Sommaire

1	Introduction.....	9
2	Organisation du programme du suivi.....	12
3	Méthodologie et mise en place des différentes missions.....	14
3.1	Mission 1 : Suivi du peuplement de poissons	14
3.1.1	Objectifs de la mission.....	15
3.1.2	Protocole de comptage	16
3.1.3	Structure de l'échantillonnage	17
3.1.4	Remarques sur la méthode après mise en œuvre	19
3.1.5	Traitement des données	22
3.1.6	Résultats attendus.....	30
3.2	Mission 2 : Suivi de la colonisation benthique des récifs.....	34
3.2.1	Objectifs de la mission.....	35
3.2.2	Protocole	36
3.2.3	Analyses des données	45
3.3	Mission 3 : Suivi de l'herbier de posidonie en plongée.....	48
3.3.1	Objectifs de la mission.....	49
3.3.2	Protocole	49
3.3.3	Résultats attendus.....	53
3.4	Mission 4 : Suivi des structures en plongée	56
3.4.1	Objectifs de la mission.....	57
3.4.2	Protocole	57
3.4.3	Résultats attendus.....	58
3.5	Mission 5 : Valorisation des résultats.....	60
4	Détails de la mission sur le terrain	61
3.5.1	Détails des dates d'intervention sur le terrain : missions et modules suivis	61
3.5.2	Dispositifs de sécurité et de mise en œuvre des opérations de terrain	66
5	Bibliographie.....	68
6	Annexes	73

Glossaire

Les récifs du Prado sont constitués de six types de récifs : **Panier acier (ACI)**, **Fakir (FAK)**, **Chicane (CHI)**, **Amas de cubes (AMA)**, **Filière haute (FIL)**, **Enrochement (ENR)**.

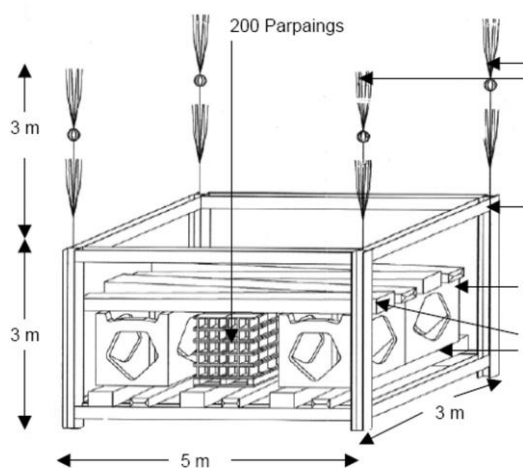
Le terme '**modules béton**' est utilisé dans le rapport pour désigner l'ensemble des 5 types de récifs constitués de modules originaux composés essentiellement de cubes en béton (ACI, FAK, AMA, CHI, FIL) formant des assemblages en 3 dimensions, de diverse forme par opposition aux assemblages de blocs de roche naturelle de deux tailles différentes désignés par le terme '**enrochement**' (ENR). Les 6 types de récifs composant les récifs du Prado sont constitués de modules béton et d'enrochements.

Des observations sont effectuées à toutes les saisons : **comptages**, **relevés** qualitatifs ou quantitatifs, **photo-quadrats** et **photographies** lors des **campagnes** d'échantillonnage. **Les prélèvements d'échantillons** ont été réalisés au printemps 2020.

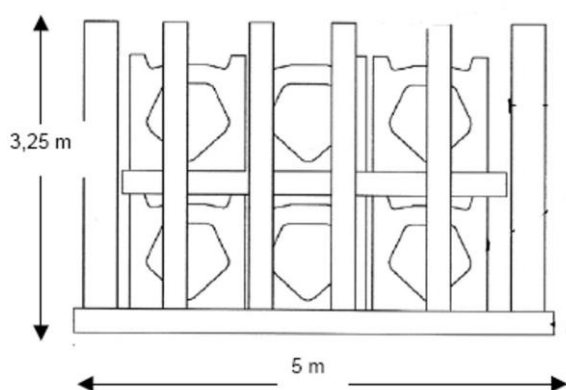
De nombreux **réplicats** de ces comptages dans le temps et dans l'espace permettent de calculer une moyenne pour différentes métriques à partir des observations qui sont faites et de donner la tendance de ces variables du suivi.

6 types de **récifs** modulaires constituent les récifs artificiels de la baie du Prado :

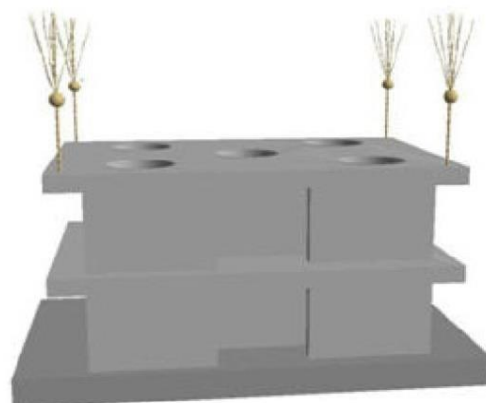
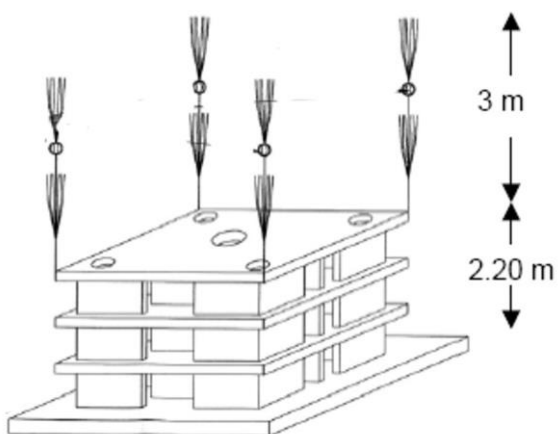
RECIF PANIER ACIER = ACI



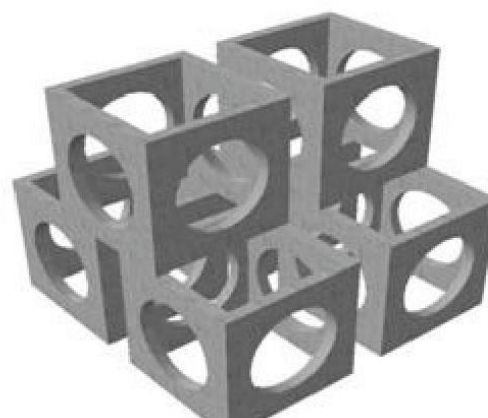
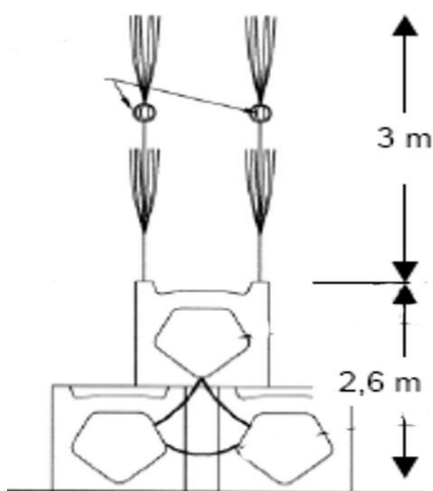
RECIF FAKIR = FAK



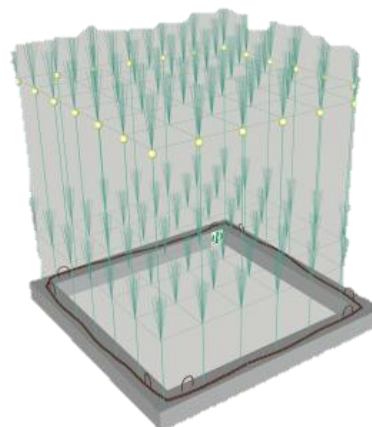
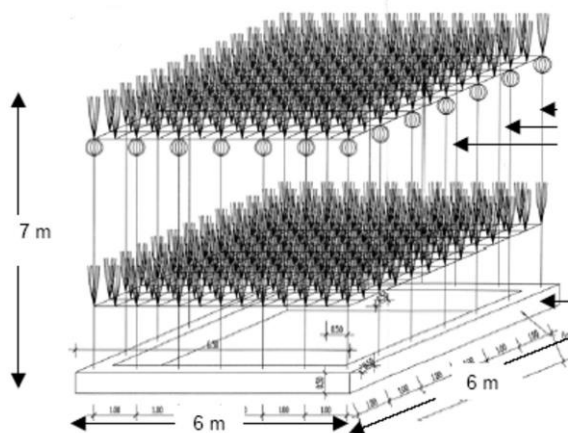
RECIF CHICANE = CHI



RECIF AMAS DE CUBES = AMA



RECIF FILIERE HAUTE = FIL



AMAS DE BLOCS ROCHEUX = ENR



1 Introduction

Dans le cadre de l'opération RECIFS PRADO, 27 300 m³ de récifs artificiels ont été immergés à 30 m de profondeur dans la rade sud de Marseille entre 2007 et 2008, constituant ainsi la plus grande concession de récifs artificiels (RA) de Méditerranée. Ces 401 récifs artificiels, dont l'immersion s'est achevée en juillet 2008, offrent de nouveaux habitats à de nombreuses espèces, par l'apport de substrats durs à proximité de l'herbier de posidonie et des fonds meubles de la rade. Cette diversification des habitats crée à moyen terme le développement d'un réseau trophique favorable au recrutement et à l'installation de nombreuses espèces de poissons d'intérêt commercial. L'objectif final de l'opération est de soutenir la ressource et indirectement la pêche professionnelle artisanale côtière. Jusqu'en 2015, le périmètre de la concession des récifs artificiels était délimité en deux zones (Figure 1) :

- une zone sanctuaire de 110 hectares, au Nord, interdite à tous les usages, en dehors de la navigation de surface,
- une zone réglementée de 110 hectares, au Sud, dans laquelle la pêche, la plongée et le mouillage devaient demeurer interdits jusqu'en décembre 2012 ; cette période a été prolongée d'abord jusqu'au 31 décembre 2014 pour convenir des futures modalités de gestion de cette zone avec l'ensemble des acteurs concernés.

En 2015, un arrêté du Préfet de la région Provence Alpes Côte d'Azur a défini le nouveau périmètre de la concession en réduction de surface sur la limite Ouest et selon un polygone plus simple. Cet arrêté a accordé la possibilité d'obtenir une dérogation de pêche annuelle à l'Ouest de la zone à 11 couples armateur/navire, les pêcheurs professionnels concernés exerçant une activité de pêche régulière dans la zone et répondant à d'autres critères énoncés. Les demandes devaient être déposées auprès de la direction interrégionale de la mer Méditerranée avant le 31 décembre de chaque année. Cet arrêté était applicable jusqu'au 31.12.2019. La zone Nord de 110 ha a donc été largement diminuée en surface.

Un arrêté du 17.01.2020, valable jusqu'au 31.12.2024 (et abrogeant celui du 18.12.2019) a accordé la possibilité d'obtenir une dérogation de pêche dans l'angle Nord-Est du périmètre défini par 3 points du mois de septembre au mois de décembre. Le nombre maximal d'autorisations a été fixé à 10 couples armateur/navire. Les demandes doivent être adressées avant le 31 décembre chaque année par des pêcheurs professionnels remplissant un certain nombre de critères d'activité.

Durant les premières années une dizaine de pêcheurs demandaient la dérogation et chaque année de moins en moins la demandaient ; plus personne ne l'a demandée depuis au moins 3 ans (Ville de Marseille comm. pers.).

A partir de 2009, un suivi obligatoire a été mis en place pour 5 ans (2009-2014), afin de voir l'évolution de la colonisation des récifs (ichtyofaune et faune/flore benthiques), des captures de la pêche (suivi par pêches expérimentales ; Jouvenel et Roche, 2011), de l'herbier de posidonie alentour (suivi de balisages, cartographie des habitats) et de l'état des structures (suivi en plongée et cartographie bathymétrique).

Le suivi obligatoire ayant ciblé un même nombre de récifs par type, immergés parmi les derniers et à même profondeur, afin de pouvoir observer la colonisation à ses débuts, portait principalement sur les villages 3 et 4 et quelques récifs des villages 2 et 5. Le Village 1, situé au Nord-Est dans un chenal de navigation, n'a plus été visité après la première campagne, en raison de conditions d'accès difficiles et de sa proximité du chenal d'entrée du port de commerce. Le village 6, situé plus au Sud, près de l'herbier de

posidonie et moins profond n'a fait l'objet d'aucun comptage. La stratégie d'échantillonnage mise en place privilégiait le suivi de la colonisation entre les différents types de récifs et ne permettait donc pas de comparer les villages entre eux, ni les liaisons aux villages, ni donc d'aborder la question du fonctionnement des villages ou des groupes de récifs en fonction de leur localisation dans la concession.

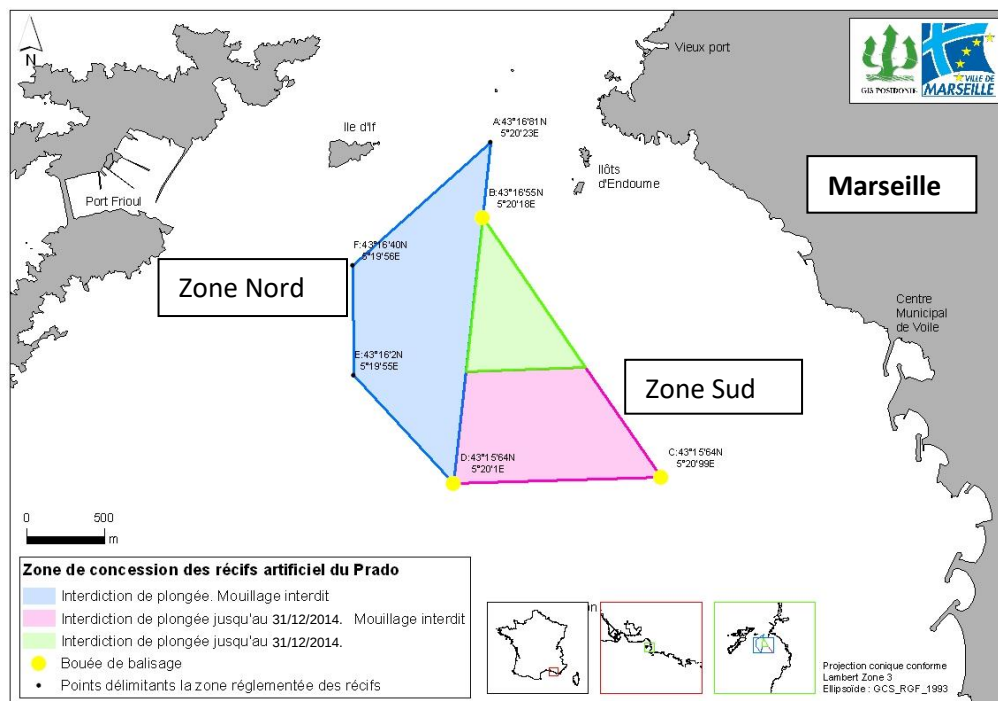


Figure 1 : Limites initiales des deux zones de concession faisant l'objet de réglementation dans la rade de Marseille devant la presqu'île d'Endoume. Zone Nord : zone sanctuaire interdite à tous usages en dehors de la navigation de surface ; Zone Sud : zone réglementée dans laquelle la pêche est interdite jusqu'en décembre 2014.

Depuis 2015, suite à l'arrêté préfectoral n°35/2015, le périmètre de la concession de récifs artificiels a été redéfini (Figure 2). La superficie est maintenant de 200 ha et a ainsi diminué d'environ 20 ha, qui ont été rendus aux pêcheurs professionnels et de loisir. Le mouillage, le dragage, la plongée et la pêche sous toutes ses formes sont prohibés à l'intérieur du périmètre de la concession. Toutefois, l'arrêté n°R93 du 17/01/2020 permet aux pêcheurs professionnels exerçant une activité régulière de pêche sur le secteur de demander une autorisation annuelle de pêche du mois de septembre au mois de décembre. Le nombre maximal d'autorisations est fixé à 10 couples armateur/navire. Le zonage de 2015 a considérablement rapproché la limite Ouest de la concession du champ de récif.

A l'issue du suivi saisonnier obligatoire entre 2009 et 2014 (Le Diréach *et al.*, 2014), la ville de Marseille a souhaité continuer les suivis. A l'automne 2015, une nouvelle campagne de comptages de poissons a donc été organisée portant sur les 36 récifs ayant été suivis pendant 5 ans et d'autres modules complémentaires afin d'explorer des récifs situés dans les liaisons entre villages et de pouvoir faire des comparaisons entre la partie Nord et la partie Sud de la concession (Astruch *et al.*, 2016). En 2016, un nouveau suivi des communautés benthiques des récifs artificiels a été réalisé sur 30 récifs (Rouanet *et al.*, 2016).

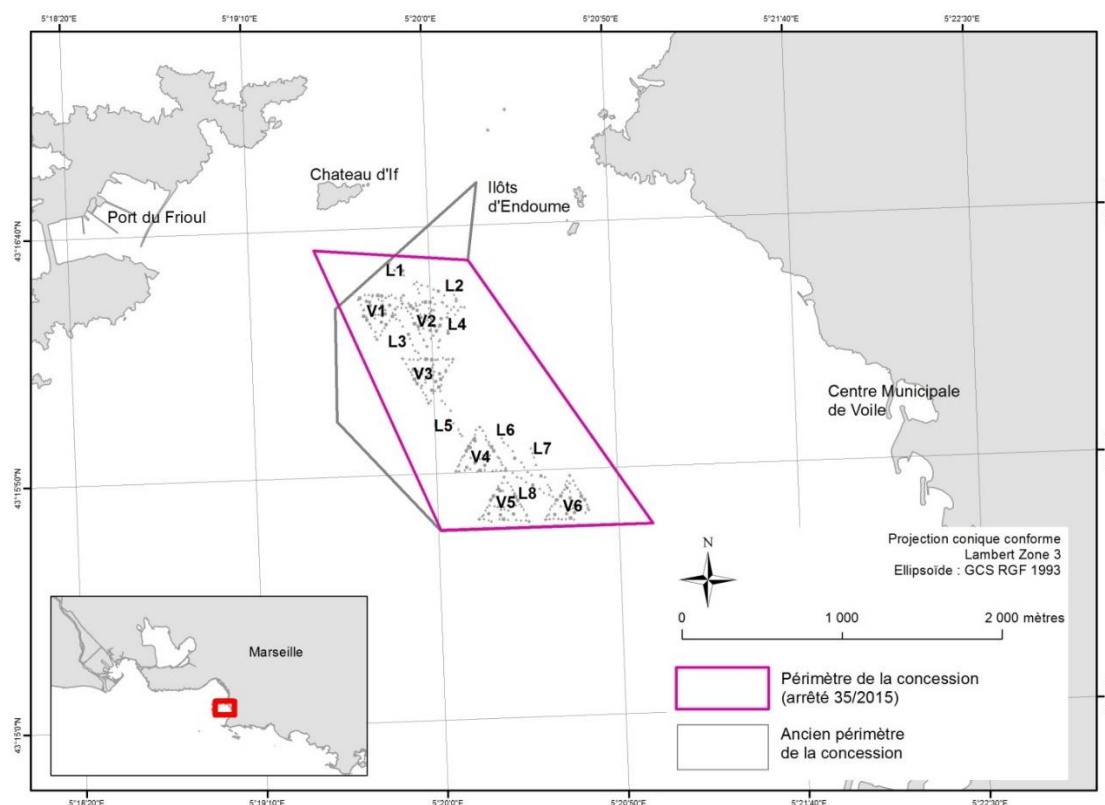


Figure 2 : Localisation actuelle de la concession de récifs artificiels de la baie du Prado (nouvelle localisation depuis l'arrêté préfectoral n°35/2015 ; plongée et mouillage interdits dans le périmètre de la concession).

Plus de dix ans après la fin des immersions, une nouvelle campagne de suivi a été commandée entre 2019 et 2021. Ce suivi biologique et technique des récifs artificiels immergés a été divisé en 5 missions distinctes répondant aux objectifs du suivi :

- mission 1 : le suivi du peuplement de poissons en plongée,
- mission 2 : le suivi de la colonisation des récifs,
- mission 3 : le suivi de l'herbier de posidonies en plongée,
- mission 4 : le suivi des structures en plongée,
- mission 5 : valorisation des résultats.

Le présent volume du rapport rend compte de la méthodologie utilisée pour ces suivis, adaptée et complétée, lorsque nécessaire, par rapport à la méthode utilisée durant la première période de suivi 2009-2014 (Astruch *et al.*, 2014). Les résultats des suivis réalisés entre 2019 et 2021 sont restitués dans le second volume (Résultats) du rapport 2019-2021 (Schohn *et al.*, 2022). Un volume particulier est dédié à la synthèse des principaux résultats observés à l'issue de cette dernière campagne (Astruch *et al.*, 2022).

2 Organisation du programme du suivi

Le **GIS Posidonie** a été en charge de l'organisation et de la mise en œuvre des moyens pour la réalisation des 5 missions d'étude et de suivi dans le cadre de la présente étude. L'équipe permanente du GIS Posidonie a été entièrement autonome pour la réalisation des investigations en plongée lors des missions 1 (suivi du peuplement de poissons), 2 (suivi de la colonisation des récifs), 3 (suivi de l'herbier de posidonie), et 4 (suivi des structures en plongée).

Le GIS Posidonie fait régulièrement appel à son réseau d'experts (membres et administrateurs). Les échanges entre le GIS Posidonie et son réseau de chercheurs se font par le biais de réunions restreintes, d'échanges informels par téléphone, au laboratoire ou sur le terrain.

L'équipe du GIS Posidonie, a participé aux côtés des chercheurs de l'Université, en étroite collaboration avec la Ville de Marseille, aux différentes phases depuis la conception jusqu'à l'implantation des récifs artificiels : de l'étude de faisabilité aux inspections post-immersion et aux différentes phases de suivi.

La connaissance des structures immergées de la zone, ainsi que de l'organisation et des conditions de travail (notamment en plongée) au sein de la concession a été acquise au cours de plongées de reconnaissances et de comptages réalisés entre l'immersion des modules (décembre 2008, Ruitton *et al.*, 2008) et le démarrage du « suivi obligatoire ». Le suivi obligatoire (Le Diréach *et al.*, 2014), le suivi du peuplement de poissons en 2015 (Astruch *et al.*, 2016) et celui des communautés benthiques en 2016 (Rouanet *et al.*, 2016) ont permis de mettre en place rapidement les nouvelles opérations de terrain en 2019.

La proximité immédiate des locaux du GIS POSIDONIE, des scientifiques des laboratoires MIO et IMBE et des moyens à la mer, par rapport à la concession de récifs artificiels a été un avantage et a permis de programmer des interventions sur le terrain dès que les conditions météorologiques étaient favorables. Cela a permis une veille sur le site, pour assurer la régularité et le respect du plan d'échantillonnage programmé ainsi que la qualité des résultats recherchés dans le cadre de ce suivi. Par ailleurs, la connaissance du contexte local (suivi de l'herbier de posidonie du Prado depuis les années 1986 : Gravez *et al.*, 1999, études Natura 2000 dans les calanques : Astruch *et al.*, 2012, sur la Côte Bleue : Astruch *et al.*, 2011, perception de l'impact des récifs sur la pêche professionnelle et de loisir (Le Diréach, 2018), suivi de la fréquentation (pêche, plaisance, plongée) : Bonhomme *et al.*, 1999, Ganteaume *et al.*, 2004, l'étude des poissons et de la pêche aux alentours de la zone d'étude à travers différents programmes récents ou en cours, notamment sur le suivi des peuplements de poissons des Calanques : Astruch *et al.*, 2009 ; Le Diréach *et al.*, 2010 a et b, 2017, 2020 ; Bonhomme *et al.*, 2015 ; Astruch *et al.*, 2016) a contribué au choix des méthodes initiales et contribue aujourd'hui à l'interprétation des résultats du suivi des récifs du Prado.

3 Méthodologie et mise en place des différentes missions

3.1 Mission 1 : Suivi du peuplement de poissons

Coordinateur : GIS Posidonie – Patrick Astruch et Laurence Le Diréach



Banc de sérioles (*Seriola dumerili*)

3.1.1 Objectifs de la mission

L'abondance et la diversité de l'ichtyofaune sont les indicateurs les plus visibles et aussi, le résultat le plus attendu du processus de colonisation de récifs artificiels en milieu côtier. Un soin particulier est, par conséquent, dédié au suivi de ce compartiment. Le peuplement de poissons a été échantillonné à chaque saison par recensement visuel de toutes les espèces observables en plongée sous-marine (Figure 3). Le suivi par comptage visuel du peuplement de poissons implique des conditions de luminosité optimales. Les comptages ont donc eu lieu la journée entre 10:00 et 16:00 (UT +2h). Les méthodes de recensement visuel des poissons en plongée sont éprouvées et utilisées depuis plus de 40 ans en Méditerranée (Harmelin-Vivien et Harmelin, 1975 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 1985) adaptées au contexte et à l'objet d'étude.



Figure 3 : Plongeur du GIS Posidonie réalisant un comptage (été 2020).

3.1.2 Protocole de comptage

La méthodologie utilisée dans le cadre de cette campagne 2019-2021 est strictement la même que celle du suivi obligatoire réalisé entre 2009 et 2014 (Astruch *et al.*, 2014) et du suivi de 2015 (Astruch *et al.*, 2016) afin de pouvoir permettre des comparaisons. Les méthodes de recensement visuel des poissons en plongée (Harmelin-Vivien et Harmelin, 1975 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 1985) ont été adaptées à la spécificité des récifs artificiels (Collart et Charbonnel, 1998) et au volume des récifs immergés dans le site du Prado. Le protocole de comptage tient avant tout compte du comportement des différentes espèces rencontrées (mobilité, domaine vital, rapport avec le récif), du volume et de l'architecture des récifs. Cet outil utilisé par des plongeurs scientifiques entraînés permet d'appréhender environ 50 % du peuplement total (Harmelin-Vivien *et al.*, 1985) dont la plupart des espèces démersales et benthiques d'intérêt patrimonial et commercial qui peuplent les fonds côtiers de la région.

Sur les 5 types de **récifs en béton (ACI, AMA, CHI, FAK, FIL)**, une méthodologie identique a été employée, dérivée de l'expérience de comptage sur d'autres aménagements récifaux de la côte méditerranéenne. La méthode est la suivante : deux plongeurs observateurs s'immergent en même temps sur un récif, à la fois pour des raisons de sécurité en plongée et pour appréhender l'ensemble du peuplement avec précision. **Le plongeur A** atteint directement le fond pour identifier et compter d'éventuelles espèces démersales mobiles, les individus craintifs ou erratiques, les gros prédateurs (loups, sars, etc.), qui ont tendance à s'éloigner rapidement à l'arrivée des plongeurs. Pendant ce temps, le **plongeur B** reste en pleine eau légèrement au-dessus du récif pour comptabiliser les espèces planctonophages (bogues, mendoles, etc.) souvent abondantes, avant de rejoindre à son tour le fond. Les deux observateurs parcourent ensuite l'ensemble du récif pour évaluer l'abondance du reste du peuplement et des espèces plus sédentaires. Pour être précis, chaque plongeur a en charge le comptage d'une liste d'espèces. Les deux listes complémentaires ont été établies en fonction des catégories d'occupation de la colonne d'eau (benthique, démersale mobile ou sédentaire, pélagique) pour que les deux observateurs ne se gênent pas. **La liste A** comprend une majorité d'espèces benthiques et les démersaux les plus mobiles dans et autour des récifs ; **la liste B** comprend les espèces de pleine eau et planctonophages et les espèces démersales moins mobiles. A l'issue de chaque plongée, les observateurs cumulent et confrontent leur comptage.

Sur les récifs de type **enrochement (ENR)** disposés à plat et qui sont trop vastes pour autoriser un comptage exhaustif de la structure, les 2 observateurs déroulent parallèlement un transect de 20 m de longueur et réalisent chacun un comptage sur une largeur de 5 m de l'ensemble du peuplement comme ils pourraient le faire sur un fond de roches naturelles. Ce protocole par transect correspond à celui utilisé sur substrat rocheux naturel sur la Côte Bleue ou dans les Calanques. Les observations sont ramenées à une surface (100 m²) ou un volume (m³ ou 100 m³) standard pour certaines comparaisons.

Toutes les espèces présentes sont prises en compte, une attention particulière est portée à la présence et à l'installation sur les récifs d'espèces d'intérêt commercial. Les espèces qui ont tendance à se cacher dans le récif ou entre les éléments qui composent le récif sont recherchées avec une lampe. Néanmoins, les petites espèces benthiques au comportement cryptique sont sous-estimées, ce qui est une des limites

de la méthode de comptage visuel en scaphandre. Les observateurs estiment la taille de chaque poisson (longueur totale = Lt), à 2 cm près, ainsi que le nombre d'individus de chaque espèce.

Lors d'une plongée (deux observateurs), il est possible d'échantillonner 2 à 3 récifs en fonction du type et de la distance entre les modules. La liste des 36 récifs suivis depuis le début (automne 2008/hiver 2009) a été conservée pour réaliser le présent suivi du peuplement de poissons. Ce dispositif permet d'avoir une vision globale de l'ensemble de la concession et de pouvoir ainsi mieux appréhender son peuplement et aussi d'en suivre l'évolution.

Afin d'optimiser le temps passé en plongée, les observateurs réalisent, à la suite des comptages sur les récifs désignés, l'inspection visuelle de leur structure et de leur état de conservation, afin de remplir la mission 4 (observations complétées par des photos).

L'unité d'échantillonnage de base et la plus utilisée pour les comparaisons inter-saisons et inter-modules est le réplikat. Un réplikat correspond à un comptage de 100 m² effectué par transect sur les enrochements (20 m x 5 m) dont la hauteur moyenne est estimée à 1 m (comptage ramené à 100 m³ d'aménagement) et à un comptage total et unique sur chaque récif béton (volume total compris entre 10.4 m³ et 252 m³, selon le type).

3.1.3 Structure de l'échantillonnage

Les comptages visuels ont été réalisés à chaque saison entre 2020 et 2021 et ont eu lieu la journée entre 10:00 et 16:00 (UTC +2h) afin de disposer de conditions de luminosité optimales (Tableau 1).

Tableau 1 : Dates et température de l'eau pour les quatre campagnes de suivi du peuplement de poissons

Saison	Date	Température de l'eau (°C)
Printemps	Du 03/06/2020 au 14/06/2020	14
Été	Du 15/09/2020 au 21/09/2020	21
Automne	Du 17/11/2020 au 24/11/2020	17
Hiver	Du 01/03/2021 au 05/03/2021	13

Les comptages visuels de poissons ont été réalisés sur les 6 types de récifs :

- Récif panier acier = ACI
- Récif amas de cubes = AMA
- Récif chicane = CHI
- Récif fakir = FAK
- Récif filière haute = FIL
- Amas de blocs rocheux ou enrochement = ENR (voir glossaire au début du volume).

Les récifs échantillonnés pour le suivi du peuplement de poissons sont les mêmes depuis le début du suivi obligatoire en 2009.

Chaque type de récif a été échantillonné 6 fois par campagne sur 6 modules différents du champ de récifs. Pour les récifs ENR, deux comptages sont réalisés par récif, matérialisés par 2 transects de 20 m de long par 5 m de large.

Un comptage complet a été réalisé par saison : 4 campagnes ont été réalisées pour ce nouveau suivi (du printemps 2020 à l'hiver 2021).

A chaque saison, 42 comptages ont donc été effectués sur l'ensemble des 6 types de modules récifaux (36 récifs différents suivis au total et toujours les mêmes depuis le début du suivi).

Tableau 2 : Effort d'échantillonnage par campagne annuelle pour le suivi des poissons sur les récifs artificiels.

Comptages	Nombre de saisons	Nombre de comptages V2, V3, V4 et V5	Nombre de réplicats
AMA	4	6	24
CHI	4	6	24
FAK	4	6	24
ACI	4	6	24
FIL	4	6	24
ENR	4	2 x 6 transects	48
Total récifs			168

Dans la présentation des résultats, l'ensemble des 5 types de récifs comportant des modules en béton assemblés en 3 dimensions est désigné par le terme '**modules béton**' par opposition aux assemblages de blocs de roche naturelle désignés par le terme '**enrochements**'.

L'analyse des données porte donc sur 168 réplicats supplémentaires, 120 comptages réalisés sur des modules en béton et 48 transects métrés réalisés sur les enrochements pour l'année étudiée (Tableau 2).

L'unité d'échantillonnage de base et la plus utilisée pour les comparaisons inter-saison et inter-module est le réplicat. Un réplicat correspond à un comptage de 100 m² effectué par transect sur les enrochements (20 m x 5 m) dont la hauteur moyenne est estimée à 1 m (comptage ramené à 100 m³ d'aménagement) et à un comptage total et unique sur un récif modulaire en béton (volume total compris entre 10.4 m³ et 252 m³, selon le type de module). La densité, la biomasse et le nombre d'espèces rencontrées sont donc moyennées en fonction du nombre de comptages réalisés et ramenés à une unité standard de volume pour autoriser les comparaisons entre périodes et entre types de récifs. Un nombre identique de réplicats est réalisé à chaque campagne.

Les mollusques céphalopodes et les crustacés d'intérêt halieutique ont aussi été considérés dans les comptages visuels.

3.1.4 Remarques sur la méthode après mise en œuvre

La méthode cherche à optimiser le nombre de réplicats pour les différents types de modules, à réduire la longueur des parcours en plongée, tout en garantissant la sécurité des plongeurs. Ainsi, chaque campagne de comptage visuel en plongée correspond à 16 plongées sur 36 modules, soit 4 jours minimum par saison. Il est arrivé que quelques plongées supplémentaires soient nécessaires, dans le cas d'une imprécision du positionnement à la mise à l'eau ou de conditions de visibilité médiocres. Le protocole présenté dans ce rapport est parfaitement opérationnel et réalisable dans les meilleures conditions.

A partir du printemps 2009, en raison des complications engendrées pour la sécurité de la proximité du chenal de navigation de la passe Sud, les 4 récifs sélectionnés initialement dans le village 1 ont été remplacés par 4 autres récifs (villages 2 et 3). Les récifs suivis sont présentés dans le Tableau 3 et la Figure 4.

Tableau 3 : Liste des récifs artificiels visités dans le cadre de la mission 1 (poissons). Les récifs sont classés par plongée (1 à 18), la position en degrés minutes (format WGS84), la profondeur en mètres, la distance et le cap au récif suivant sont mentionnés. Les plongées 15 et 16, situées initialement dans le village 1 ne sont plus suivies depuis le printemps 2009 avant le début du suivi obligatoire).

Plongée	Ordre	Zone	Nom récifs	Latitude	Longitude	Profondeur (m)	Distance (m)	Cap (°)
1	1.1	Non protégée	V4CH10	43°15,934	5°20,164	30	34	266
1	1.2	Non protégée	V4AM18	43°15,840	5°20,107	30	20	261
1	1.3	Non protégée	V4FAK3	43°15,839	5°20,092	30		
2	2.1	Non protégée	V4AM7	43°15,845	5°20,320	28	19	177
2	2.2	Non protégée	V4FAK2	43°15,835	5°20,320	28		
3	3.1	Non protégée	V4ACI1	43°15,917	5°20,258	28	30	150
3	3.2	Non protégée	V4FIL1	43°15,903	5°20,269	28		
4	4.1	Non protégée	V4ACI2	43°15,921	5°20,154	29	31	208
4	4.2	Non protégée	V4FIL2	43°15,906	5°20,143	29		
5	5.1	Non protégée	V4CH14	43°15,902	5°20,205	29	65	295
5	5.2	Non protégée	V4ENR1	43°15,916	5°20,162	28		
6	6.1	Non protégée	V4ENR5	43°15,946	5°20,183	28	14	171
6	6.2	Non protégée	V4ENR6	43°15,938	5°20,184	28		
7	7.1	Non protégée	V5ACI2	43°15,750	5°20,259	28	28	214
7	7.2	Non protégée	V5FIL2	43°15,738	5°20,247	29		
8	8.1	Non protégée	V5CH10	43°15,669	5°20,234	29	30	289
8	8.2	Non protégée	V5AM18	43°15,675	5°20,213	30	30	268
8	8.3	Non protégée	V5FAK3	43°15,675	5°20,191	30		
9	9.1	protégée	V3AM18	43°16,081	5°19,988	30	23	221
9	9.2	protégée	V3FAK3	43°16,072	5°19,976	30		
10	10.1	protégée	V3ENR3	43°16,143	5°20,013	28	42	340
10	10.2	protégée	V3CH13	43°16,164	5°20,003	29		
11	11.1	protégée	V3ACI2	43°16,154	5°19,915	30	11	142
11	11.2	protégée	V3CH5	43°16,149	5°19,919	30	21	148
11	11.3	protégée	V3FIL2	43°16,139	5°19,927	30		
12	12.1	protégée	V3ACI1	43°16,221	5°19,971	29	13	90
12	12.2	protégée	V3CH2	43°16,221	5°19,981	29	23	100
12	12.3	protégée	V3FIL1	43°16,218	5°19,997	29		
13	13.1	protégée	V3ENR6	43°16,180	5°19,929	29	29	297
13	13.2	protégée	V3ENR5	43°16,188	5°19,911	29		
14	14.1	protégée	V3AM8	43°16,209	5°19,879	29	36	321
14	14.2	protégée	V3FAK1	43°16,224	5°19,863	29		
15	15.1	protégée	V1AM14			29	remplacé depuis printemps 2009	
15	15.2	protégée	V1FAK3			30	remplacé depuis printemps 2009	
16	16.1	protégée	V1ACI2			29	remplacé depuis printemps 2009	
16	16.2	protégée	V1FIL2			29	remplacé depuis printemps 2009	
17	17.1	protégée	V3AM15	43°16,208	5°20,091	28	19	19
17	17.2	protégée	V3FAK2	43°16,217	5°20,096	28		
18	18.1	protégée	V2ACI3	43°16,333	5°20,041	28	41	213
18	18.2	protégée	V2FIL3	43°16,315	5°20,024	28		

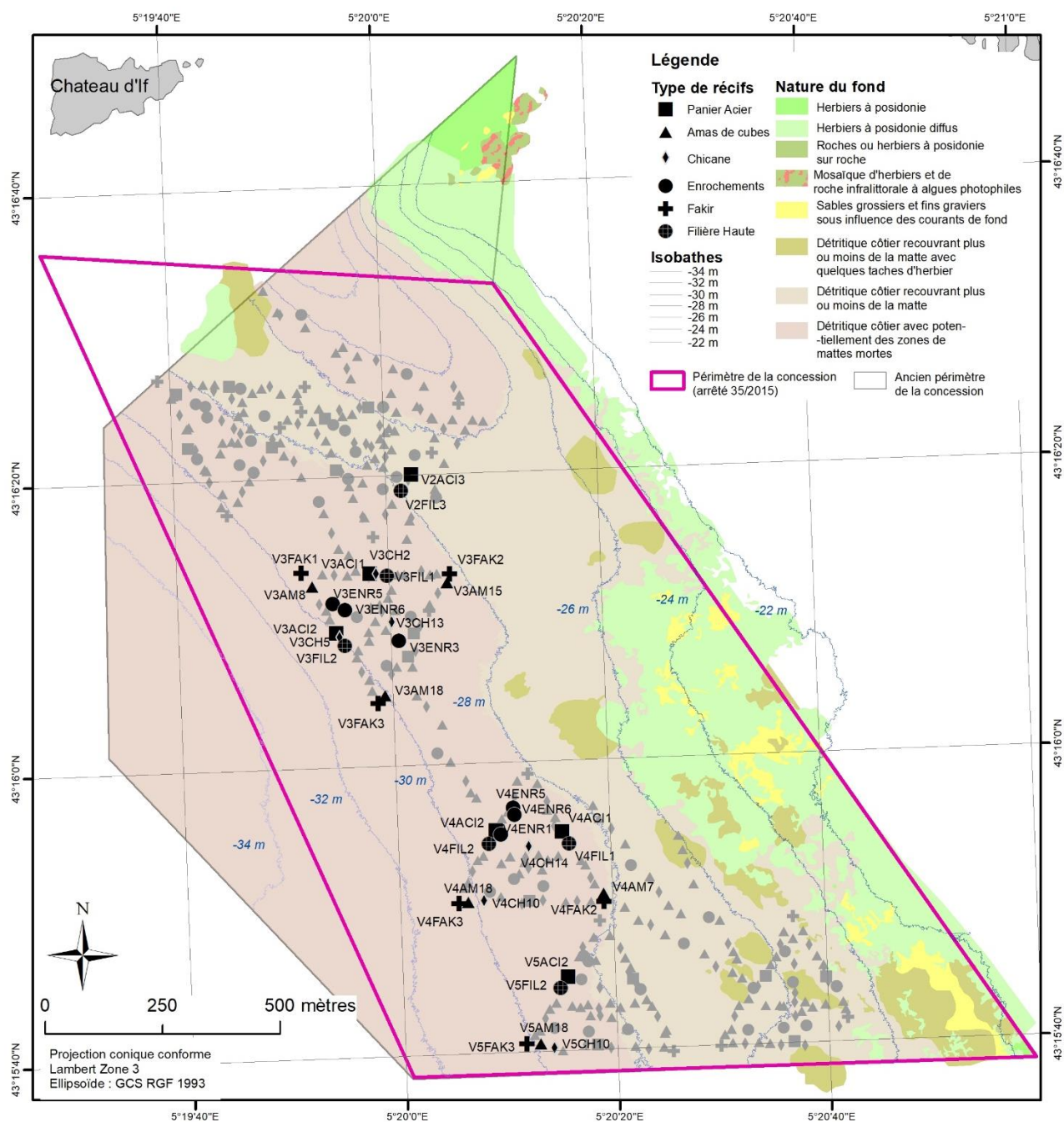


Figure 4 : Récifs artificiels échantillonnés dans le cadre du suivi du peuplement de poissons entre 2009 et 2021. Les récifs visités figurent en noir, les autres récifs figurent en gris.

3.1.5 Traitement des données

3.1.5.1 Calcul des différentes métriques d'évaluation écologique

Les comptages notés sur des feuilles immergeables pendant la plongée ont été saisis dans une base de données réalisée avec le logiciel Microsoft Access®. Les données ainsi archivées sont conservées et utilisables sous un format unique et standardisé, exportables sous forme de tables au format Excel® pour le traitement des données. Les analyses du peuplement de poissons portent sur 3 variables principales suivies dans le temps et dans l'espace :

- **richesse** spécifique en nombre d'espèces
- **densité** en nombre d'individus par m³
- **biomasse** en g par m³.

La biomasse a été calculée *a posteriori* à partir de la taille des poissons, grâce à des relations taille-poids. Un référentiel de taille maximale (FAO) et de coefficients *a* et *b* (Fish Base, ECOCEN, littérature) permettant de calculer les relations taille/poids pour toutes les espèces observées, a été mis dans la base de données du GIS Posidonie et peut être incrémenté ou modifié à tout moment.

La relation simple liant la longueur à la masse est la suivante :

$$W = a \times L^b$$

où **W** est la masse du poisson exprimée en grammes

L est la longueur exprimée en centimètres

a est une constante dépendant de l'espèce considérée

b est le coefficient d'allométrie généralement voisin de 3.

Le calcul de *a* et de *b* est possible dès que l'on dispose de données en nombre suffisant (masses ou longueurs), dans toute l'étendue de la gamme et donc de préférence récoltées à différentes périodes de l'année. Les valeurs de *a* et *b* sont disponibles dans la littérature et différents référentiels existent dont le référentiel Fishbase.

Le nombre d'espèces rencontrées, la densité et la biomasse sont donc moyennées en fonction du nombre de comptages réalisés et le plus souvent ramenés à une unité standard de volume pour autoriser les comparaisons entre périodes, entre types de récifs et entre zones. La biomasse totale a aussi été estimée en kg pour chaque type de récif pour mieux se rendre compte de ce que cela représente par type de structure – donc, non ramenée au volume standard.

3.1.5.2 Prise en compte de la structure trophique du peuplement

Une analyse de la structure trophique du peuplement a été menée, selon les catégories définies par Bell et Harmelin-Vivien (1983) pour comparer les peuplements échantillonnés lors des différentes campagnes et pour comparer les peuplements observés sur chaque type de récif. Sept groupes d'espèces ont été considérés :

- **planctonophages diurnes (PPD)** : espèces de pleine eau s'alimentant la journée. Les principales espèces de ce groupe sont : *Boops boops*, *Spicara* spp., *Chromis chromis*, etc. ;
- **planctonophages nocturnes (PPN)** : espèces s'alimentant de zooplancton la nuit. *Anthias anthias* et *Apogon imberbis* appartiennent à ce groupe ;
- **herbivores (HE)** : seule la saupe *Sarpa salpa* appartient à ce groupe, seule espèce de poisson exclusivement herbivore présente en Méditerranée nord occidentale ;
- **mésocarnivores (ME)** : il s'agit de prédateurs de proies de taille moyenne, crustacés, mollusques, etc. Dans ce groupe il y a l'ensemble des labridés, quelques sparidés (*Diplodus sargus*, *D. vulgaris*, *D. annularis*, *Pagellus erythrinus*), *Mullus surmuletus*, *Sciaena umbra*, *Phycis phycis*, etc. ;
- **omnivores (OM)** : *Diplodus puntazzo*, *Spondyllosoma cantharus*, *Pagellus acarne* et tous les Mugilidés appartiennent à ce groupe ;
- **macrocarnivores (MA)** : Il s'agit de prédateurs de proies de grande taille, crustacés, mollusques et éventuellement téléostéens. Les principales espèces appartenant à ce groupe sont *Scorpaena porcus*, *S. notata*, *Pagrus pagrus*, *Serranus* spp., *Muraena helena* ;
- **piscivores (PI)** : il s'agit de prédateurs de proies de grandes tailles majoritairement composées de téléostéens. *Dicentrarchus labrax*, *Scorpaena scrofa*, *Conger conger*, *Dentex dentex*, *Epinephelus marginatus* sont les principales espèces constituant ce groupe.

3.1.5.3 Prise en compte de la structure spatiale du peuplement

Les catégories d'occupation spatiale du peuplement de poissons telles que définies par Harmelin (1987) permettent une description synthétique de la répartition dans l'espace des différentes espèces présentes en fonction de leur écologie et de leur comportement (Figure 5). Les catégories sont les suivantes :

- **catégorie 1** : regroupe les **espèces de pleine eau**, grégaires et très mobiles, avec un domaine spatial vaste et une activité diurne. Elle comprend notamment les espèces suivantes : *Spicara* sp., *Boops boops*, *Oblada melanura*, les mugilidés en général, *Dicentrarchus labrax*, *Seriola dumerili* ;
- **catégorie 2** : regroupe des **poissons sédentaires vivant en banc** dans toute la colonne d'eau. *Chromis chromis* et *Anthias anthias* appartiennent à cette catégorie ;
- **catégorie 3** : comprend des **espèces necto-benthiques** effectuant des **déplacements verticaux d'amplitude moyenne** (quelques mètres) et des déplacements latéraux plus ou moins importants, mais avec une fidélité stationnelle marquée. Ce sont les sparidés à activité diurne : *Diplodus* spp., *Spondyllosoma cantharus*, *Sparus aurata*, *Sarpa salpa*, *Dentex dentex*, et *Epinephelus marginatus* ;
- **catégorie 4** : regroupe des **espèces necto-benthiques à déplacements verticaux très faibles** et à déplacements latéraux importants. Seul *Mullus surmuletus* appartient à cette catégorie ;
- **catégorie 5** : comprend des **espèces necto-benthiques à forte sédentarité** ayant des déplacements verticaux et latéraux faibles. Cette catégorie regroupe tous les labridés présents

ainsi que deux espèces de serranidés : *Serranus cabrilla* et *Serranus scriba*, et un scianidé : *Sciaena umbra* ;

- **catégorie 6** : la dernière catégorie inclut des **espèces necto-benthiques à très forte sédentarité**. Ces poissons présentent des déplacements verticaux quasi nuls et des déplacements verticaux rares et de très faible amplitude. Ce sont pour la plupart des espèces dépendantes d'un abri, constituant un refuge momentané ou pour un repos cyclique. Deux sous-catégories 6a et 6b sont distinguées. La **catégorie 6a** comprend des espèces statiques à l'extérieur des abris. Ce sont des espèces diurnes : blenniidés, gobiidés, et triptérygiidés. La **catégorie 6b** comprend des espèces à tendance nocturne : scorpaenidés, *Conger conger*, *Phycis phycis*. La catégorie 6a n'est pas considérée dans l'analyse des données, étant donné que les espèces et taxons la constituant ne sont pas pris en compte dans les recensements.

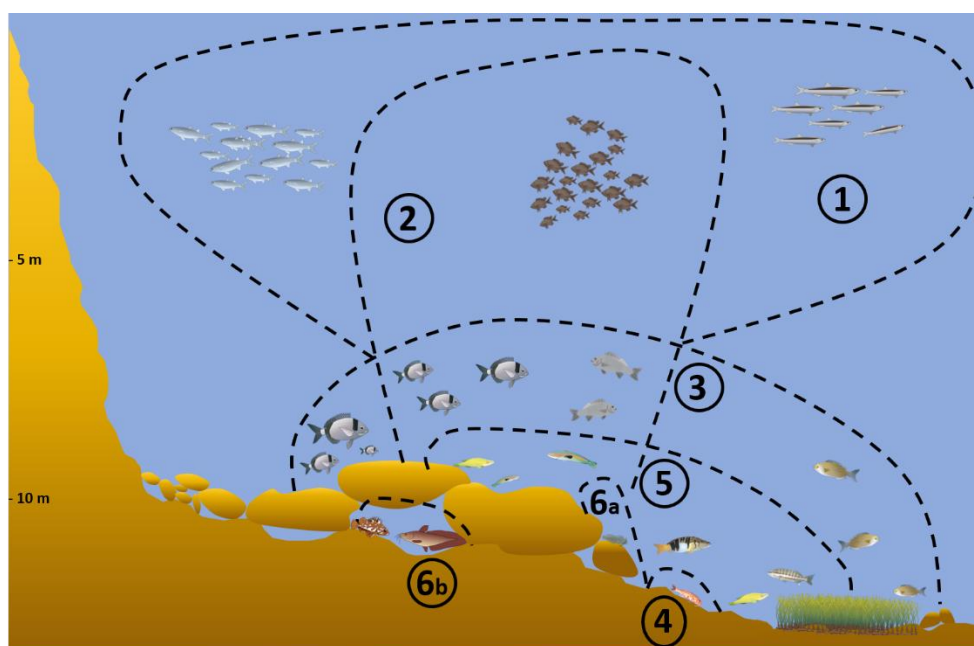


Figure 5. Organisation spatiale de l'ichtyofaune sur les fonds rocheux infralittoraux méditerranéens (modifiée d'après Harmelin, 1987).

3.1.5.4 Définition et liste des espèces cibles de la pêche

L'ensemble des travaux de recensement de poissons par comptages visuels réalisés depuis une trentaine d'année dans les aires marines protégées de Méditerranée (Harmelin, 1987 ; Bouchereau et al., 1992a et 1992b ; Francour, 1994 ; Jouvenel, 1997) croisés avec les évaluations de captures de la pêche artisanale professionnelle (Cadiou et al., 2009, Bonhomme et al., 2011, Le Diréach et al., 2011) et de la pêche amateur (Chavoïn et Boudouresque, 2004 ; Dubreuil et al., 2008; Bonnard, 2009, Le Diréach et al., 2012, Leleu et al., 2012, 2014) ont permis d'identifier certaines espèces comme particulièrement vulnérables à certains modes de pêche. La densité ou l'analyse des classes de taille de ces espèces définies comme 'cibles' constituent des indicateurs d'impact de certains usages (Harmelin et al., 1995).

En complément de l'analyse globale ou par famille ou par espèce, l'agrégation de ces différentes espèces cibles, peut permettre de mettre en évidence l'effet refuge ou l'impact de la protection dans le champ de récifs par rapport aux différentes activités humaines de prélèvement (pêche professionnelle, pêche à la ligne, chasse sous-marine).

Les espèces cibles de la pêche professionnelle sont les espèces dites 'commerciales', qui composent en majorité la catégorie 'beau poisson' utilisée par les pêcheurs professionnels. Pour la plupart, ce sont des espèces carnivores de grande taille : le loup, les sparidés en général, dont la daurade, le denti et les sars. D'autres espèces figurant dans les captures des pêcheurs n'ont pas été prises en compte car elles ne constituent pas la cible principale.

Les espèces cibles de la pêche sous-marine sont les mêmes, ainsi que les grand labres (moins recherchés par les professionnels).

Aux espèces cibles de la pêche à la ligne se rajoutent les girelles et les serrans, espèces de petite taille recherchées pour la friture ou la soupe. Ces deux espèces ne sont pas à proprement parler des espèces nobles recherchées par le pêcheur, mais leur comportement (territorial, vorace) les rend vulnérables à la pêche récréative.

La liste (Tableau 4) des espèces cibles prises en compte fondée sur les travaux menés sur la Côte Bleue comprenait initialement 16 espèces cibles (Daniel *et al.*, 2002), puis 20 espèces (Jouvenel *et al.*, 2005). Elle a été étendue à 27 (rajout en particulier d'espèces cibles cryptiques de grande taille : congre, chapon et mostelle) (Astruch *et al.*, 2009, 2016).

Tableau 4 : Liste des espèces cibles agrégées pour le traitement des données. P : espèce ciblée par la pêche professionnelle ; L : espèce ciblée par la pêche amateur à la ligne ; C : espèce ciblée par la chasse sous-marine.

Famille	Espèce	Nom commun	Cible
Moronidés	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Loup	P L C
Sparidés	<i>Dentex dentex</i>	Denti	P L C
	<i>Diplodus cervinus</i>	Sar tambour	P L C
	<i>Diplodus puntazzo</i>	Sar à museau pointu	P L C
	<i>Diplodus sargus</i>	Sar commun	P L C
	<i>Diplodus vulgaris</i>	Sar à tête noire	P L
	<i>Pagellus acarne</i>	Pageot	P L
	<i>Pagellus erythrinus</i>	Pageot	P L
	<i>Pagrus pagrus</i>	Pagre	P L C
	<i>Sparus aurata</i>	Daurade royale	P L C
Serranidés	<i>Serranus cabrilla</i>	Serran chevrette	L
	<i>Serranus scriba</i>	Serran écriture	L
Labridés	<i>Labrus merula</i>	Labre merle	P L C
	<i>Labrus viridis</i>	Labre vert (lasagne)	P L C
	<i>Labrus mixtus</i>	Labre coquette	L
	<i>Symphodus mediterraneus</i>	Crénilabre méditerranéen	L
	<i>Symphodus tinca</i>	Crénilabre paon	L C
	<i>Coris julis (mâle)</i>	Girelle royale	L
Carangidés	<i>Seriola dumerili</i>	Sérieole	P L C
	<i>Sarda sarda</i>	Pélamide	P L
Scorpaenidés	<i>Scorpaena scrofa</i>	Chapon	P C
Mullidés	<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget de roche	P L C
Congridés	<i>Conger conger</i>	Congre	P C
Gadidés	<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	Motelle	P
	<i>Phycis phycis</i>	Mostelle	P C
Zéidé	<i>Zeus faber</i>	Saint-Pierre	P C
Soléidé	<i>Solea sp.</i>	Soles diverses	P C

La liste ci-dessus n'est pas figée, elle est discutable selon l'approche que l'on a des espèces cibles, toutefois, on ne peut y introduire toutes les espèces côtières. D'autres espèces cibles pourraient la compléter dans les suivis à venir. Toutefois, les comparaisons à venir dans le cadre de ce suivi devront se fonder sur la présente liste.

3.1.5.1 Extrapolation à l'échelle de la concession de la biomasse de téléostéens

L'extrapolation des données de biomasse de téléostéens à l'échelle de la concession a été réalisée par méthode *bootstrap*. Le principe de cette méthode est d'approcher par simulation (Monte Carlo) la distribution d'un estimateur lorsque l'on ne connaît pas la loi de l'échantillon ou, plus souvent, lorsque l'on ne peut pas supposer qu'elle est gaussienne (Efron, 1982). L'objectif est de remplacer par des simulations, des hypothèses probabilistes pas toujours vérifiées ou invérifiables. Cette méthode permet de calculer des moyennes, des extrapolations et leur intervalle de confiance à 95% sans hypothèse (normalité) sur la véritable loi des données échantillonnées.

Dans notre cas, nous nous sommes basés sur les évaluations de biomasse réalisées pour chaque campagne (6 comptages pour les 6 types de récifs par campagne). Les valeurs pour $6 \times 6 = 36$ récifs sont connues puisque mesurées *in-situ*. Il manque donc à calculer $400 - 36 = 384$ valeurs de biomasse pour les récifs non visités. Ces valeurs non connues sont donc tirées au sort (avec remise) pour chaque type de récif parmi les échantillons connus (Tableau 5). Pour le type Chicane CHI par exemple, 100 modules sont répartis dans la concession de récifs artificiels. Six valeurs sont donc connues par campagne et 94 vont être tirées au sort parmi les 6 valeurs connues pour compléter l'estimation des biomasses.

Le tirage au sort de l'ensemble des valeurs inconnues, complétées par les valeurs connues des échantillons constitue l'échantillon *bootstrap* d'une simulation. La somme des 400 biomasses est ensuite calculée pour obtenir une valeur extrapolée à l'échelle de la concession. Ces étapes de simulation ont été réalisées 10 000 fois de manière indépendante pour aboutir à 10 000 calculs de biomasse à l'échelle de la concession. La valeur de biomasse retenue pour l'extrapolation est la moyenne des 10 000 biomasses simulées. L'ensemble de ces valeurs constitue la distribution des valeurs de biomasses extrapolées. Il est donc possible de calculer un intervalle de confiance à 95% en récupérant la valeur des quantiles à 2.5% et 97.5%.

Les 10 000 simulations ont enfin été réalisées pour les 27 campagnes de suivi, pour la biomasse totale et pour la biomasse des espèces cibles de la pêche.

Tableau 5. Tableau récapitulatif du nombre de données tirées au sort pour chaque simulation de chaque campagne de suivi pour l'extrapolation des biomasses à l'échelle de la concession.

Type de récif	Nb de récifs dont la biomasse est connue	Nb de récifs dont la biomasse est inconnue et donc tirée au sort parmi les valeurs connues	Total
ACI - Panier-Acier	6	14	21
AMA - Ama de bloc	6	195	201
CHI - Chicane	6	94	100
ENR - Enrochement	6	37	43
FAK - Panier-Fakir	6	15	21
FIL - Filière haute	6	8	14

3.1.5.2 Traitement statistique

Les données des comptages de poissons ont été analysées grâce à des modèles linéaires généralisés (GLM) de différents types selon la distribution des données de chaque métrique. Pour chaque analyse, un traitement indépendant pour chacun des 6 type de récif a été réalisé, en tenant compte de l'année de suivi, de la saison et de la campagne (interaction entre l'année et la saison). Une analyse supplémentaire a ensuite été réalisée afin de comparer les différences entre types de récif, uniquement pendant la campagne 2020/2021. Les variables significatives ont ensuite été sélectionnées puis détaillées en réalisant des tests post-hoc de Tukey.

La richesse spécifique (RS) et la RS des espèces cibles ont donc été analysées avec des GLM de loi quasi-poisson (Tableau 7). La densité réduite, la biomasse totale et la biomasse des espèces cibles de la pêche ont été analysées avec des GLM de loi Gamma (fonction de lien *log*). Lorsque les données d'une métrique étaient composées d'une quantité de comptages nuls non négligeables, cette dernière a été analysée en deux étapes, en partant du principe que la moyenne d'une variable peut être décomposée comme le produit (i) de la fréquence d'occurrence et (ii) de la moyenne des valeurs non nulles. La prise en compte de ces 2 variables conjointement, appelé '*Zero Inflated Model*' dans la littérature, peut apporter un élément de variabilité supplémentaire lors de l'analyse des comptages observée (Zuur *et al.*, 2009).

La première méthode consiste à analyser la fréquence d'occurrence en fonction des différentes variables prises en compte par un GLM de loi Binomiale (fonction de lien *logit*). La deuxième analyse consiste à ne traiter que les valeurs non nulles, et d'observer leur variation en fonction des variables sélectionnées avec des GLM de loi Gamma (fonction de lien *log*). Ces dernières analyses concernent la densité des poissons planctonophages, la biomasse des poissons herbivores, des poissons macrocarnivores, des poissons mésocarnivores, et des poissons piscivores.

Certaines valeurs extrêmes observées dans des comptages (outliers) ont été retirées de l'analyses, lorsqu'elles empêchaient la bonne utilisation d'un GLM pour l'analyse. Ces observations retirées sont tout de même prises en compte dans les graphiques et pour l'interprétation des données.

Enfin, la composition des assemblages par groupe trophique et par groupe spatial a été analysée grâce à des perMANOVA (Anderson, 2001) en utilisant une transformation par racine carrée et la distance de similarité de Bray-Curtis. Cette méthode permet de tester les différences entre compositions par type de récif et par saison uniquement pour la campagne 2020/2021. Des nMDS ont été réalisées afin de visualiser graphiquement la répartition de ces assemblages et en faisant apparaître les groupes qui influencent le plus les compositions (Minchin, 1987). Cette méthode réutilise la même matrice de similarité que celle calculée pour la perMANOVA.

Pour l'ensemble des tests statistiques, le seuil de significativité est fixé à 5%, mais les p-values inférieures à 10% pourront également être interprétées pour mettre en avant une tendance.

Pour rappel, la variable *année* est composée de 8 modalités, la variable *saison* de 4 modalités, et la variable *campagne* de 27 modalités (Tableau 7).

L'ensemble des analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2020), les graphiques ont été produit avec le package *ggplot2* (Wickham, 2016) et les analyses perMANOVA avec le package *vegan* (Oksanen *et al.*, 2019).

Tableau 6. Détails des modèles utilisés pour l'analyse de chaque métrique.

Métriques globales analysées	Métriques secondaires	Modèles utilisés
Richesse spécifique totale		GLM quasi poisson
Richesse spécifique espèces cibles		GLM quasi poisson
Densité réduite		GLM Gamma (lien log)
Densité des planctonophages	- Fréquence d'occurrence - Densité de planctonophages des comptages non nuls	GLM Binomiale (lien logit) GLM Gamma (lien log)
Biomasse totale		GLM Gamma (lien log)
Biomasse des espèces cibles de la pêche		GLM Gamma (lien log)
Biomasse des herbivores	- Fréquence d'occurrence - Biomasse des bancs de poissons des comptages non nuls	GLM Binomiale (lien logit) GLM Gamma (lien log)
Biomasse des macrocarnivores	- Fréquence d'occurrence - Biomasse des bancs de poissons des comptages non nuls	GLM Binomiale (lien logit) GLM Gamma (lien log)
Biomasse des mésocarnivores	- Fréquence d'occurrence - Biomasse des bancs de poissons des comptages non nuls	GLM Binomiale (lien logit) GLM Gamma (lien log)
Biomasse des piscivores	- Fréquence d'occurrence - Biomasse des bancs de poissons des comptages non nuls	GLM Binomiale (lien logit) GLM Gamma (lien log)
Composition par groupe trophique		perMANOVA (9999 permutations)
Composition par groupe spatiale		perMANOVA (9999 permutations)

Tableau 7. Détail des modalités pour chaque variable utilisée pour le traitement statistique.

Type	Variables	Modalités
Variables	année (n=8)	2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2020/2021
Variables	saison (n=4)	hiver (H), printemps (P), été (E), automne (A)
Interaction	année x saison = campagne (n=27)	2009 H, 2009 P, 2009 E, 2009 A, 2010 H, 2010 P, 2010 E, 2010 A, 2011 H, 2011 P, 2011 E, 2011 A, 2012 H, 2012 P, 2012 E, 2012 A, 2013 H, 2013 P, 2013 E, 2013 A, 2014 H, 2014 P, 2015 A, 2020/2021 P, 2020/2021 E, 2020/2021 A, 2020/2021 H

3.1.6 Résultats attendus

Le protocole qui a été mis en place permet de répondre aux attentes du cahier des charges. A partir de la richesse spécifique par type de récif et de la fréquence des espèces sur chaque module suivi dans chaque site, il est possible, à l'issue de chaque campagne, de :

- réaliser une comparaison d'une année à l'autre de l'évolution du peuplement à partir des variations de la richesse spécifique et de la répartition des classes de taille ;
- de comparer ces résultats aux différents suivis du peuplement de poisson réalisés depuis 2009 ;
- d'évaluer l'influence du type de récif sur le peuplement de poissons (affinités de certaines espèces pour les particularités de chaque structure) ;
- de calculer la biomasse de l'échantillonnage et de l'extrapoler à toute la zone des récifs, en particulier pour les espèces d'intérêt commercial.

D'autre part, à partir de l'échantillonnage réalisé, il est possible d'analyser ou de discuter également d'autres résultats :

- la structure du peuplement de poissons et la dynamique de son installation (types d'espèces présentes, catégories trophiques et catégories spatiales de répartition), l'évolution de la structure démographique de certaines espèces ;
- la dynamique saisonnière ;
- les comportements particuliers (fuite, comportement reproducteur, nidification, prédation...), les caractéristiques d'un peuplement en cours d'installation ;
- les résultats obtenus dans d'autres concessions de récifs.

Nous avons recherché dans cette nouvelle analyse des données du suivi à mieux mettre en évidence les caractéristiques du peuplement propres à chaque type de module, afin de rendre utile à d'autres aménagements éventuels les innovations faites dans le cadre de la conception de certains modules de l'opération « RECIFS PRADO ».

Les planches photographiques, qui suivent, illustrent la mission et le type d'observations réalisées au cours du suivi.

	
Congre (<i>Conger conger</i>) dans un parpaing d'un panier acier	Serran chevrette (<i>Serranus cabrilla</i>) dans un fakir
	
Crénilabre de méditerranée (<i>Symphodus mediterraneus</i>) sur un enrochement	Chapon (<i>Scorpaena scrofa</i>) sur une poutre acier d'un panier acier
	
Murène (<i>Muraena helena</i>) dans un fakir	Banc de sérieole (<i>Seriola dumerili</i>) sur un enrochement

	
Rougets de roche (<i>Mullus surmuletus</i>) sur un enrochement	Mostelle (<i>Phycis phycis</i>) dans un fakir
	
Sar à museau pointue (<i>Diplodus puntazzo</i>) dans un fakir	Corbs (<i>Sciaena umbra</i>) dans un panier acier
	
Girelle commune (<i>Coris julis</i>) mâle dans un enrochement	Picarel (<i>Spicara maena</i>) dans un récif filière haute

3.2 Mission 2 : Suivi de la colonisation benthique des récifs

Coordinateur : Elodie Rouanet et Bruno Belloni



Pochon à huîtres colonisé

3.2.1 Objectifs de la mission

La colonisation par les organismes benthiques est fondamentale dans le processus d'installation de la chaîne trophique au niveau des récifs. Les principaux compartiments sont : la flore, la faune fixée et la petite faune vagile et sédentaire. Ces compartiments contribuent au fonctionnement du peuplement récifal, soit en structurant des communautés, soit en apportant des ressources trophiques nécessaires à la sédentarisation des peuplements de poissons ou de grands invertébrés.

Les observations faites en 2020 et 2021 ont pour objectif d'évaluer la colonisation des récifs artificiels par les communautés de macro-invertébrés et de macrophytes selon les villages, le type de module, les matériaux (béton, acier) mais aussi selon l'orientation des parois des récifs considérés plus de 10 ans après l'immersion des récifs (Figure 6). La richesse spécifique, l'abondance, le recouvrement et la structure démographique sont des variables du suivi d'espèces structurant l'habitat (espèces érigées). Des approches par photo-quadrats, par enregistrements vidéo et par recensements semi-quantitatifs ont été développées pour la collecte des données.

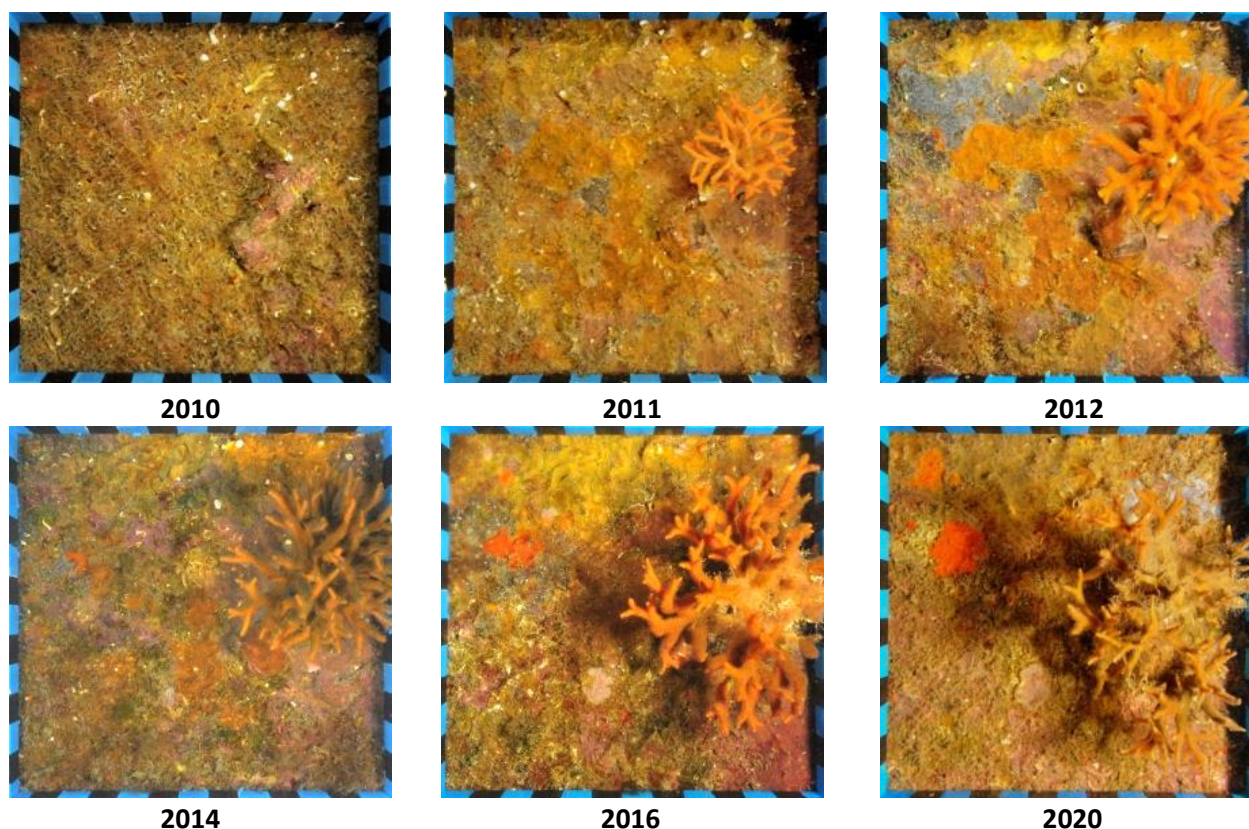


Figure 6 : Illustration du même quadrat suivi à pas de temps variable au cours de 10 années. La colonie érigée du *bryozoaire* *Turbicellepora avicularis* s'est considérablement développée.

3.2.2 Protocole

Entre 2009 et 2014, le suivi de la colonisation benthique a été appréhendé selon cinq méthodes :

- un recensement *in situ* des macro-invertébrés ;
- un recensement des invertébrés benthiques sessiles par quadrats photographiques ;
- un suivi photographique du paysage récifal ;
- un recensement de la biomasse benthique par grattage ;
- un recensement de la petite faune mobile par prélèvement d'un pochon de coquilles d'huîtres.

Après la fin du suivi obligatoire et au cours des suivis de 2016 et de 2021, les échantillonnages par grattage et par prélèvement d'un pochon de coquilles d'huîtres n'ont pas été reconduits. Par ailleurs, au cours du temps, la diversité et l'abondance des espèces ayant considérablement augmenté, l'échantillonnage des macro-invertébrés par recensement *in situ* était devenu difficile à réaliser au cours d'une plongée. Lors du suivi de 2016, le recensement a été réalisé à partir d'images vidéo selon un parcours défini ; les principales espèces érigées ont, quant à elles, été recensées par comptage *in situ*.

Dans le cadre de ce suivi à T+10 ans, quatre méthodes ont été mises en œuvre afin de suivre la colonisation benthique des récifs artificiels :

- un recensement des invertébrés benthiques sessiles par quadrats photographiques ;
- un recensement des macro-invertébrés par images vidéo selon un parcours défini ;
- un recensement *in situ* d'un cortège sélectionné d'espèces ;
- un suivi photographique du paysage récifal.

L'échantillonnage a été effectué sur les 18 récifs des villages 3 et 4 suivis de 2009 à 2014 et en 2016 (Figure 7). Les plongées ayant permis de réaliser les photo quadrats et les parcours vidéo ont été réalisées le 13 et le 26 juin 2020. Le recensement visuel des macro-invertébrés s'est déroulé du 8 au 10 mars 2021. Le traitement des données issues des parcours vidéo a été réalisé sur les 12 récifs qui ont été suivis avec cette méthode en 2016.

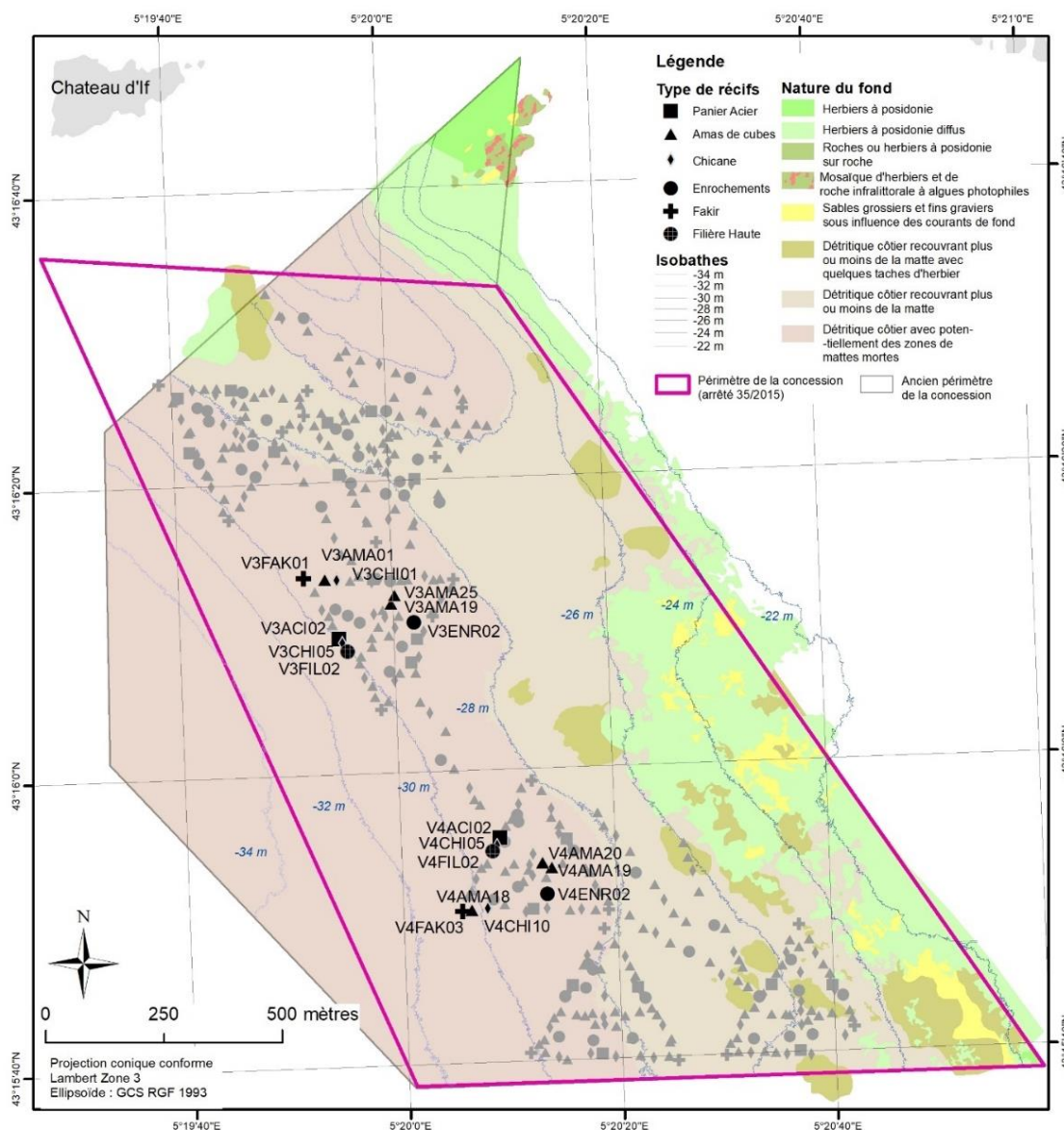


Figure 7 : Récifs artificiels échantillonnés dans le cadre du suivi des communautés benthiques en 2020/2021. Les récifs visités sont figurés en noir et les autres en gris

3.2.2.1 Suivi par photo-quadrats

La méthode de suivi par **quadrats photographiques** présente de nombreux avantages pour cette étude : (i) elle minimise le temps de plongée ; (ii) elle est moins subjective que les inventaires *in situ* ; (iii) elle est non destructrice. De plus, cette approche permet d'acquérir une banque d'images sur la dynamique de colonisation des surfaces planes. Le temps de traitement informatique de ces photos est dépendant de ce que l'on souhaite suivre ou mesurer.

Des séries de photos ont été réalisées sur chaque type de module à chaque saison entre 2009 et 2014 et uniquement au printemps en 2016 et 2020. Les quadrats photographiques ont été réalisés à l'aide d'un cadre de 25 cm x 25 cm (625 cm²) fixé sur un appareil photo (Sony RX 100 III et caisson ISOTA équipé d'un phare Big Blue® de 33 000 Lumens) garantissant ainsi une surface photographiée connue (Figure 8). Le

positionnement des quadrats est repéré au moyen de schémas imprimés sur plaquettes immergeables (Figure 9 Figure 8). La même surface du même module est suivie saisonnièrement et annuellement.

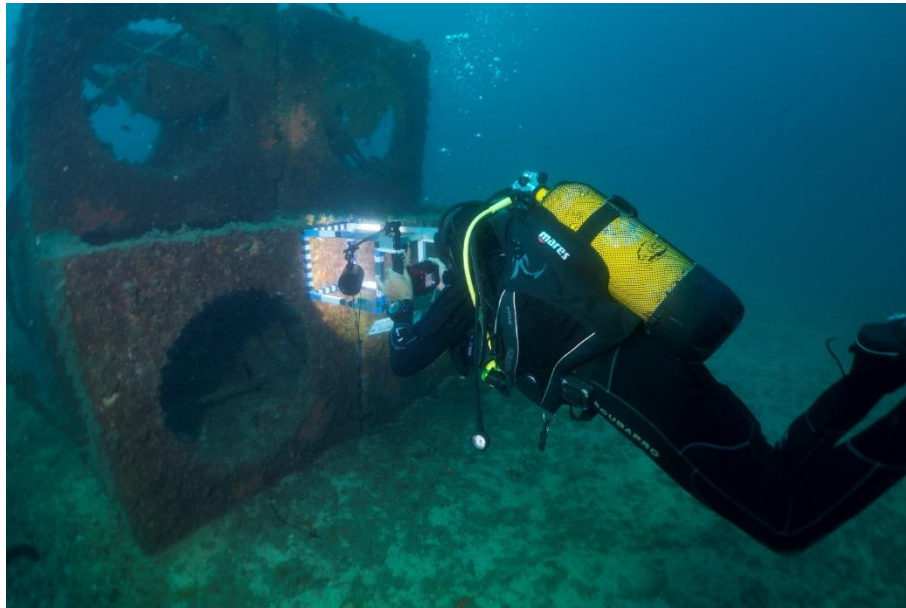


Figure 8 : Plongeur en train de réaliser un photo-quadrat sur un amas de cube

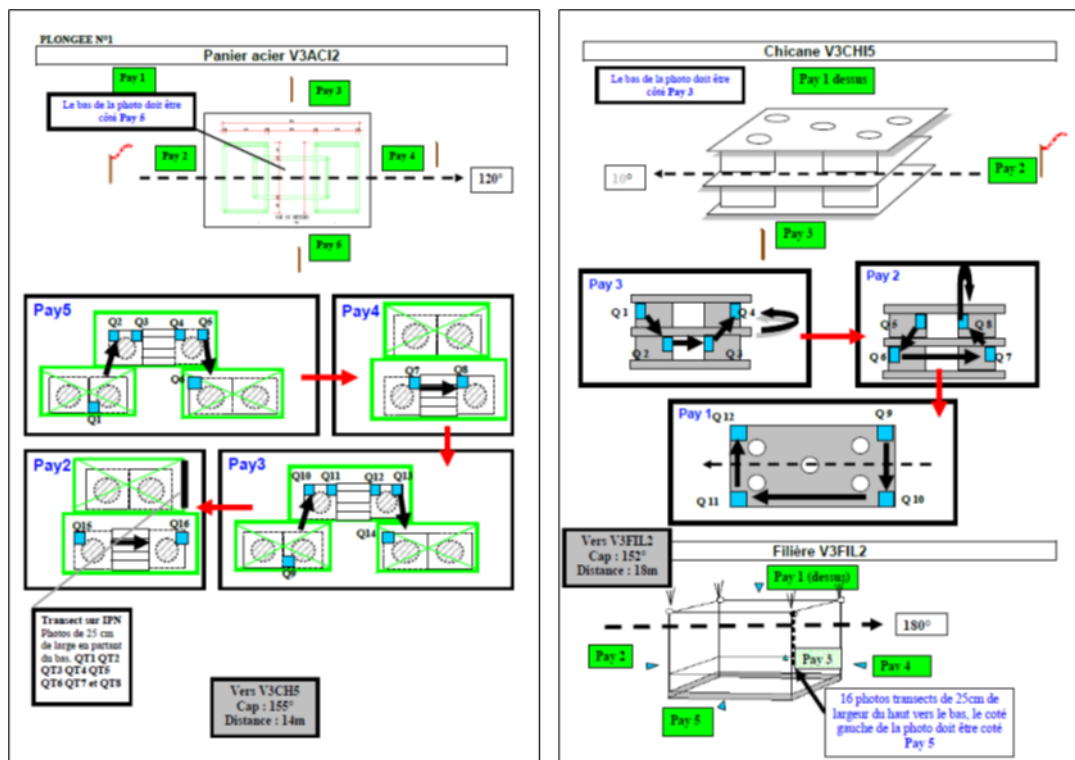


Figure 9 : Illustration de la plaquette immergeable d'une plongée permettant de positionner correctement les quadrats photographiques pour le suivi de la dynamique de colonisation des invertébrés sessiles.

Afin d'être représentatif du village, l'échantillonnage photographique des quadrats se fait au minimum sur 10 % des modules d'un village et sur 10 % des types de modules par village, soit 18 modules au total. Il s'agit d'un échantillonnage minimum pour garantir un suivi photographique de la dynamique de colonisation, représentatif de chaque type de module et d'un village. Ainsi 8 photo-quadrats sont réalisées sur les modules AMA, CHI, FAK, 16 sur les ENR et 28 sur les ACI. Un total de 204 photographies est réalisé pour l'ensemble de la mission.

L'analyse des photo-quadrats passe par l'estimation du recouvrement des espèces benthiques sessiles qui peut être réalisé de plusieurs façons : (i) par digitalisation de l'image à l'aide d'un logiciel permettant d'estimer les surfaces couvertes par les différentes espèces sessiles ; (ii) par projection de points disposés de manière aléatoire dans les quadrats à analyser ; (iii) par estimation visuelle directe ; (iv) par estimation visuelle indirecte sur photographie avec l'aide d'une grille subdivisée. Chaque méthode présente des avantages et des inconvénients résumés dans le Tableau 8 (Foster *et al.*, 1991 ; Meese et Tomich, 1992 ; Dethier *et al.*, 1993 ; Pech *et al.*, 2004 ; Parravicini *et al.*, 2009 ; Ruitton *et al.*, 2011).

Tableau 8 : Avantages et inconvénients des méthodes d'estimation du recouvrement du substrat par les espèces sessiles (d'après Ruitton *et al.*, 2011)

Méthodes	Avantages	Inconvénients
Digitalisation	Estimation très fiable, proche de la réalité	- Travail long à réaliser - Nécessité d'avoir une très bonne qualité d'image - Dans le cas de suivis répétés, nécessité d'avoir des quadrats permanents très bien localisés, la fiabilité et l'interprétation en dépendra
Projection de points aléatoires	- Mise en œuvre rapide - Méthode objective - Validité statistique	- Mauvaise estimation des espèces rares (car elles sont soit sous-estimées soit surestimées) - Nombre de réplicats nécessaires dépendant de la biodiversité
Estimation visuelle directe	- Rapidité - Possibilité d'avoir des unités échantillonnées plus grandes - Prise en compte des espèces petites et rares	- Obligation d'un entraînement sur le terrain préalable à la mesure - Nécessite l'utilisation de quadrats subdivisés pour une meilleure estimation
Estimation visuelle indirecte	- Rapidité - Possibilité d'avoir un grand nombre de réplicats - Prise en compte des espèces petites et rares	- Nécessité d'avoir une très bonne qualité d'image - Dans le cas de suivis répétés, nécessité d'avoir des quadrats permanents très bien localisés, la fiabilité et l'interprétation en dépendront

Dans le cadre de ce suivi, la **méthode d'estimation visuelle indirecte a été choisie**. Afin de déterminer le recouvrement des différentes espèces/taxons identifiés dans les quadrats photographiques (Tableau 9), une grille de 10 x 10 carreaux est placée sur la surface des quadrats (625 cm²) (Figure 10). Chaque petit carré est comptabilisé pour 1 % de recouvrement par les taxons. Ainsi, si le carré est totalement recouvert par un organisme alors celui-ci compte 1 % de taux de recouvrement. De même si un autre carré est au $\frac{3}{4}$ recouvert par un organisme alors celui-ci compte pour 0.75 % de taux de recouvrement ; et ainsi de suite. Par contre, si un organisme est présent sur moins d' $\frac{1}{4}$ d'un petit carré alors il est considéré comme "rare" et arbitrairement on lui assigne la valeur 0.25 % comme taux de recouvrement (Dethier *et al.*, 1993). La surface relative de chaque individu ou colonie est ensuite estimée par comptage du nombre de carreaux. Les données sont saisies et archivées dans une base de données stockées sur le serveur de l'Aix-Marseille Université.

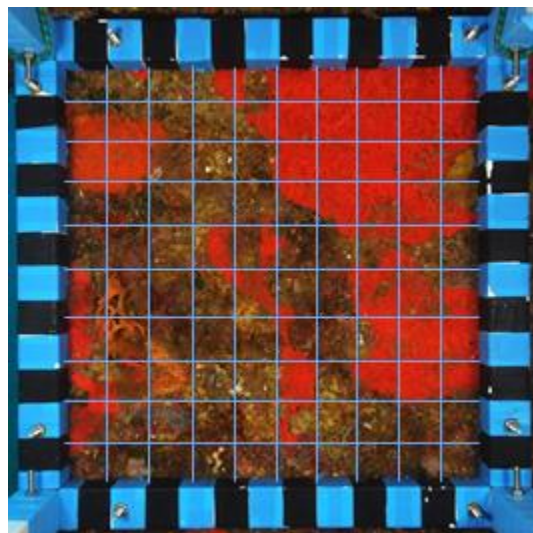


Figure 10 : Quadrat photographique avec une grille de 10 carreaux x 10 carreaux permettant d'estimer le recouvrement des espèces/taxons identifiés.

Tableau 9 : Listes des taxons et espèces considérés dans l'étude de la dynamique de colonisation des organismes sessiles par quadrat photographique.

Macrophytes	<i>Acetabularia acetabulum</i>	Cnidaria	<i>Alicia mirabilis</i>
	<i>Codium bursa</i>		<i>Alcyonium acaule</i>
	<i>Codium</i> sp.		<i>Caryophyllia</i> sp.
	<i>Flabellia petiolata</i>		<i>Eudendrium</i> sp.
	<i>Chlorophyta</i> indéterminé		<i>Sertularella</i> sp.
	<i>Dictyota</i> sp.		Leptothecata
	<i>Halopteris filicina</i>		Hydrozoa
	<i>Padina pavonica</i>		Cnidaria indéterminé
	<i>Ochrophyta</i> indéterminé	Bryozoa	Buguloidae
	<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>		<i>Dentiporella sardonica</i>
	<i>Rhodophyta</i> indéterminé		<i>Fron dipora verrucosa</i>
	Corallinaceae		<i>Parasmittina</i> sp.
	<i>Mesophyllum</i> sp.		<i>Pentapora fascialis</i>
	Peyssonneliaceae		<i>Reteporella</i> sp.
Porifera	<i>Chelonaplysilla noevus</i>		<i>Savignyella lafontii</i>
	<i>Cliona</i> sp.		<i>Schizobrachiella sanguinea</i>
	<i>Crambe crambe</i>		<i>Schizomavella mamillata</i>
	<i>Dictyonella</i> sp.		<i>Turbicellepora avicularis</i>
	<i>Dysidea</i> sp.		Bryozoa indéterminé
	<i>Hemimyscale columella</i>	Annelida	<i>Filograna</i> sp.
	<i>Oscarella</i> sp.		Serpulidae
	<i>Polymastia mammillaris</i>		Annelida indéterminé
	<i>Sycon</i> sp.	Bivalvia	<i>Ostrea edulis</i>
	<i>Ulosa stuposa</i>	Ascidacea	Aplousobranchia
	Morphotype sp. 1		<i>Ciona</i> sp.
	Morphotype sp. 2		<i>Didemnum</i> sp.
	Morphotype sp. 3		Diplosoma spongiforme
	Morphotype sp. 4		Halocynthia papillosa
	Porifera indéterminé		<i>Microcosmus</i> sp.
			Ascidacea indéterminé
		Autres	Indéterminé
			Tapis divers
		Éléments non biogéniques	Substrat nu
			Sédiment
			Rouille

3.2.2.2 Parcours vidéo

Afin de disposer d'un échantillonnage homogène et standardisé pour tous les types de récifs, des parcours vidéo ont été définis (Annexe 1). Pour les 6 types de récifs, les faces exposées au Nord et au Sud et le dessus ont été filmés au moyen d'un appareil photo Sony® RX 100 I équipé d'un grand angle de 130° et d'un éclairage Big Blue 33 000 Lumens (Figure 11). Seules les parois extérieures ont été échantillonnées car la pénétration dans les récifs est difficile voire impossible pour certains (*e.g.* FAK, CHI, AMA). Pour les ENR, l'échantillonnage n'a concerné que la face horizontale du dessus car les faces verticales sont trop peu érigées et certains ENR ont leurs blocs étalés sur le fond. Aussi, deux parcours vidéo parallèles ont été réalisés sur le dessus des ENR. Le but de ces parcours est de constituer des archives visuelles de l'état de colonisation des récifs.

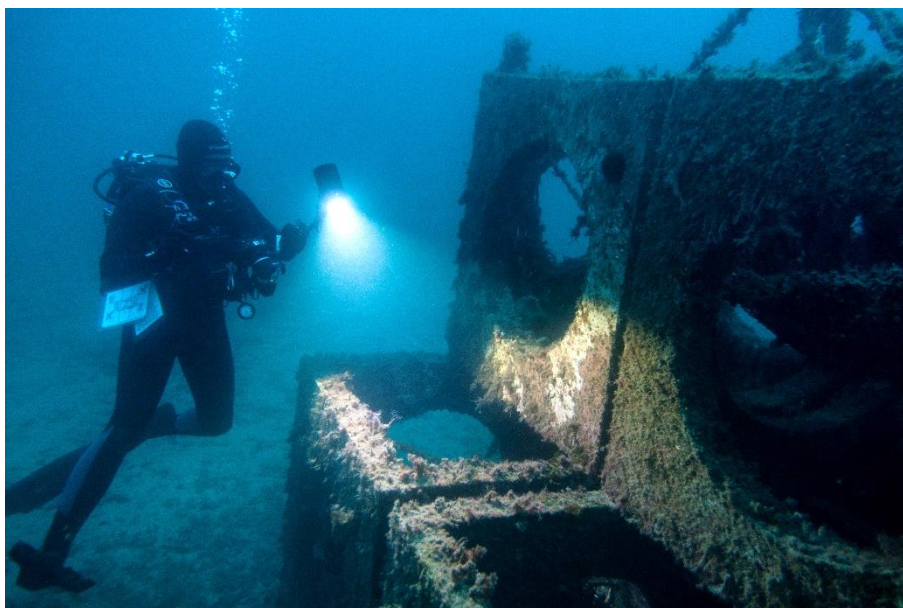


Figure 11 : Plongeur réalisant un parcours vidéo sur un amas de cubes

Chaque parcours vidéo est renommé puis dérushé grâce à la plateforme ZOODEX (ZOological Data Exploitation System ; Goujard et Fourt, 2014) développée par le GIS Posidonie. Le résultat est l'obtention d'un *logbook* des observations permettant une exportation vers Excel® en vue d'analyses statistiques.

Les observations des parcours vidéo ont été comptabilisées en absence/présence des taxons identifiés. Le même effort d'identification a été assuré pour toutes les observations rendant les résultats comparables spatialement par village, types de récifs, orientation/exposition, et nature du substrat. Ce choix présente l'avantage d'archiver des images des mêmes faces des mêmes récifs à intervalles de temps réguliers. Chaque taxon identifié est renseigné selon sa localisation au sein d'un village, d'un type de récif, d'une exposition et d'une nature de substrat (Figure 12).

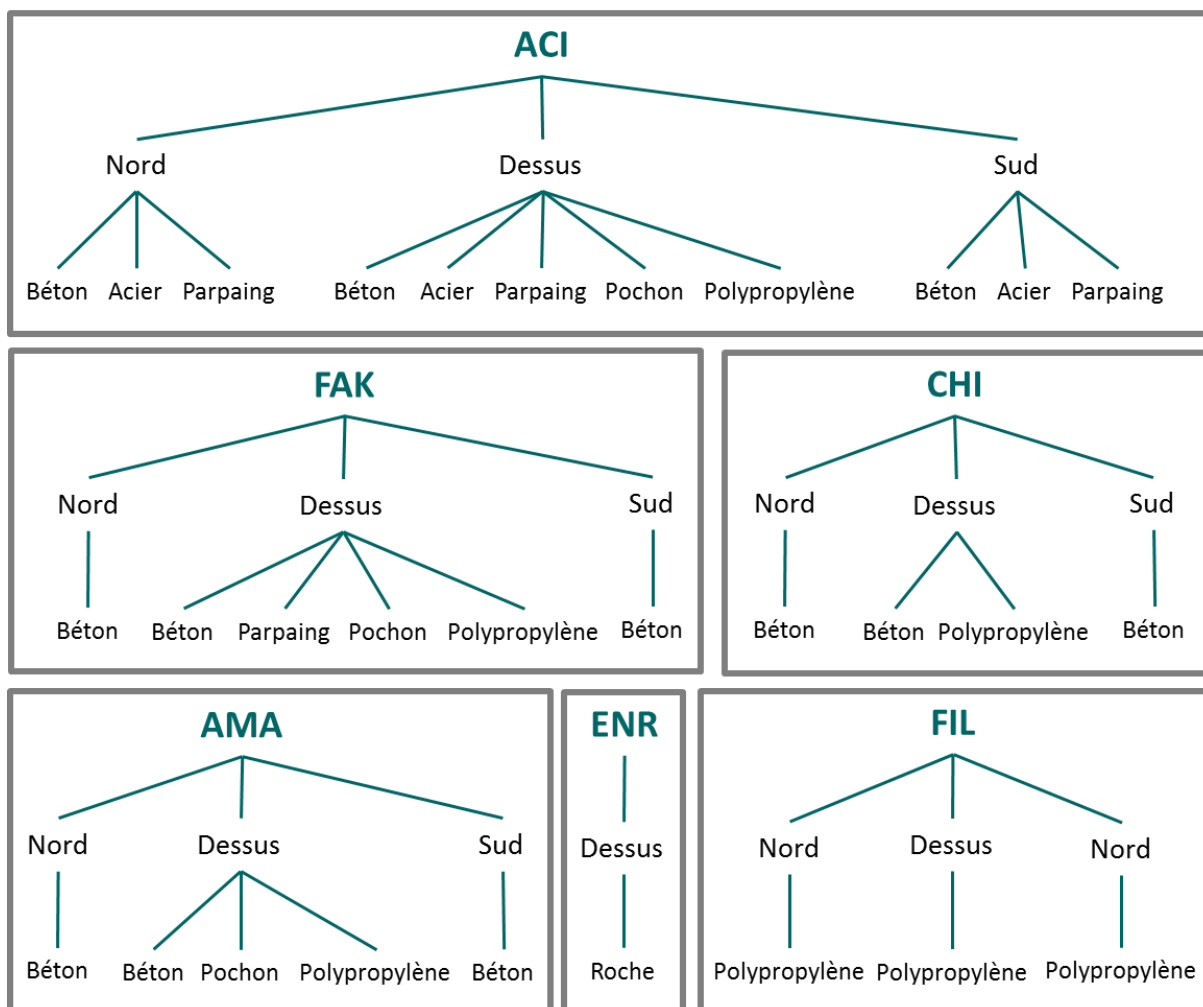


Figure 12. Stratégie de sous-échantillonnage appliquée lors de l'analyse des parcours vidéo pour les 6 types de récif.

3.2.2.3 Recensement *in situ* d'un cortège sélectionné d'espèces

Le recensement exhaustif avec dénombrement et estimation de la taille est réalisé sur les gorgonaires et les espèces d'intérêt halieutique telles que la langouste *Palinurus elephas*, le homard *Homarus gammarus*, le poulpe *Octopus vulgaris* et le violet *Microcosmus sabbatieri*.

Le recensement semi-quantitatif par classe d'abondance a été effectué sur les grands bryozoaires *Pentapora fascialis* et *Turbicellepora avicularis*, l'alcyon *Alcyonium acaule*, l'ascidie *Halocynthia papillosa* et les crustacés décapodes cryptiques que sont *Galathea strigosa* et *Scyllarus arctus*.

Enfin, l'estimation du recouvrement moyen a porté sur chacune des principales espèces de macrophytes présentes sur les récifs : *Halopteris* sp., *Dictyota* spp., *Sphaerococcus coronopifolius*, *Codium* spp.. La méthode de codification (cotation de 0 à 5) utilisée pour estimer le recouvrement de macrophytes des étangs de Berre et de Vaïne a été appliquée (Tableau 10 ; Pergent-Martini et Rico-Raimondino, 1991).

Tableau 10 : Codification utilisée pour estimer le recouvrement (exprimé en pourcentage) des macrophytes sur les 6 types de récif.

Codification	Recouvrement (%)
0	0
1	< 5
2	5 - 20
3	20 - 50
4	50 - 90
5	> 90

Les taxons remarquables éventuellement présents ont été également notés. Ce recensement vient compléter les parcours vidéo qui ne permettent pas d'échantillonner correctement les espèces cryptiques, ni d'évaluer des taux de recouvrement à l'échelle d'un récif.

3.2.2.4 Suivi photographique du paysage récifal

Le **paysage récifal** est ici considéré comme une résultante de l'implantation des récifs et de leur colonisation benthique et pélagique, visible d'un seul regard, d'un point de vue déterminé et à un moment donné.

Le suivi du paysage rend compte de l'évolution structurelle des récifs et de l'évolution de la colonisation générale. Ces changements sont difficilement quantifiables, cependant ils peuvent être qualitativement estimés avec une série photographique temporelle.

Les photographies paysagères sont réalisées sur l'ensemble des modules suivis (Figure 13). Au minimum deux photographies paysagères de face et quatre pour les grandes structures de types ACI et FIL ainsi qu'une de dessus du module sont effectuées. Ces prises de vue servent également pour le suivi des structures (mission 4, en plus d'observations *in situ*).



Figure 13 : Illustration de prises de vue paysagères des récifs artificiels ; à gauche : vue de face d'un récif AMA, à droite : vue de dessus d'un récif Fakir.

3.2.3 Analyses des données

Les données ont fait l'objet d'analyses statistiques descriptives :

- pour les données acquises par photo-quadrats, elles portent sur la richesse taxonomique et la composition des assemblages benthiques en termes de recouvrement
- pour les données acquises à partir des vidéos, elles portent sur la présence/absence des taxons par village, par type de récifs, par orientation/exposition et par nature du substrat
- pour les données acquises par observations directes, elles portent sur des abondances

Les comparaisons temporelles ont porté uniquement sur les données de printemps 2010, 2011, 2012, 2014, 2016 et 2020 des villages 3 et 4 pour les photo-quadrats, et sur les données de printemps 2016 et 2020 pour les vidéos (méthodologie déployée depuis le suivi de 2016).

Données photo-quadrats

Les analyses univariées et multivariées des données issues de la méthodologie par photo-quadrats ont été réalisées avec le logiciel PRIMER6. Les différences de diversité taxonomique et dans la composition des assemblages (pourcentage de recouvrement), entre les villages (V3 et V4), les années (2010, 2011, 2012, 2014, 2016 et 2020) et les types de modules (Panier-acier = ACI, Amas de cube = AMA, Chicanes = CHI, Enrochements = ENR, Fakir = FAK) ont été évaluées par des analyses permutationnelles de la variance (PERMANOVA ; Anderson et Robinson, 2001 ; Anderson et ter Braak, 2003).

Les analyses des assemblages benthiques sont basées sur une sélection d'espèces les plus abondantes afin de mieux discriminer les différences de composition entre village, années et types de module :

- pour les parois verticales : *Dictyota* sp., Corallinaceae, Macrophyta (autres), Cnidaria, *Crambe crambe*, *Phorbas* sp., Porifera (autres), *Savignyella lafontii*, Bryozoa (autres), Serpulidae, *Diplosoma spongiforme*, sédiment, gazon algal
- pour le parois horizontales : *Dictyota* sp. *Halopteris filicina*, *Sphaerococcus coronopifolius*, Corallinaceae, Porifera, *Savignyella lafontii*, sédiment, gazon algal

Des tests univariés ont été effectués à partir de distances euclidiennes calculées sur des données non transformées (Anderson et Robinson, 2001). Les analyses multivariées réalisées étaient basées sur la similarité de Bray-Curtis à partir de données transformées de type racine carrée (Clarke, 1993). Les résultats significatifs au seuil de 5 % ont été analysés par des tests par paires *a posteriori* (pair-wise test). Lorsque les valeurs de la distribution de permutation disponibles étaient inférieures à 999 éléments uniques, les valeurs de Monte Carlo (*p*MC) ont été utilisées à la place des valeurs *p* permutationnelles. Des représentations graphiques de type non-metric Multi-Dimensional Scaling' (nMDS) ont également été réalisées pour caractériser la composition des assemblages benthiques observée lors du dernier suivi de 2020 sur les 5 types de module échantillonnés. Des corrélations de Spearman ont été étudiées pour déterminer les variables forçantes qui correspondent ici au recouvrement des principaux taxons.

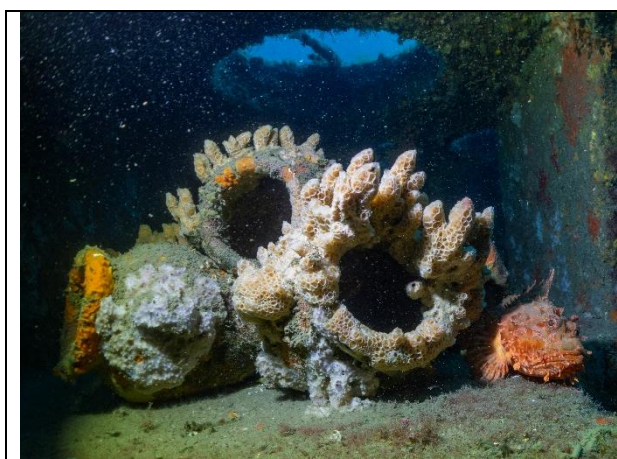
Données des parcours vidéo

Les données des richesses spécifiques ont été analysées grâce à des modèles linéaires généralisés (GLM) de différents types selon la distribution des données (loi de poisson). Pour chaque analyse, un traitement indépendant pour chacun des 6 type de récif a été réalisé, en tenant compte de l'année de suivi et du village. Une analyse supplémentaire a ensuite été réalisée afin de comparer les différences entre types de récif, uniquement pendant la campagne 2020/2021. Les variables significatives ont ensuite été sélectionnées puis détaillées en réalisant des tests post-hoc de Tukey.

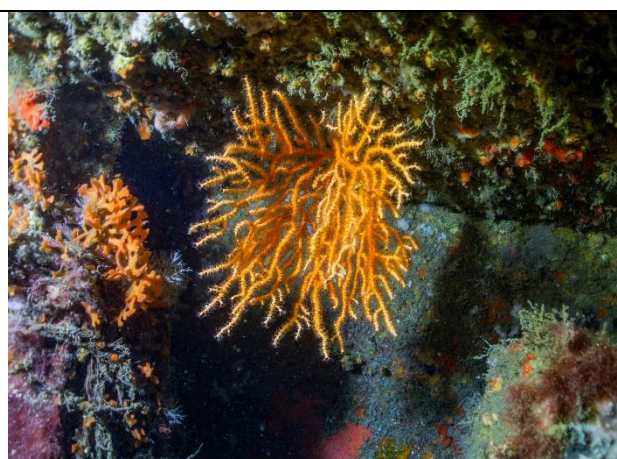
Des analyses en composantes principales ont été réalisées afin de visualiser graphiquement la répartition des assemblages taxonomique et en faisant apparaître les types de récifs, matériaux et exposition qui influencent le plus les compositions.

L'ensemble des analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2020), les graphiques ont été produit avec le package *ggplot2* (Wickham, 2016).

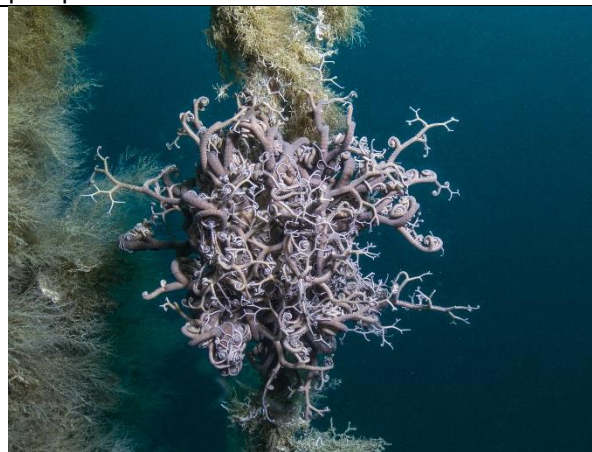
Illustrations de la mission et des observations faites au cours du suivi.



Eponge *Hemimyscale columella* sur un pot à poulpe



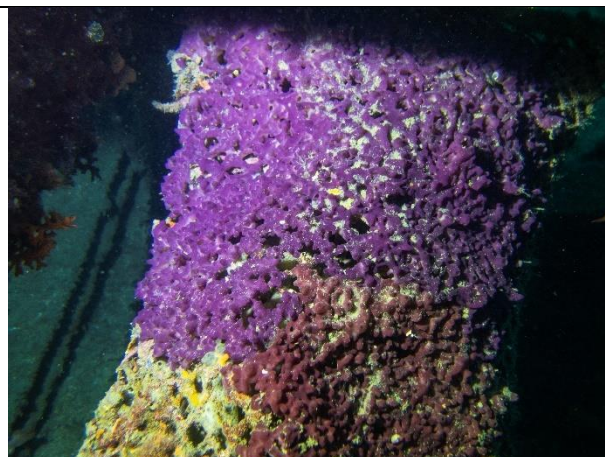
Gorgone jaune *Eunicella cavolini*



Gorgonocéphale *Astrospartus mediterraneus* sur un récif filières hautes



Pinna rudis dans un enrochement



Eponge *Oscarella* sp. sur un pochon d'huîtres



Tethys fimbria à proximité d'un récif fakir

3.3 Mission 3 : Suivi de l'herbier de posidonie en plongée

Coordinateur : GIS Posidonie – Patrick Astruch et Bruno Belloni



3.3.1 Objectifs de la mission

La concession de récifs artificiels se trouve à proximité directe de l'herbier de posidonie. L'intérêt de cette proximité est fonctionnel, bien entendu, à travers les interactions envisageables entre les récifs et l'herbier. Cependant, *Posidonia oceanica* est une espèce protégée par l'arrêté du 19 juillet 1988, il est donc primordial de mettre en œuvre les moyens adéquats de surveillance de l'herbier. Pour cela, il est indispensable de suivre l'évolution de la dynamique de l'herbier avec précision afin d'identifier un éventuel impact direct ou indirect imputable à la concession de récifs (modification de l'hydrodynamisme local, recouvrement de l'herbier par les modules).

3.3.2 Protocole

Deux sites de suivi de l'herbier de posidonie ont été choisis à proximité de la concession de récifs artificiels pour surveiller un éventuel impact des récifs sur l'herbier. Les choix se sont portés sur l'analyse des travaux de cartographie disponibles et des observations réalisées par le GIS Posidonie lors des vérifications post-immersion (Ruitton *et al.*, 2008). Un site se situe au Nord du Village 1, pratiquement en contact avec le récif V1ACI1, le second est localisé dans la partie Sud de la concession, à l'Est du Village 6, à proximité de V6CHI12 et V6ACI1. Le positionnement des deux balisages Nord et Sud est présenté sur la Figure 14.

Dans le cadre du Réseau de Surveillance Posidonie, un balisage de limite inférieure de l'herbier de posidonie, situé au niveau de la rade Sud de Marseille, à quelques centaines de mètres des récifs artificiels, en face de la plage du Prophète, a été suivi. Ce balisage, installé en 1986 à 26 m de profondeur, a fait l'objet de 7 suivis, tous les 3 ans jusqu'en 2004 (EOL, 2004). Malgré un contexte particulier (turbidité, proximité de l'Huveaune et de la zone aménagée du Prado), il s'agit d'une limite d'herbier progressive. Le balisage est suffisamment proche de la concession (mêmes conditions environnementales) et éloigné des récifs (absence d'impact direct) pour être sélectionné comme station de référence.

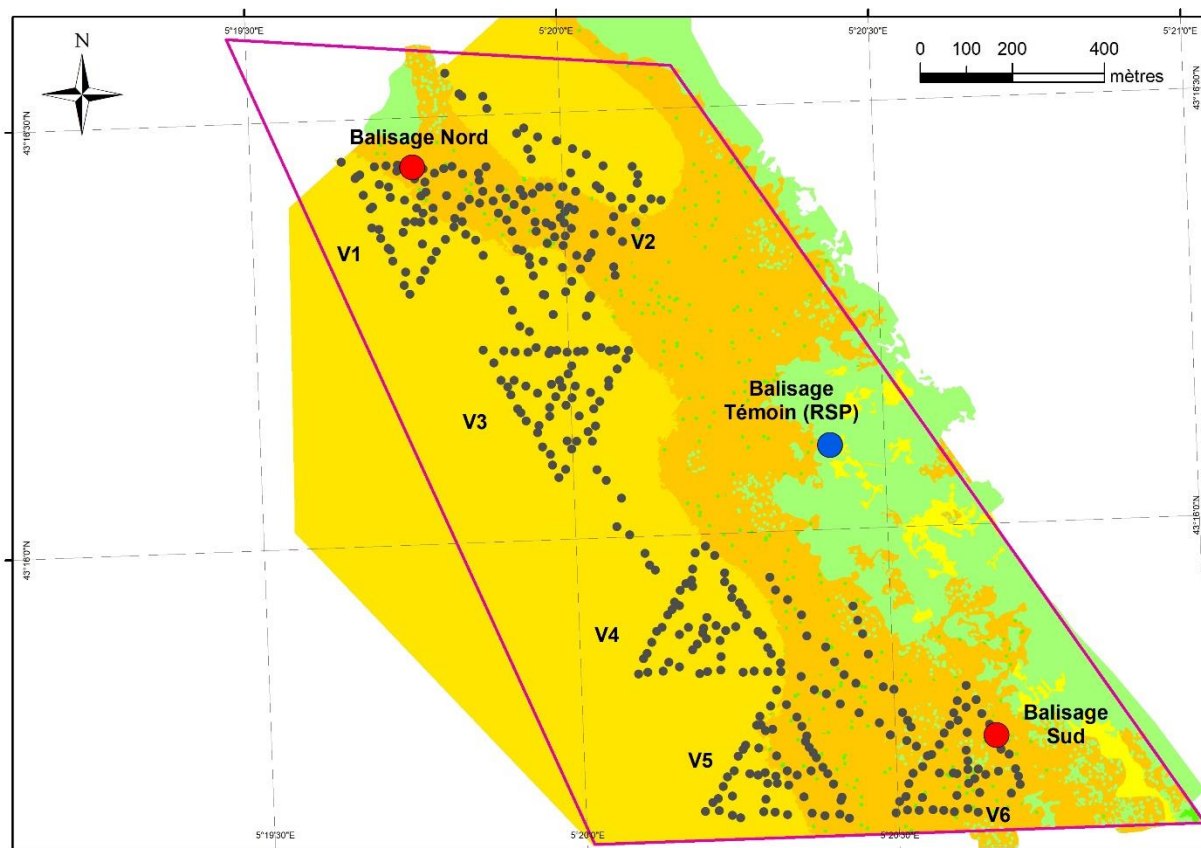


Figure 14 : Localisation des deux balisages de limite inférieure d'herbier de Posidonie et du balisage de référence RSP. (vert pâle : herbier de posidonie ; orange : matte morte ; jaune : substrats meubles).

L'objectif est de suivre, pour chacun des trois sites, un dispositif permanent comprenant 12 balises installées le long de la limite inférieure permettant le suivi à long terme de l'évolution de l'herbier de posidonies. A la suite de cette phase d'installation, le premier suivi des balisages a été réalisé selon le protocole du Réseau de Surveillance Posidonie décrit par Charbonnel *et al.* (2000) et Boudouresque *et al.* (2006). Une journée d'installation a été nécessaire pour chaque balisage, correspondant à 4 plongées. Douze balises de géomètre de type Feno polyroc ont été disposées le long de chaque limite et espacées d'environ 5 m. Les balises situées aux extrémités de chaque balisage ont été munies d'un flotteur (pour mieux les repérer), chaque balise a été munie d'une étiquette, ainsi que d'un piquet photo positionné 1.5 m perpendiculairement à la limite, en face de la balise. Le balisage de référence, déjà installé, a été remis en état (remplacement de plaquettes, nettoyage du fouling sur chaque balise), il est composé de balises en béton de 30 kg utilisées en limite inférieure lors de la mise en place historique du RSP.

Lors de la première campagne, une autre journée de terrain a été organisée pour chaque balisage pour la réalisation du suivi selon le protocole du RSP, soit 3 journées pour les 3 balisages. Le suivi complet d'un balisage comporte les éléments suivants :

- Typologie et description de la **limite inférieure de l'herbier** : l'observateur décrit précisément la dynamique de l'herbier de posidonie en contact et aux abords de chaque balise et définit la typologie de la limite selon la classification présentée par Meinesz et Laurent (1978). De nombreuses informations permettant de caractériser la limite, sont annotées, telles que la

présence éventuelle et la hauteur de tombants de matte morte, l'identification de zones d'ensablement, à fort déchaussement, de rhizomes traçants, la présence d'îlots de posidonie et leur taille (diamètre, éventuellement le nombre de faisceaux, etc.). Ces informations s'avèrent essentielles pour pouvoir comparer correctement les balisages au cours du temps.

- Mesure de la **densité de faisceaux de feuilles** (classification selon Giraud, 1977 et Pergent *et al.*, 1995, actualisé par Pergent, 2007) : sur chacune des balises, la densité (nombre de faisceaux par m²) est mesurée à l'aide de quadrats de 20 cm x 20 cm. La répartition des mesures est la suivante : une à droite de la balise, une en contact direct en arrière de la balise et une à gauche de la balise. Au total, 36 mesures de densité sont réalisées par balisage, permettant une comparaison fiable de ce paramètre.
- **Recouvrement** : pourcentage de couverture du fond par l'herbier (selon Gravez *et al.*, 1995) : l'observateur, muni d'une plaquette transparente quadrillée de 30 cm x 30 cm parcourt la limite et évalue le recouvrement. Trois mesures de recouvrement sont réalisées à proximité de chaque balise, soit 36 valeurs (30 étant le minimum acceptable pour une comparaison fiable entre les balisages).
- Evaluation du **déchaussement** des rhizomes (selon Boudouresque *et al.*, 1980). A proximité de chaque balise, la hauteur entre le sédiment et la base des rhizomes est mesurée au cm près. Une dizaine de répliqués (mesures répétées) est réalisée pour chaque balise afin d'obtenir une valeur moyenne fiable. Le déchaussement traduit la dynamique sédimentaire locale qui influence directement la structure de l'herbier (limite érosive, ensablement, fragilisation, etc.).
- Calcul du **pourcentage de rhizomes plagiotropes**. Autour de chaque balise, et le long de la limite de l'herbier, le nombre de rhizomes orthotropes (croissance verticale) et plagiotropes (croissance horizontale) est annoté. A partir de ces valeurs, il est possible de déterminer le pourcentage de rhizomes plagiotropes, véritable indicateur de la tendance progressive de l'herbier. 3 mesures de ce type sont réalisées sur chaque balise (une mesure correspond à un ratio du nombre de plagiotropes sur 10 rhizomes évalués), soit 36 valeurs.
- **Prises de vue photographiques** de l'herbier au droit de chaque balise (Figure 14). Chaque prise de vue est effectuée depuis le piquet-photo situé à 1.5 m en aval de chaque balise. Trois prises de vues sont réalisées par balise (1 décentrée à gauche, 1 à la verticale de la balise, 1 décentrée à droite, Charbonnel *et al.*, 2000). Le piquet photo est garant de la précision des prises de vue d'un suivi à l'autre.



Figure 15 : Exemple de prise de vue photographique et comparaison d'une balise dans le temps (ici au niveau de la balise 3 du balisage sud en 2009 à gauche et 2019 à droite). L'exemple met ici en évidence une légère progression de l'herbier.

- Réalisation de **vidéos sous-marines** en continu à l'aplomb du balisage en suivant un pentadécamètre soigneusement tendu entre chaque balise. Cette vidéo apporte une mémoire visuelle de l'état de l'herbier en limite inférieure et pourra, le cas échéant, servir de comparaison lors des prochains suivis (Figure 16).

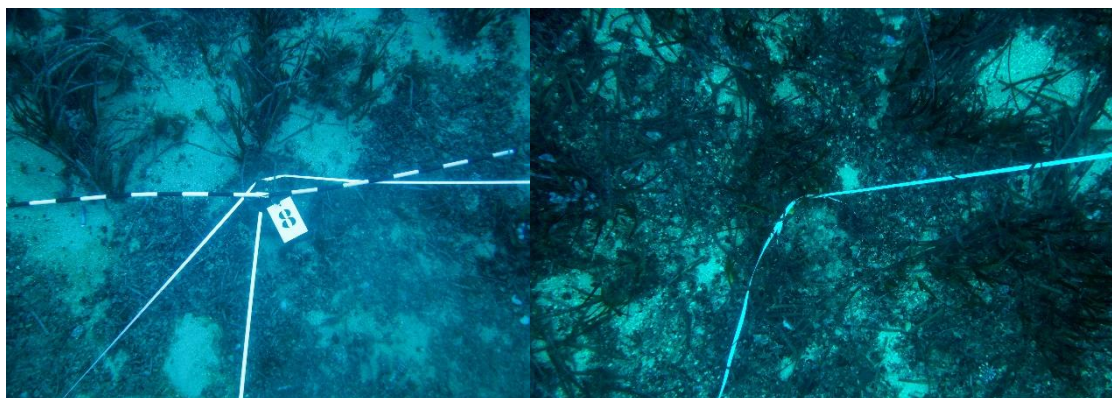


Figure 16 : Exemple d'observations réalisées en comparant une série de vidéos prises le long de la limite inférieure (RSP) de l'herbier (à gauche : 2009 ; à droite : 2019).

- **Suivi phénologique et lépidochronologique** (Pergent, 1990). Comme lors des suivis 1 et 3 (2009/2010 et 2013/2014), 15 faisceaux à croissance verticale (orthotropes) ont été prélevés sur chaque site et congelés. Sur chacun de ces faisceaux, le nombre, la longueur et la largeur des feuilles ont été mesurées (phénologie), les épiphytes ont été récoltés sur chaque feuille puis lyophilisés et traités en autoclave pour évaluer le poids de matière organique moyen. La croissance annuelle du rhizome a été suivie par lépidochronologie. Cette méthode permet de connaître le nombre de feuilles par année lépidochronologique, la présence de floraisons ainsi que les variations de croissance annuelle. Lorsque le rhizome prélevé est suffisamment long, il est possible d'obtenir ces informations plusieurs années en arrière (de 5 à 15 ans). Grâce à cette méthode, il a été possible d'obtenir d'autres informations complémentaires sur la vitalité de l'herbier au moment du suivi ainsi que des informations historiques sur son évolution (variation de croissance, identification de perturbations).

En complément, une attention particulière est portée à la présence de grandes nacres (*Pinna nobilis*, espèce patrimoniale caractéristique de l'herbier, protégée par arrêté ministériel depuis le 26/11/1992) et à l'expansion de *Caulerpa cylindracea* (très abondante dans la rade de Marseille).

Le suivi de l'herbier de posidonie a été effectué en décembre 2019. Lors de ces campagnes, une journée de terrain (soit 4 plongées) a été consacrée à chaque balisage pour tout d'abord remettre en état les balises, plaquettes et piquets photos (nettoyage), puis pour réaliser le suivi tel que décrit ci-dessus. Cette configuration a permis une surveillance fine de l'évolution de l'herbier sur une période de 5 ans. Si les récifs artificiels avaient eu une incidence significative sur l'herbier, ce dispositif aurait été capable de la détecter sans ambiguïté.

Les efforts ont donc été concentrés sur les observations, les mesures et les descriptions en plongée, qui permettent le meilleur diagnostic quant à l'évolution de l'herbier.

3.3.3 Résultats attendus

A partir du protocole d'échantillonnage, nous disposons des informations suivantes :

- des données quantitatives sur la vitalité de l'herbier tout au long de l'étude, ainsi qu'avant la mise en place des récifs, grâce à la lèpidochronologie ;
- une comparaison fine de la dynamique de l'herbier par rapport à l'état zéro et aux différents suivis;
- une éventuelle influence des récifs les plus proches, elle est identifiable si elle est significative. Elle traduirait une modification de l'hydrodynamisme local et donc de la sédimentation ou de l'érosion. Les indicateurs mesurés (densité, déchaussement, plagiotrope) permettraient de qualifier cette modification ;
- une mémoire photographique et vidéographique de l'herbier sur 36 balises au total permettant de mettre en évidence l'évolution des paysages en limite inférieure de l'herbier.

A la suite de chaque suivi des balisages, les résultats ont été restitués sous forme de tableaux synthétiques rassemblant les prises de vue sous-marines et les mesures qualitatives et quantitatives réalisées. L'interprétation de l'évolution de l'herbier est ainsi facilitée tout comme la comparaison entre les balisages (balisages proches des récifs et balisage de référence).

La planche photographique suivante illustre la mission et le type d'observations réalisées :



Observateur sur le balisage sud



Balise n° 3 du balisage sud



Opérateurs durant les mesures lépidochronologiques



Ecailles du rhizome de posidonie pendant les analyses de lépidochronologie



Balise n° 10 du balisage nord



Rhizome plagiotrope du balisage RSP

3.4 Mission 4 : Suivi des structures en plongée

Coordinateur : GIS Posidonie – Bruno Belloni



3.4.1 Objectifs de la mission

A partir de l'immersion des récifs, il était impératif de surveiller attentivement l'évolution de l'état général des structures. Plusieurs aspects ont été appréhendés : (i) le maintien de l'intégrité des récifs face aux conditions environnementales (courantologie, sédimentation, corrosion, etc.) et (ii) une détérioration éventuelle imputable aux activités humaines (principalement déplacement ou accrochage dû à des engins de pêches ou trainés sur le fond).

Suite à une décision du Conseil scientifique du 16/02/2015, il a été décidé d'installer des anodes sacrificielles sur les récifs panier acier afin de mettre en place une protection cathodique. 228 anodes sacrificielles ont été réparties sur 19 récifs ACI, soit 12 anodes par récif. Les dimensions de l'anode ont été déterminées afin que sa résistance permette d'assurer le potentiel d'immunité en fin de vie. Le chantier a été réalisé par une société de scaphandriers professionnels le 04.12.2017. Une étude est prévue au printemps 2022, afin d'évaluer l'impact des anodes sur le milieu. Lors de ce même Conseil Scientifique ce dernier a indiqué qu'il ne voyait aucun inconvénient à ce que les filières hautes et basses soient laissées en l'état sur les récifs.

3.4.2 Protocole

Le suivi de l'état des récifs comporte deux compartiments distincts. Il consiste en un **suivi qualitatif de l'état des récifs** à travers une série d'observations ordonnées sur chaque type de module (Figure 17). Les principales observations réalisées sont :

- l'état général des structures (dégradation du béton, IPN, éléments manquants, abîmés, pots à poulpe, pochons à huîtres, état des filières, etc.) ;
-
- la présence d'engins de pêche (souvent observés) et leur possible impact sur les structures.

Le suivi qualitatif de l'état des structures a été réalisé au même moment que les suivis poissons, soit un total de 4 campagnes. Les mesures ont été réalisées lors des plongées de la mission 1 (à la suite des comptages de poissons), c'est-à-dire sur les mêmes récifs. Il a donc été possible de suivre 36 modules.



Figure 17 : Inspection visuelle qualitative de l'état des structures. A gauche : filières manquantes ou affaissées sur un amas de cubes, à droite : inspection d'un récif fakir.

3.4.3 Résultats attendus

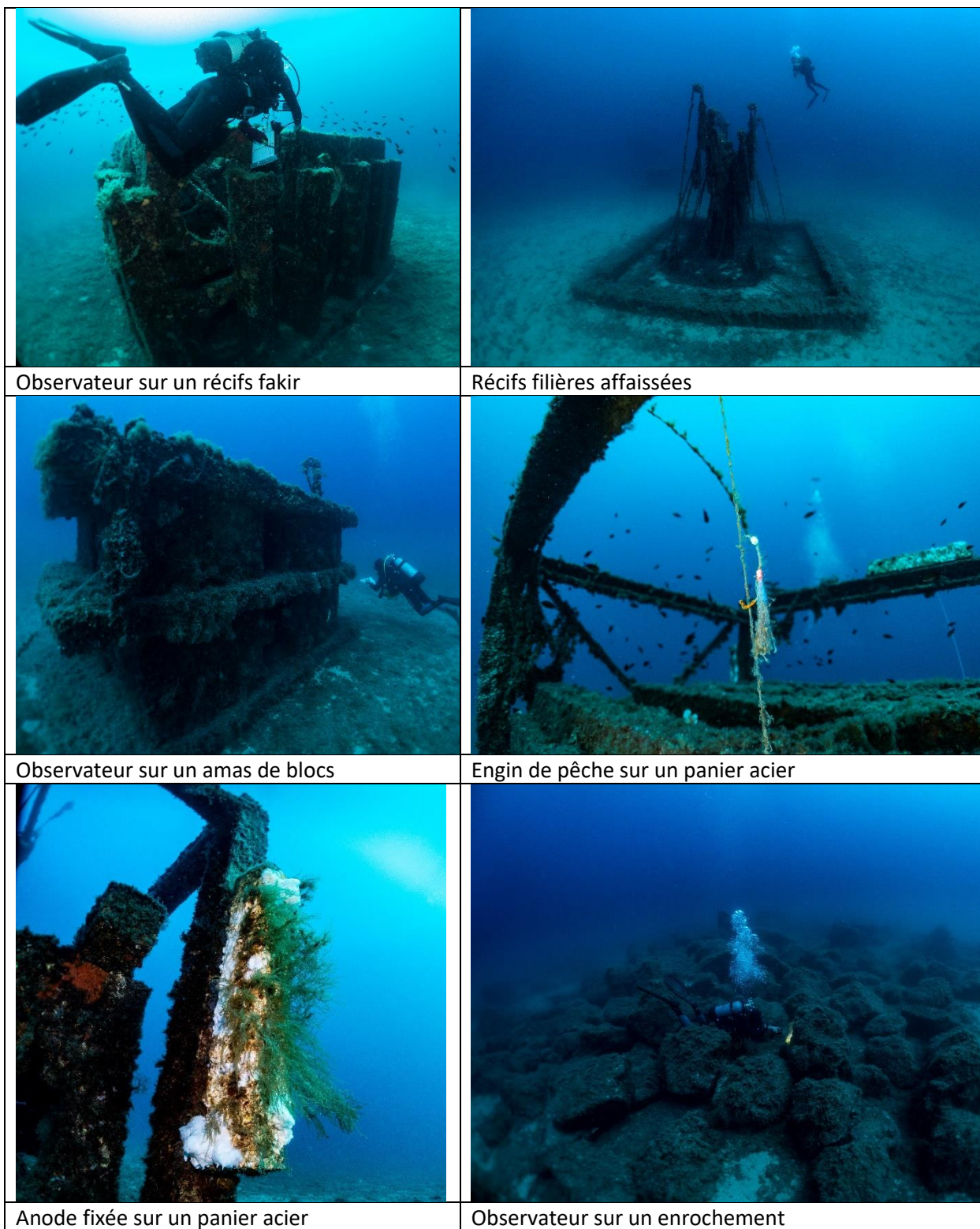
A partir de ce protocole de suivi, il a été possible de répondre aux objectifs du cahier des charges, c'est-à-dire :

- l'évolution sédimentaire autour des récifs et leur tenue sur le fond (stabilité, déchaussement, enfouissement) ;
- l'intégrité des modules (en particulier la résistance des constituants, structures métalliques et en béton, autres éléments) ;
- des modifications de l'environnement physique immédiat (sédimentation, etc.) induites par les récifs.

Les données obtenues ont permis de caractériser l'état général des récifs et de leurs constituants, de mettre en évidence les phénomènes physiques les plus courants en fonction du type de module de récifs et d'établir une comparaison de la situation d'un suivi à l'autre.

Les observations réalisées sur la structure des récifs sont rassemblées sous la forme de fiches descriptives.

Le planche photographique suivante illustre la mission et le type d'observations réalisées :



3.5 Mission 5 : Valorisation des résultats

La concession des récifs artificiels de la baie du Prado constitue un véritable laboratoire sous-marin pour les scientifiques, en particulier des équipes de recherches de l'Université d'Aix-Marseille/OSU Pythéas, dont l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO) et l'Institut Méditerranéen de Biologie et d'Ecologie (IMBE). Depuis l'immersion des récifs, deux articles majeurs ont été publiés, dans le cadre de la thèse de Pierre Cresson et en partie grâce aux données acquises par le GIS Posidonie et le MIO au cours du suivi obligatoire (Cresson *et al.*, 2013, 2019). Les autres valorisations ont été faites par l'équipe du GIS Posidonie sous la forme de communications et de posters dans le cadre du Symposium international du CARAH à Izmir en 2013, du workshop RECIFS à Caen en 2015 et du congrès COAST à Bordeaux en 2017.

La rédaction d'au moins une publication scientifique est prévue, mais c'est un processus long et difficile. Il ne s'agira pas d'une nouvelle présentation des résultats (moins d'innovation), mais plutôt de faire bénéficier d'autres aménagements de l'expérience. Initialement, la valorisation scientifique du suivi des récifs artificiels de la baie du Prado était prévue pour le congrès international du CARAH qui devait se dérouler au Cap d'Agde, en 2020. La crise sanitaire a entraîné l'annulation de cet événement, nous empêchant ainsi de soumettre une ou deux contributions. En fonction de la qualité des données, de ce qu'auront apporté les nouvelles campagnes, nous chercherons à atteindre le meilleur compromis afin de publier les résultats (poissons, benthos) les plus intéressants du suivi au niveau international si possible, dans une revue de bon niveau. Il est nécessaire ici de souligner que ces délais ne sont pas compatibles avec le calendrier de la présente étude et ne dépendent en aucun cas du bénéficiaire du marché.

En conséquence, le GIS Posidonie s'engage à proposer, en plus des 3 rapports (méthodologie, résultats, synthèse) du suivi 2020-2021, au moins une publication sur les résultats les plus intéressants du suivi à 12 ans. Le chapitre dédié à la mission 5 dans le volume des résultats apporte des propositions concernant les auteurs impliqués dans le travail de rédaction, une ébauche de résumé (abstract) et les revues potentielles visées (en fonction de l'angle de l'article). L'équipe du GIS Posidonie se rapprochera très probablement de certains membres du Conseil scientifique des Récifs du Prado experts de longue date en récifs artificiels pour élaborer cette publication.

4 Détails de la mission sur le terrain

3.5.1 Détails des dates d'intervention sur le terrain : missions et modules suivis

Le suivi du peuplement de poissons de la saison hiver avait débuté en mars 2020, mais il a été interrompu et reporté en mars 2021 en raison de la crise sanitaire.

Missions 1 et 4 : Poissons et états des structures

Mission			Année	Date	Village	Récifs
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	03/06/2020	Village 4	V4ENR6_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	03/06/2020	Village 4	V4ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	03/06/2020	Village 4	V4ENR5_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	03/06/2020	Village 4	V4ENR1_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	03/06/2020	Village 4	V4ENR1_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	03/06/2020	Village 4	V4ENR6_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	03/06/2020	Village 4	V4ENR5_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	03/06/2020	Village 4	V4CHI14
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	04/06/2020	Village 4	V4FIL1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	04/06/2020	Village 4	V4FAK2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	04/06/2020	Village 4	V4AMA7
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	04/06/2020	Village 4	V4ACI1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	04/06/2020	Village 4	V4FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	06/06/2020	Village 4	V4AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	06/06/2020	Village 4	V4CHI10
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	06/06/2020	Village 5	V5FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	06/06/2020	Village 5	V5ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	06/06/2020	Village 4	V4FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	07/06/2020	Village 3	V3CHI5
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	07/06/2020	Village 3	V3ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	07/06/2020	Village 3	V3AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	07/06/2020	Village 5	V5FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	07/06/2020	Village 3	V3CHI13
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	07/06/2020	Village 3	V3ENR3_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	07/06/2020	Village 3	V3FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	07/06/2020	Village 5	V5AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	07/06/2020	Village 3	V3ENR3_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	07/06/2020	Village 5	V5CHI10
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	07/06/2020	Village 3	V3FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	11/06/2020	Village 3	V3FIL1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	11/06/2020	Village 3	V3ENR5_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	11/06/2020	Village 3	V3ENR6_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	11/06/2020	Village 3	V3FAK1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	11/06/2020	Village 3	V3AMA8

Mission			Année	Date	Village	Récifs
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	11/06/2020	Village 3	V3ACI1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	11/06/2020	Village 3	V3ENR6_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	11/06/2020	Village 3	V3CHI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	11/06/2020	Village 3	V3ENR5_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	14/06/2020	Village 3	V3FAK2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	14/06/2020	Village 2	V2ACI3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	14/06/2020	Village 2	V2FIL3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	printemps	2020	14/06/2020	Village 3	V3AMA15
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	15/09/2020	Village 4	V4CHI10
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	15/09/2020	Village 4	V4AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	15/09/2020	Village 4	V4AMA7
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	15/09/2020	Village 4	V4ACI1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	15/09/2020	Village 4	V4FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	15/09/2020	Village 4	V4FIL1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	15/09/2020	Village 4	V4FAK2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	16/09/2020	Village 4	V4ENR6_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	16/09/2020	Village 4	V4ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	16/09/2020	Village 4	V4FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	16/09/2020	Village 4	V4ENR1_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	16/09/2020	Village 4	V4ENR1_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	16/09/2020	Village 4	V4ENR5_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	16/09/2020	Village 4	V4ENR6_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	16/09/2020	Village 4	V4CHI14
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	16/09/2020	Village 4	V4ENR5_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	17/09/2020	Village 3	V3FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	17/09/2020	Village 3	V3ENR3_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	17/09/2020	Village 3	V3ENR3_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	17/09/2020	Village 3	V3AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	17/09/2020	Village 5	V5ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	17/09/2020	Village 5	V5AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	17/09/2020	Village 5	V5CHI10
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	17/09/2020	Village 5	V5FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	17/09/2020	Village 5	V5FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	17/09/2020	Village 3	V3CHI13
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3ENR6_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3ENR6_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3FAK1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3AMA8
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3ENR5_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3FIL1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3CHI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3CHI5
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3ACI1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3ENR5_T2

Mission			Année	Date	Village	Récifs
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	18/09/2020	Village 3	V3ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	21/09/2020	Village 3	V3AMA15
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	21/09/2020	Village 3	V3FAK2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	21/09/2020	Village 2	V2ACI3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	été	2020	21/09/2020	Village 2	V2FIL3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	17/11/2020	Village 4	V4FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	17/11/2020	Village 4	V4FIL1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	17/11/2020	Village 4	V4FAK2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	17/11/2020	Village 4	V4CHI10
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	17/11/2020	Village 4	V4AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	17/11/2020	Village 4	V4AMA7
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	17/11/2020	Village 4	V4ACI1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	17/11/2020	Village 4	V4FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	17/11/2020	Village 4	V4ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 4	V4ENR6_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 5	V5FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 5	V5FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 5	V5CHI10
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 5	V5ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 4	V4ENR5_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 4	V4CHI14
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 4	V4ENR1_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 4	V4ENR6_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 4	V4ENR5_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 4	V4ENR1_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	18/11/2020	Village 5	V5AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	19/11/2020	Village 3	V3FAK2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	19/11/2020	Village 3	V3AMA8
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	19/11/2020	Village 3	V3FAK1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	19/11/2020	Village 3	V3AMA15
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	19/11/2020	Village 2	V2ACI3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	19/11/2020	Village 2	V2FIL3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	23/11/2020	Village 3	V3ENR3_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	23/11/2020	Village 3	V3FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	23/11/2020	Village 3	V3FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	23/11/2020	Village 3	V3ENR3_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	23/11/2020	Village 3	V3ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	23/11/2020	Village 3	V3CHI5
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	23/11/2020	Village 3	V3CHI13
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	23/11/2020	Village 3	V3AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	24/11/2020	Village 3	V3ENR6_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	24/11/2020	Village 3	V3ENR5_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	24/11/2020	Village 3	V3ENR6_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	24/11/2020	Village 3	V3FIL1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	24/11/2020	Village 3	V3CHI2

	Mission		Année	Date	Village	Récifs
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	24/11/2020	Village 3	V3ACI1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	automne	2020	24/11/2020	Village 3	V3ENR5_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	01/03/2021	Village 4	V4FAK2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	01/03/2021	Village 4	V4CHI10
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	01/03/2021	Village 4	V4FIL1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	01/03/2021	Village 4	V4AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	01/03/2021	Village 4	V4FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	01/03/2021	Village 4	V4AMA7
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	01/03/2021	Village 4	V4ACI1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	02/03/2021	Village 4	V4ENR5_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	02/03/2021	Village 4	V4ENR6_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	02/03/2021	Village 4	V4ENR6_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	02/03/2021	Village 4	V4FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	02/03/2021	Village 5	V5ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	02/03/2021	Village 5	V5FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	02/03/2021	Village 4	V4ENR5_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	02/03/2021	Village 4	V4ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	03/03/2021	Village 3	V3FAK2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	03/03/2021	Village 2	V2FIL3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	03/03/2021	Village 2	V2ACI3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	03/03/2021	Village 3	V3ACI1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	03/03/2021	Village 3	V3AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	03/03/2021	Village 3	V3CHI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	03/03/2021	Village 3	V3FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	03/03/2021	Village 3	V3FIL1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	03/03/2021	Village 3	V3AMA15
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	04/03/2021	Village 5	V5CHI10
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	04/03/2021	Village 3	V3CHI5
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	04/03/2021	Village 4	V4ENR1_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	04/03/2021	Village 3	V3ACI2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	04/03/2021	Village 4	V4ENR1_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	04/03/2021	Village 3	V3FIL2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	04/03/2021	Village 4	V4CHI14
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	04/03/2021	Village 5	V5AMA18
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	04/03/2021	Village 5	V5FAK3
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	04/03/2021	Village 3	V3AMA8
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	04/03/2021	Village 3	V3FAK1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	05/03/2021	Village 3	V3CHI13
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	05/03/2021	Village 3	V3ENR3_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	05/03/2021	Village 3	V3ENR6_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	05/03/2021	Village 3	V3ENR5_T1
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	05/03/2021	Village 3	V3ENR6_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	05/03/2021	Village 3	V3ENR5_T2
Mission 1 et 4	Poissons et structure	hiver	2021	05/03/2021	Village 3	V3ENR3_T2

Mission 2 : Benthos

	Mission		Année	Date	Village	Récifs
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	13/06/2020	Village 3	V3AMA19
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	13/06/2020	Village 3	V3AMA25
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	22/06/2020	Village 3	V3AMA1
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	22/06/2020	Village 3	V3CHI1
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	22/06/2020	Village 3	V3ENR2
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	22/06/2020	Village 3	V3FAK1
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	22/06/2020	Village 3	V3FIL2
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	23/06/2020	Village 4	V4ACI2
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	23/06/2020	Village 4	V4AMA19
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	23/06/2020	Village 4	V4AMA20
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	23/06/2020	Village 4	V4CHI10
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	23/06/2020	Village 4	V4CHI5
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	23/06/2020	Village 4	V4ENR2
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	23/06/2020	Village 4	V4FIL2
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	26/06/2020	Village 3	V3ACI2
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	26/06/2020	Village 3	V3CHI5
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	26/06/2020	Village 4	V4AMA18
Mission 2	Benthos	Printemps	2020	26/06/2020	Village 4	V4FAK3
Mission 2	Benthos	hiver	2021	08/03/2021	Village 4	V4AMA20
Mission 2	Benthos	hiver	2021	08/03/2021	Village 4	V4AMA19
Mission 2	Benthos	hiver	2021	08/03/2021	Village 4	V4ENR2
Mission 2	Benthos	hiver	2021	08/03/2021	Village 4	V4FAK3
Mission 2	Benthos	hiver	2021	08/03/2021	Village 4	V4AMA18
Mission 2	Benthos	hiver	2021	08/03/2021	Village 4	V4CHI10
Mission 2	Benthos	hiver	2021	08/03/2021	Village 4	V4ACI2
Mission 2	Benthos	hiver	2021	08/03/2021	Village 3	V3AMA25
Mission 2	Benthos	hiver	2021	08/03/2021	Village 3	V3AMA19
Mission 2	Benthos	hiver	2021	08/03/2021	Village 3	V3ENR2
Mission 2	Benthos	hiver	2021	09/03/2021	Village 4	V4CHI5
Mission 2	Benthos	hiver	2021	09/03/2021	Village 4	V4FIL2
Mission 2	Benthos	hiver	2021	10/03/2021	Village 3	V3ACI2
Mission 2	Benthos	hiver	2021	10/03/2021	Village 3	V3CHI5
Mission 2	Benthos	hiver	2021	10/03/2021	Village 3	V3FIL2
Mission 2	Benthos	hiver	2021	10/03/2021	Village 3	V3FAK1
Mission 2	Benthos	hiver	2021	10/03/2021	Village 3	V3AMA1
Mission 2	Benthos	hiver	2021	10/03/2021	Village 3	V3CHI1

Mission 3 : Suivi de l'herbier

	Mission		Année	Date	Village	Récifs
Mission 3	Suivi herbier	hiver	2019	05/12/2019	RSP témoin	Balisage RSP
Mission 3	Suivi herbier	hiver	2019	03/12/2019	Village 6	Balisage sud
Mission 3	Suivi herbier	printemps	2020	28/05/2020	Village 1	Balisage nord

3.5.2 Dispositifs de sécurité et de mise en œuvre des opérations de terrain

Les investigations en plongée sous-marine sont réalisées en scaphandre autonome à circuit ouvert. Afin d'optimiser et de sécuriser les plongées, le Nitrox (air enrichi en oxygène) est le plus souvent utilisé dans le cadre des opérations sur les récifs.

Le déroulement des travaux en milieu hyperbare respecte :

- le décret n° 2020-1531 du 7 décembre 2020 modifiant les dispositions relatives à la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare
- l'arrêté du 30 octobre 2012 définissant les procédures d'accès, de séjour, de sortie et d'organisation du travail pour les interventions en milieu hyperbare exécutées avec immersion dans le cadre de la mention B « techniques, sciences et autres interventions ».

Dans le cadre de son intervention en milieu hyperbare, le GIS Posidonie a rédigé un **plan de prévention** qui comportait en particulier :

- le nom et les coordonnées du ou des chefs d'opération hyperbare, accompagnés des CAH de l'ensemble des participants,
- les mesures de prévention prises pour faire face à ces risques (mesures techniques, organisationnelles, formation du personnel),
- l'organisation des secours mise en place par l'entreprise utilisatrice (dispositif VHF de prévention des secours, coordonnées du caisson hyperbare le plus proche, en l'occurrence celui de l'hôpital Sainte-Marguerite à Marseille).

Les participants aux missions en plongée détiennent un Certificats d'Aptitude à l'Hyperbarie et sont à jour de leur visite médicale.

5 Bibliographie

- Anderson, M.J., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26: 32–46.
- Anderson, M.J., Robinson, J., 2001. Permutation test for linear models. *Aust. N. Z. J. Stat.*, 43: 75-88.
- Anderson, M.J., ter Braak, C.J.F., 2003. Permutation tests for multi-factorial analysis of variance. *J. Stat. Comput. Sim.*, 73 : 85-113.
- Astruch P., Le Diréach L., Fourt M., Bonhomme D., Bonhomme P., Harmelin J. G., 2009. Etude des peuplements de poissons dans le site Natura 2000 des Calanques et de l'Archipel de Riou (Rapport final). Contrat GIP calanques – GIS Posidonie. GIS Posidonie publ : 1-116.
- Astruch P., Goujard A., Charbonnel E., Rogeau E., Rouanet E., Bachet F., Bricout R., Bonhomme D., Antonioli P. A., Bretton O., Monin M., Harmelin J. G., Sartoretto S., Chevaldonne P., Zibrowius H., Verlaque M., 2011. Inventaires biologiques et Analyse écologique de l'existant, Natura 2000 en mer, Lot n°12 « Côte Bleue Marine » FR 9301999. Contrat GIS Posidonie – Agence des Aires Marines Protégées, GIS Posidonie/PMCB publ., 400 p + 62 p d'annexes.
- Astruch P., Rouanet E., Chemisky B., Seguin E., Bonhomme D., Goujard A., Le Direach L., Harmelin J.G., Vacelet J., Chevaldonne P., Perez T., Bellan G., 2012. Inventaires biologiques et analyse écologique de l'existant, Natura 2000 en mer, Lot n°6 « Calanques et îles marseillaises – Cap Canaille et Massif du Grand Caunet » FR 9301602. Contrat COMEX SA/GIS Posidonie – Agence des Aires Marines Protégées, COMEX SA/GIS Posidonie publ., 500 p + 9 annexes.
- Astruch P., Bonhomme D., Bonhomme P., Fourt M., Le Diréach L., Rouanet E., 2014. Opération Récifs Prado : suivi scientifique, biologique et technique dans la zone d'immersion (suivi obligatoire). Rapport final 2009-2014. Méthodologie. GIS Posidonie – Ville de Marseille, Fr. 1-164.
- Astruch P., Rouanet E., Le Diréach L., Goujard A., 2016. Suivi du peuplement de poissons des récifs artificiels de la baie du Prado (2008-2015). Partenariat Ville de Marseille – GIS Posidonie, Marseille publ., 1-83 + annexes.
- Astruch P., Belloni B., Rouanet E., Schohn T., Le Diréach L., 2022. Réalisation d'un suivi scientifique biologique et halieutique dans le cadre de la gestion des récifs artificiels du Prado. Synthèse 2019 - 2021. *GIS Posidonie – Ville de Marseille*, Fr. 1-42.
- Bell J.D. & Harmelin-Vivien M. 1983. Fish fauna of French Mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. 2-Feeding habitats. *Téthys*, 11 : 1-14.
- Bonhomme P., Bernard G., Daniel B., Boudouresque C.F., 1999. Archipel de Riou : Etude socio-économique sur la pêche, la plaisance, la plongée et la chasse sous-marine (période de printemps et synthèse sur un cycle annuel). *Contrat d'étude GIS Posidonie/Ville de Marseille*, Fr. : 1-83.
- Bonhomme P., Berman L., Le Diréach L., Bianchimani O., Rouanet E., Bonhomme D., Astruch P., Goujard A., Basthard-Bogain S., Ruitton S., Kokel N., 2015. *Réalisation de l'état zéro des zones de non-prélèvement du Parc national des Calanques - Année 2013-2014*. Contrat GIS Posidonie/Parc national des Calanques. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-300.

- Boudouresque C.F., Giraud G., Panayotidis P., 1980. Végétation marine de l'île de Port-Cros. XIX. Mise en place d'un transect permanent. *Travaux Scientifiques du Parc nat. Port-Cros*, 6 : 207-221.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L., 2006. Préservation et conservation de l'herbier à *Posidonia oceanica*. Accord RAMOGE, Monaco et GIS Posidonie, Marseille, publ. : 1-202.
- Charbonnel E., Boudouresque C.F., Meinesz A., Pergent-Martini C., San-Martin G., Bertrand M.C., Foret P., Ragazzi M., Leccia G., 2000. Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Première partie : Présentation et Guide Méthodologique 1999. Seconde partie : résultats du suivi 1999. *Région PACA/GIS Posidonie/CQEL 13/CQEL 83/Conseil Général 06/CQEL 06. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-60 + 1-116.*
- Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.*, 18: 117-143.
- Collart D. et Charbonnel E., 1998. Impact des récifs artificiels de Marseillan et d'Agde sur le milieu marin et la pêche professionnelle. Bilan du suivi 1996/1997. *Contrat Conseil Régional Languedoc-Roussillon & Conseil Général de l'Hérault. CEGEL & GIS Posidonie publ., Fr. : 168 p.*
- Cresson P. 2013. Fonctionnement trophique des récifs artificiels de la baie du Prado (Marseille, France) : origine et devenir de la matière organique. Thèse de doctorat, spécialité Océanographie. Aix Marseille Université. Marseille, France. 284 pp.
- Cresson P., Le Direach L., Rouanet E., Goberville E., Astruch P., Ourgaud M., Harmelin-Vivien M., 2019. Biomass and isotopic data for fish community on artificial reefs in the Bay of Marseille. *Marine Environmental Research*, -. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.02.018>
- Dethier M.N., Graham E.S., Cohen S., Tear L.M., 1993. Visual *versus* random-point percent cover estimations: "objective" is not always better. *Marine Ecology Progress Series* 96: 93-100.
- EOL, 2004. Réseau de Surveillance Posidonie, Département des Bouches du Rhône, Année 2004. *Contrat EOL-Région Provence Alpes Côte d'Azur*, 155 p.
- Foster M. S., Harrold C., Hardin D.D., 1991. Point *versus* photo quadrat estimates of the cover of sessile marine organisms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 146: 193-203.
- Ganteaume A., Bonhomme P., Bernard G., Boudouresque C.F., 2004. Etude des usages du milieu marin des calanques de Marseille à Cassis : navigation, plaisance, plongée sous-marine, pêche amateur, pêche professionnelle. Eté 2002. Contrat GIP des Calanques & GIS Posidonie. GIS Posidonie publ., Fr. : 1-73 + annexes.
- Giraud, 1977. Contribution à la description et à la phénologie des herbiers de *Posidonia oceanica* (L) Delile. *Thèse de Doctorat 3^e cycle, Océanologie. Univ. Aix-Marseille II* : i-viii, + 1-150.
- Goujard A. et Fourt M., 2014. *The information system ZOODEX, a tool for the treatment of image data*. (B. C. Langar H., Éd.) in UNEP/MAP - RAC/SPA. Proceedings of the 1st Mediterranean Symposium on the conservation of Dark Habitats (Portoroz, Slovenia, 31 October 2014): 71-72.

- 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.
- Gravez V., Bernard G., Bonhomme P., Cadiou G., Coquillard Y. & Divetain N., 1999.- Surveillance de l'herbier de Posidonie de la baie du Prado (Marseille). Suivi 1999. Ville de Marseille, Direction de l'environnement et des déchets & GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-45 p. + annexes.
- Harmelin-Vivien M. et HARMELIN J.-G., 1975. Présentation d'une méthode d'évaluation "in situ" de la faune ichtyologique. *Trav. Sci. Parc nation. Port-Cros.*, 1 : 47-52.
- Harmelin-Vivien M., Harmelin J.-G., Chauvet C., Duval C., Galzin R., Lejeune P., Barnabe G., Blanc F., Chevalier R., Duclerc J., Lasserre G., 1985. Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : problèmes et méthodes. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, Fr. 40 : 467-539.
- Harmelin J.G., 1987. Structure et variabilité de l'ichtyofaune d'une zone rocheuse protégée en Méditerranée (Parc National de Port - Cros, France). *PSZN Mar.Ecol.*, 8 : 263-284.
- Jouvenel J.Y. et Roche E., 2011. *Programme de suivis des récifs du Prado (Rade sud de Marseille) : réalisation d'un suivi de la pêche artisanale aux petits métiers - Rapport final*. Contrat P2A Développement - Ville de Marseille, Direction de l'Environnement et de l'Espace Urbain, avril 2011 : 1-95.
- Le Diréach L., Astruch P., Charbonnel E., Bonhomme D., Bachet F., Daniel B., 2010a. Suivi des peuplements de poissons de la Réserve Marine du Cap Couronne (Parc Marin de la Côte Bleue) – Bilan 1995-2007. GIS Posidonie – Parc Marin de la Côte Bleue, Fr. 1-108.
- Le Diréach L., De Monbrison D., Astruch P., Cantou M., Guilloux L., Bonhomme D., Ruitton S., Fourt M., Martin V., Dufour V., 2010b. Peuplements de poissons et qualité environnementale des ports de plaisance en Méditerranée (Rapport final). Convention Fondation d'Entreprise TOTAL pour la Biodiversité et la Mer – GIS Posidonie/BRL/Université Montpellier2/CNRS. GIS Posidonie publ : 1-192.
- Le Diréach L., Astruch P., Bonhomme D., Bonhomme P., Rouanet E., 2014. *Opération Récifs Prado : suivi scientifique, biologique et technique dans la zone d'immersion (suivi obligatoire). Rapport final 2009-2014*. Résultats. GIS Posidonie – Ville de Marseille, Fr. 1-474.
- Le Direach L., Rouanet E., Astruch P., Goujard A., Bonhomme P., 2017. Suivi de l'ichtyofaune du Parc national des Calanques à T0+3 - Année 2016. Rapport final. Marché public GIS Posidonie/Parc national des Calanques. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 175 p.
- Le Diréach L., 2018. Perception de l'impact des récifs artificiels de la baie du Prado sur la pêche professionnelle et de loisir. Enquête préalable à la mise en place de suivis de la pêche et des captures. Rapport final. Partenariat Ville de Marseille – GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 67 p.
- Le Diréach L., Belloni B., Astruch P., Schohn T., Rouanet E., 2020. Suivi de l'ichtyofaune du Parc national des Calanques à T0+6 – Année 2019. Rapport Final. Contrat GIS Posidonie/Parc national des Calanques. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 176 p.

- Meese R. J et Tomich P. A., 1992. Dots on the rocks: a comparison of percent cover estimation methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 165 (1):59-73.
- Meinesz et Laurent, 1978. Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes (France). Campagne Poseïdon 1976. *Bot. mar.*, Germ., 21 : 513-526.
- Minchin, P.R., 1987. An evaluation of relative robustness of techniques for ecological ordinations. *Vegetatio* 69, 89--107.
- Oksanen J., Blanchet F. G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., Minchin P. R., O'Hara R. B., Simpson G. L., Solymos P., Stevens M. H. H., Szoecs E., Wagner H., 2019. *vegan*: Community Ecology Package. R package version 2.5-6. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Parravicini V., Morri C., Ciribilli G., Montefalcone M., Albertelli G., Bianchi C.N., 2009. Size matters more than method: Visual quadrats vs photography in measuring human impact on Mediterranean rocky reef communities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81: 359–367.
- Pech D., Condal A. R., Bourget E., Ardisson P. L., 2004. Abundance estimation of rocky shore invertebrates at small spatial scale by high-resolution digital photography and digital image analysis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299: 185-189.
- Pergent G., 1990. Lepidochronological analysis of the seagrass *Posidonia oceanica* (L) Delile: a standardized approach. *Aquat. Bot. Neth.*, 37 :39-54.
- Pergent, G., 2007. Protocole pour la mise en place d'une surveillance des herbiers de Posidonies. *Programme Med-Posidonia. Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées, Tunisie*.
- Pergent-Martini C. et Rico-Raimondino V., 1991. *Cartographie des peuplements de macrophytes benthiques dans les étangs de Berre et de Vaïne. Suivi des transects permanents*. Contrat GIS Posidonie/CQEL 13, Service Maritime des Bouches-du-Rhône. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-27.
- Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : état des connaissances. *Mésogée*, 54 : 3-29.
- Schohn T., Astruch P., Belloni B., Rouanet E., Lefèvre A., Hermann E., Le Diréach L., 2022. *Réalisation d'un suivi scientifique dans le cadre de la gestion des récifs artificiels du Prado. Rapport final 2019 - 2021. Résultats*. GIS Posidonie – Ville de Marseille, Fr. 1-414 annexes.
- R Core Team 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rouanet E., Astruch P., Goujard A., Guidotti V., 2016. *Suivi des communautés benthiques des récifs artificiels de la baie du Prado (printemps 2016)*. Partenariat Ville de Marseille – GIS Posidonie, Marseille publ., 37 p. + 2 annexes.

- Ruitton S., Astruch P., Bonhomme D., Bonhomme P., Le Direach L., Harmelin J.G., 2008. Plongées de contrôle de l'immersion des récifs artificiels de la baie du Prado. GIS Posidonie & BRLi, GIS Posidonie publ. : 1-95.
- Ruitton S., Thibaut T., Cottalorda J.M., Bonhomme P., Ourgaud M., Verlaque M., 2011. Evaluation de l'impact de *Caulerpa racemosa* et *Womersleyella setacea* sur les communautés benthiques coralligènes du Parc national de Port-Cros : les peuplements patrimoniaux de *Cystoseira* spp. et de *Corallinacea*. Suivi 2010. Contrat GIS Posidonie et Parc national de Port-Cros : 1-68.
- Wickham H., 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.
- Zuur, A. F., Savaliev, A. A., Ieno, E. N., 2012. Zero inflated models and generalized linear mixed models with R. P.: Newburgt, United Kingdom. Highland Statistics Ltd. 2012. xviii, 324 p.

6 Annexes

Annexe 1 : Schémas des parcours vidéo réalisés sur les récifs. L'ordre et le départ des séquences des différentes parties du récif sont indiqués. Les zones hachurées représentent le fond détritique sur lequel sont posés les récifs

