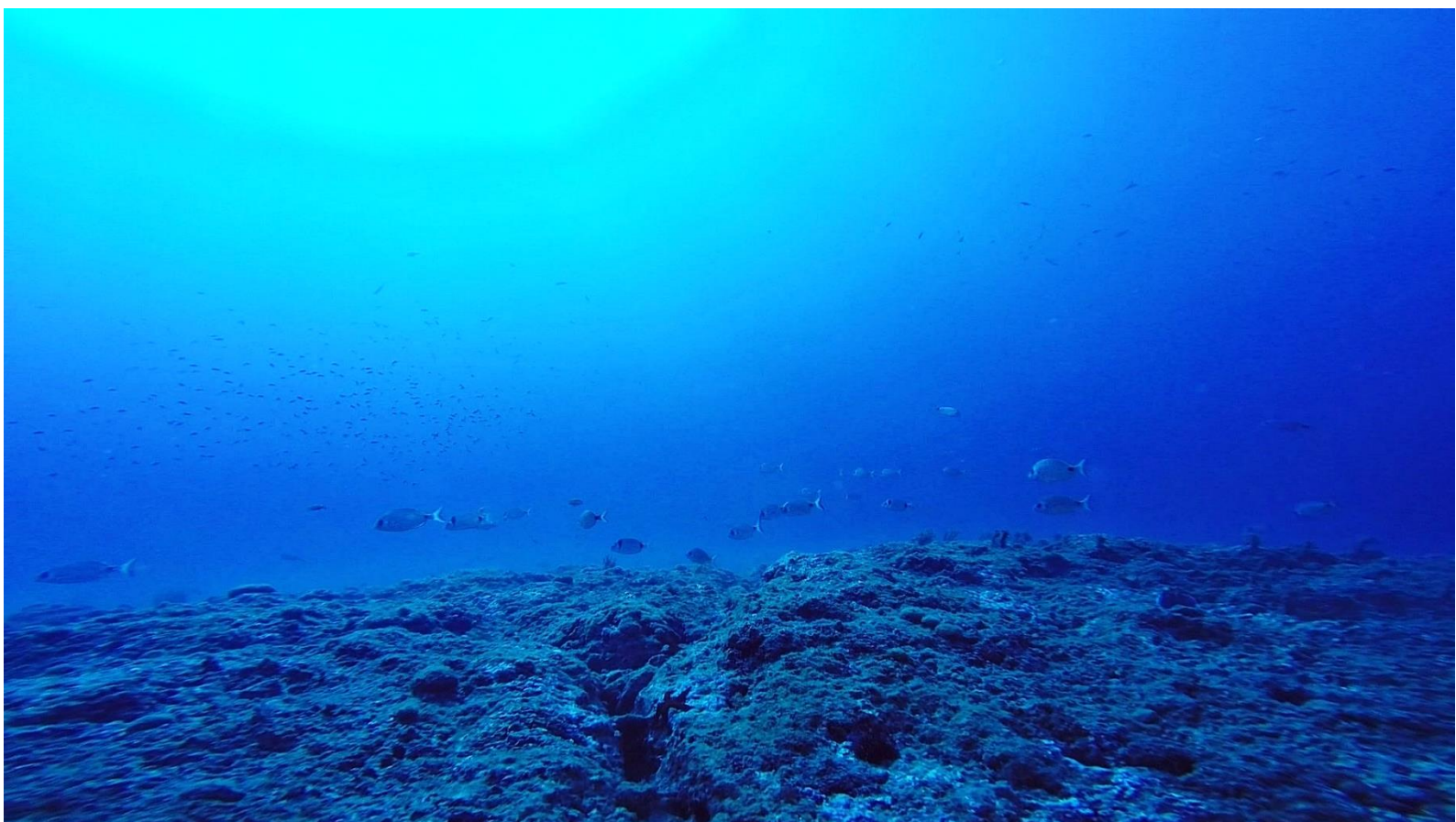




Suivi scientifique de la Réserve Marine de la Côte Palavasienne 2016-2021

Suivi annuel 2021



Rapport final de suivi scientifique de la Réserve Marine de Palavas

Février 2022

Table des matières

1. INTRODUCTION	9
2. LA RESERVE MARINE DE LA COTE PALAVASIENNE	10
2.1. Éléments historiques	10
2.2. Les objectifs de la RMCP	10
2.3. Les suivis scientifiques mis en œuvre	11
2.3.1. Suivi principal (obligatoire)	12
2.3.2. Suivis complémentaires (volontaires)	13
3. CAMPAGNE DE SUIVI PRINCIPAL DE 2021	14
3.1. Campagne de terrain	14
3.2. Matériel et méthode	16
3.2.1. Suivi de l'évolution de la biodiversité	16
3.2.1.1. Suivi des espèces épibenthiques fixes	17
3.2.1.2. Évolution de l'espèce épigée <i>Eunicella singularis</i> sur la zone de Cousanço	17
3.2.1.3. Suivi des espèces mobiles par comptages en plongée	20
3.2.1.4. Suivis par caméras fixes	26
3.2.1.5. Suivi sur les récifs artificiels	27
3.2.1.6. Suivi des fonds meubles par caméra tractée	30
3.2.1.7. Enquêtes pêches	32
4. SUIVI COMPLEMENTAIRE (PROGRAMME DE SCIENCE PARTICIPATIVE DE LA COMMISSION BIOLOGIE FFESSM)	33
4.1.1. Campagnes de terrain	33
4.1.2. Matériel et méthode	33
5. RESULTATS	34
5.1. Suivi de l'évolution de la biodiversité de la campagne de suivi principale de 2021	34
5.1.1. Suivi des espèces épibenthiques fixes	34
5.1.1.1. Analyse spatiale de la biodiversité benthique, campagne 2021	34
5.1.1.2. Évolution temporelle de la biodiversité benthique (2016 à 2021)	37
5.1.1.3. Suivi de l'espèce épigée <i>Eunicella singularis</i> sur la zone de Cousanço	41
5.1.1.4. Évolution temporelle de l'espèce épigée <i>Eunicella singularis</i> sur la zone de Cousanço	43
5.1.2. Évaluation de la biodiversité des espèces mobiles (téléostéens, crustacés et mollusques)	47
5.1.2.1. Suivi sur substrat rocheux	47
5.1.2.2. Suivi sur les récifs artificiels	78
5.1.2.3. Suivi des fonds meubles par caméra tractée	90
5.2. Suivi complémentaire (programme de science participative de la commission biologie FFESSM)	90
5.2.1.1. Résultats	90
6. DISCUSSION	96
6.1. Suivi Comparatif de la biodiversité	96

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

6.1.1.	Suivi sur les récifs artificiels	96
6.1.2.	Suivi sur le substrat rocheux	96
6.1.3.	Suivi des espèces épibenthiques fixes	97
6.2.	Évaluation de l'état de l'habitat dans la zone de plongée de Cousanço	97
6.3.	Récapitulatif méthodologique	98
7.	CONCLUSION	99
8.	BIBLIOGRAPHIE :	101

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. Carte de localisation de la Réserve Marine de la Côte Palavasienne (source : Marie de Palavas-les-Flots)	9
Figure 2. Le NEEEXO (Navire d'étude et d'exploration océanographique) utilisé pour le suivi de la Réserve marine de la côte palavasienne (©P2A développement, 2021)	14
Figure 3. Le APAÏ, navire léger professionnel, utilisé pour le suivi des récifs artificiels (©P2A développement, 2021)	14
Figure 4. Représentation schématique du protocole de suivi des gorgones blanches, Eunicella singularis sur les stations rocheuses	18
Figure 5. Représentation schématique du quadrat pour le comptage et la méthode de mesure de hauteur des individus (photo de Eunicella singularis, source http://doris.ffessm.fr).....	19
Figure 6. Photographie sous-marine d'individus sains (à gauche) sur le site de Porquières Ouest et d'individus nécrosés (à droite) sur le site de Cousança Sud (P2A développement)	19
Figure 7. Représentation schématique d'un protocole de suivi des transects sur les stations rocheuses. (P2A développement).....	21
Figure 8. Carte de localisation des sites de suivi scientifique en plongée (transects sur les stations rocheuses)	23
Figure 9. Photo sous-marine du positionnement de la caméra sur le piquet d'une station de suivi ...	26
Figure 10. Carte de situation de la réserve marine de la côte Palavasienne avec l'emplacement des récifs artificiels	28
Figure 11. Plongeur réalisant un comptage sur récif de type « cube ». P2A développement.....	29
Figure 12. Photographies sous-marines des structures de type « cube » (en haut) et de type « buse » (en bas). P2A développement	29
Figure 13. Carte de localisation des suivis scientifiques par caméra tractée (traits rouges discontinus)	30
Figure 14 - Le NEEEXO et son portique homologué CMU 250 kg et notre nouvelle caméra tractée CAT80 Evo	31
Figure 15. Abondance cumulée en 2021, (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	35
Figure 16. Abondance de la gorgone blanche Eunicella singularis sur les différentes stations en 2020, (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	36
Figure 17. Richesse spécifique par station en 2020, (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	36
Figure 18. Calcul des indices de diversité et d'équitabilité sur les différentes stations, (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	37
Figure 19. Abondance totale par station (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)) pour les 5 années de recensement des espèces benthiques	39
Figure 20. Richesse spécifique par station (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)) pour les 5 années de recensement des espèces benthiques.	39

Figure 21. Indice de diversité spécifique (indice de Shannon) par stations (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)) pour les 5 années de recensement des espèces benthiques.....	40
Figure 22. Indice de régularité ou d'équitabilité (indice de Piélou) par stations (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)) pour les 5 années de recensement des espèces benthiques.....	41
Figure 23. L'histogramme des fréquences des classes de taille (en cm) du peuplement de Eunicella singularis identifié sur le site de Porquières Ouest (dans la zone de protection renforcée), et de Cousança Sud (dans la zone réglementée).	42
Figure 24. Photos sous-marine réalisées lors du suivi des gorgones dans la zone de Cousança et de Porquières. A gauche, des gorgones saines, facilement observable par la présence des polypes. A droite, présence de nombreuses castagnoles près des « champs » de gorgones observées dans la réserve intégrale de Porquières.....	43
Figure 25. Abondance totale et densité/m ² de Eunicella singularis sur le site de Cousança sud (CS) pour les 3 années de suivi et sur le site de Porquières Ouest (PO) pour le suivi de 2019.....	44
Figure 26. Taille moyenne des individus sur le site de Cousança Sud (CS) pour les 3 années de suivi et le site de Porquières Ouest (PO) pour le suivi de 2019.....	45
Figure 27. Champs de gorgone observé sur la station de Porquières.....	46
Figure 28. Abondance totale par station pour le suivi de 2020, les barres d'erreurs représentent les écart-types (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	49
Figure 29. Abondance cumulée (hors pélagique grégaire), (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	49
Figure 30. Moyenne des abondances dans la réserve et hors réserve, hors pélagique grégaire.	50
Figure 31. Richesse spécifique des stations (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	50
Figure 32. Indice de Shannon et Piélou du suivi ichtyologique sur substrat rocheux en 2020, (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	51
Figure 33. Carte de localisation des sites de suivi scientifique en plongée (transects sur les stations rocheuses), (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	53
Figure 34. Évolution temporelle de l'abondance sur les stations regroupées par niveau de protection, (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).....	53
Figure 35. Visibilité observée sur le site de Porquières sud en 2019 (photo du haut) en en 2021 (photo du bas).	54
Figure 36. Abondance des espèces cibles sur les différentes stations (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)) de suivi en 2021.....	67
Figure 37. Étude de la taille moyenne des espèces cibles pour chaque station (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	68

Figure 38. Évolution de la taille moyenne des espèces cibles au sein de la réserve pour les 5 années de suivi.....	69
Figure 39. Évolution temporelle des abondances des espèces cibles pour les 5 années de suivi	70
Figure 40. Variation spatiale des abondances par caméra pour chaque station (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	72
Figure 41. Variation spatiale des abondances relevées par caméra fixe sans tenir compte des bancs de pélagique grégaire (Chromis chromis, Spicara maena, Boops boops) par station (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	72
Figure 42. Étude de la richesse spécifique sur les zones suivies par caméra fixe en 2021 (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	73
Figure 43. L'abondance des espèces cibles pour chaque station (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).	73
Figure 44. Image extraite de la vidéo du suivi de 2021 par caméra fixe sur la station de Porquières Sud	74
Figure 45. Variation spatiale des abondances par année de suivi par caméra fixe	76
Figure 46. Évolution de la richesse spécifique sur les stations suivies par caméra fixe.....	76
Figure 47. Photos sous-marines sur la zone de Porquières, en réserve intégrale lors du suivi de 2019, conditions environnementales optimum avec une visibilité de 10m.	78
Figure 48. Moyenne d'abondance de l'ichtyofaune dans la réserve et hors réserve	80
Figure 49. Abondance totale par récif situé dans la réserve (R1, r1, r9) ou en dehors de la réserve (HR6, HR4, HR1)	80
Figure 50. Abondance totale par récif situé dans la réserve (R1, r1, r9) ou en dehors de la réserve (HR6, HR4, HR1) sans tenir compte des bancs de Pagellus acarne et de Boops boops.....	81
Figure 51. Richesse spécifique sur les récifs de la réserve (R1, r1 et r9) et hors réserve (HR6, HR4 et HR1) en 2019. La moyenne de la richesse spécifique des récifs situé dans la réserve est de $14,00 \pm 7,94$ et la moyenne de la richesse spécifique des récifs situé hors de la réserve est de $2,67 \pm 2,52$, la moyenne de la richesse spécifique globale est représentée par la droite verte.	81
Figure 52. Indice de Shannon et de Pielou sur les récifs de la réserve (R1, r1 et r9) et hors réserve (HR6, HR4 et HR1)	82
Figure 53. Sar à tête noire (Diplodus vulgaris) sur un le récif R1 à peine détectable en raison de la faible visibilité lors du suivi de 2021.	82
Figure 54. Clichés pris sur le récif R1 lors du suivi de 2021. En haut, une langouste rouge, Palinurus elephas, en bas à gauche, une mostelle de roche, Phycis phycis, cachée entre deux parois du récif, en bas à droite, une rascasse brune, Scorpaena porcus.....	83
Figure 55. Évolution temporelle des abondances de chaque récif	84
Figure 56. Évolution temporelle des abondances de chaque récif sans les bancs de Chromis chromis, Boops boops et Pagellus acarne.....	86
Figure 57. Évolution temporelle de l'abondance totale des récifs de la réserve et hors réserve.....	86
Figure 58. Richesse spécifique des récifs artificiels de la réserve et hors réserve pour les 3 années de suivi.....	87
Figure 59. Indice de Shannon (diversité) des récifs artificiels depuis 2016	88

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Figure 60. Indice de Piélou (équitabilité) des récifs artificiels depuis 2016	88
Figure 61. Image très turbide et ininterprétable lors de la campagne de suivi des fonds meubles pas caméra tractée en novembre 2021.....	90
Figure 62. Indices d'abondance des familles benthiques calculés à partir des observations de présence/absences des espèces lors des suivis en plongée de la commission bio de la FFESSM	91
Figure 63. Indices d'abondance des familles ichtyologiques calculés à partir des observations de présence/absence des espèces lors des suivis en plongée de la commission bio de la FFESSM.....	92
Figure 64. Evolution de l'indice d'abondance des espèces ichtyologiques 2016 à 2021.....	94
Figure 65. Evolution temporelle du nombre total de détection ichtyologique lors des inventaires en plongée de la FFESSM.....	95

Crédits photos

Jean-Yves Jouvenel, Alicia Mallet (P2A développement).

Le présent rapport devra être cité comme suit

Jouvenel J.-Y., Mallet A., Tessier P., Molinier P., 2021_Suivi scientifique de la Réserve Marine de la Côte Palavasienne. Rapport Provisoire 2021. Ville de Palavas les flots, Décembre 2021 : 74 pages.

1.Introduction

Les pêcheurs aux petits métiers de la Prud'homie de Palavas-les-Flots, constatant une diminution des stocks de poissons, ont initié en 2011, avec le support de la ville de Palavas-les-Flots, un projet de création d'un cantonnement de pêche en mer. Après plusieurs années de maturation et de concertation, le projet s'est concrétisé en avril 2016, avec la mise en place du balisage de la zone de 100 ha, et des 2 arrêtés de restriction des usages associés. Le fondement de cette zone marine de protection renforcée, appelée Réserve Marine de la Côte Palavasienne (RMCP), est un arrêté ministériel de cantonnement de pêche sur lequel se superpose un arrêté de la préfecture maritime pour réglementer les usages, prises pour une durée de 5 années.



Figure 1. Carte de localisation de la Réserve Marine de la Côte Palavasienne (source : Marie de Palavas-les-Flots)

L'arrêté ministériel mentionne l'obligation de suivi scientifique de la zone, avec l'étude du « maintien des mesures de cantonnement (...) dans un délai de trois ans après entrée en vigueur du présent arrêté sur la base du suivi biologique prévu à l'article 5 ».

2. La Réserve Marine de la Côte Palavasienne

2.1. Éléments historiques

A l'initiative de la prud'homie de Palavas, de la mairie de Palavas et du bureau d'étude P2A Développement, l'arrêté ministériel de cantonnement de pêche a été mis en place en 2016. A cet arrêté ministériel s'est ajouté un arrêté de la préfecture maritime pour réglementer les usages.

A l'origine, la zone a été choisie pour la diversité de ces ressources halieutiques, connue et décrite par les pêcheurs locaux petits métiers, mais aussi pour la qualité de ces fonds. En effet, le périmètre de la zone mise sous protection comprend principalement le banc rocheux de Porquières et l'îlot de Porquières, au Nord-Ouest, aussi appelé par les plongeurs locaux, Cousança du nom de Raymond Cousança qui fut un des pionniers de la plongée de la côte Palavasienne dans les années 70.

2.2. Les objectifs de la RMCP

Les stocks de poisson en méditerranée sont en situation « globalement préoccupante » (rapport 2008, Ifremer). En 2017 seulement 65,8% des stocks halieutiques marins mondiaux atteignent un niveau biologiquement durable (FAO, 2020). La conséquence de cette diminution de la ressource impacte directement les métiers de la pêche. En France, le nombre total de marins et de navires ne cesse de diminuer. Le bon état écologique du milieu marin et le développement d'activités durables d'exploitation des ressources halieutiques est incontournable et primordial. « Il n'y a pas d'avenir durable pour le secteur des pêches en France ou en Europe sans restauration d'un état de bonne santé écologique des écosystèmes et sans doute pas de conservation possible de la biodiversité sans l'implication de pêcheurs qui retrouvent toute leur place dans les écosystèmes. Cela implique un changement assez radical des modes de gestion des pêches maritimes. » (AFH, 2009). Dans ce contexte, la mise en place de réserve ou d'aire marine protégée constitue un axe de réponse à la restauration des écosystèmes marins et au renouvellement des stocks halieutiques.

En effet, les répercussions des réserves en mer sont habituellement caractérisées par quatre effets positifs sur les écosystèmes aquatiques :

- L'effet refuge, dû à la diminution de la pression anthropique sur le milieu, elle a pour conséquence d'augmenter la biodiversité, les tailles moyennes et maximales des individus, l'efficacité de la reproduction, l'exportation de biomasse aux abords de la réserve, la protection des zones de frayères et des nurseries (Lester & al, 2009 ; Roberts & Hawkins, 2000 ; Halpern, 2003 ; Berkeley & al, 2004) ;
- L'effet tampon, est une conséquence de l'effet refuge. L'étalement de la pyramide des âges et l'amélioration du potentiel reproducteur des individus permet d'augmenter la résilience des populations face à la variabilité des conditions environnementales. L'effet tampon permet une stabilisation des stocks de populations dans le temps. Certaines études montrent par ailleurs que la richesse allélique des poissons croît dans les zones de réserve, la diversité génétique augmente et donc la résilience des populations vis-à-vis de facteurs environnementaux aussi (Gell & Roberts, 2002 ; Pérez-Ruzafa & al, 2006) ;

- L'effet cascade, est une conséquence des deux autres effets précédents. La mise en réserve profite surtout aux maillons trophiques les plus élevés et aux populations ayant des stratégies de reproduction K. La biomasse des prédateurs augmente ce qui implique une diminution de l'effectif de leur proie comme décrit par le modèle de Lokta-Volterra (Shears & Babcock, 2003) ;
- L'effet de « spillover » ou de colonisation, correspond à l'augmentation des populations au sein de la réserve qui favorise la colonisation des zones autour de la réserve. Ce phénomène se fait par individus au stade larvaires ou juvéniles, et voir même adultes.

Les réserves marines sont actuellement au nombre de 7 en Méditerranée Française, l'aire de Cerbère-Banyuls, le Parc Marin de la Côte Bleue, le Parc National de Port-Cros, le Parc National des Calanque, l'aire de Scandola, les Bouches de Bonifacio et le Parc Naturel Régional de Camargue.

La réserve marine de la côte Palavasienne mesure 100 hectares, elle est située à 2650 m du rivage entre Palavas-Les-Flots et Carnon (Figure 1). Elle est constituée du banc rocheux de Porquières, placé en réserve intégrale, et du rocher de Cousança, qui est en zone protégée, autorisée à la plongée. L'arrêté du 30 mai 2016 crée le cantonnement qui interdit l'exercice de la pêche maritime sous toutes ses formes. L'arrêté préfectoral 149/2016 définit quant à lui deux zones :

- Un niveau de protection intégrale où toutes les activités sont interdites en dehors du simple passage (trafic maritime normal) sur plus de 93,5 ha,
- Un niveau de protection intermédiaire sur 6,5 ha où la plongée en scaphandre autonome, le mouillage, la navigation et la baignade sont autorisés.

La réserve marine de la côte Palavasienne (RMCP) possède 11 récifs artificiels dans la zone de protection renforcée (ZPR). Ces récifs ont été immergés avant la création de la réserve.

Les objectifs de la mise en réserve sont principalement le maintien des ressources halieutiques, mais également la préservation des milieux et des espèces patrimoniales, au sein du Site Natura 2000 « Posidonies de la côte Palavasienne ».

2.3. Les suivis scientifiques mis en œuvre

Les suivis scientifiques annuels sont un outil indispensable de gestion de la réserve et permettent d'appréhender les indicateurs d'évolution des différentes zones.

Plusieurs axes d'études ont été engagés afin d'appréhender les indicateurs d'évolution de plusieurs compartiments distincts :

- Un **suivi comparatif de la biodiversité** dans et en dehors de la réserve (justification de la mesure de restriction des activités),
- Un **suivi des éventuels impacts des mouillages et de la plongée dans la zone règlementée** (justification de l'accès à la plongée sous-marine et aux mouillages),
- Un **suivi comparatif des ressources halieutiques** exploitées dans et en dehors de la réserve (justification de la mesure de cantonnement).

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021

Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Le suivi scientifique fait intervenir plusieurs opérateurs sous l'égide de l'Association de Gestion de la Réserve Marine de la Côte Palavasienne (AGRMCP), répartis en un **suivi principal** et un **suivi complémentaire**.

Le **suivi principal** a pour but d'établir et/ou d'appliquer les protocoles de collecte des données afin d'en tirer des indicateurs quantitatifs propres à qualifier l'état des ressources halieutiques, de la biodiversité et de la zone où s'exerce la plongée sous-marine. Ces indicateurs, conformes à l'état de l'art, permettront d'orienter le Comité de suivi de la réserve. Ce suivi est réalisé par P2A Développement, bureau d'études en environnement marin.

Le **suivi complémentaire** est réalisé bénévolement par les plongeurs de la commission biologique du Comité Départemental de la FFESSM lors de journées spécifiquement allouées aux plongeurs qui leur permettent de pénétrer dans la zone de protection renforcée. Ce suivi a pour principaux objectifs d'exercer une veille biologique, de réaliser des inventaires et des prises de vues photos et vidéos afin de valoriser cet espace. Les protocoles définitifs ont été approuvés par la structure de gestion et ils n'autorisent en aucun cas les prélèvements dans la zone en cantonnement.

Tableau 1. Tableau synthétique des objectifs du suivi principal et complémentaire

Suivi Principal		Suivi Complémentaire
Objectifs		
Ressources halieutique	Indicateurs quantitatifs	Observations ponctuelles
Biodiversité	Indicateurs quantitatifs	Inventaires
Impacts activités Zone Réglementée	Indicateurs	sans objet
Espèces cibles pêche s/m	Indicateurs	observations/comptages
Espèces cibles pêche embarquée	Indicateurs	enquêtes/comptages
Opérateurs		
	Experts scientifiques	Plongeurs Bio/FFESSM
	Pêcheurs professionnels	Pêcheurs sous-marins
		Apnéistes Bio
		Ass. Pêche Plaisance
Habitats concernés		
	banc rocheux int./ext.	banc rocheux int./ext.
	récifs artificiels	récifs artificiels
	fonds de substrat meuble	

2.3.1. Suivi principal (obligatoire)

- Suivis des zones rocheuses : ces suivis sont effectués depuis 3 ans à raison d'une campagne par an, à la saison estivale et en respectant le même protocole. Ils consistent en un suivi comparatif de la biodiversité dans et en dehors de la réserve (zone témoin) par des comptages en plongée et des observations par vidéo fixe. Ils ont pour but l'évaluation de l'évolution de la biodiversité (ichtyologique et benthique) en réponse à la mise en réserve de la zone.

- Suivi de l'évolution d'une espèce épibenthique, *Eunicella singularis*, la gorgone blanche dans la zone de Cousanço : le suivi (comptage et mortalité) de cette espèce épigée, représentée en Méditerranée, est un indicateur des éventuels impacts érosifs de la plongée, autorisée dans la zone de Cousanço. Ce suivi est couplé à des données de fréquentation des plongeurs à l'année sur le site de Cousanço. De plus, un site d'étude témoin, situé dans la zone de protection intégrale à Porquières, a été intégré dans le protocole de suivi.
- Suivi des fonds meubles par caméra tractée : un suivi des fonds meubles, dans et en dehors de la réserve, a été réalisé par la technique de caméra tractée. Les fonds meubles constituent les deux-tiers de la topologie des fonds de la réserve marine de Palavas, leur étude est donc indispensable pour visualiser l'ensemble des changements induits, ou non, par la mise en réserve de la zone.

2.3.2. Suivis complémentaires (volontaires)

- Suivi par les plongeurs sous-marins volontaires. Ce suivi implique le Comité Départemental de la FFESSM, via sa commission Biologique. Ainsi, des journées dédiées aux comptages benthiques et ichtyologiques sont mis en œuvre par des équipes de plongeurs bénévoles. Ce suivi est réalisé à raison d'un suivi par mois pendant 6 mois (de mai à octobre). Les observations réalisées ont pour but d'estimer l'état des ressources et la tendance d'évolution au cours des différentes années de suivi. Cette veille a également pour vocation la sensibilisation aux espèces marines et à la mise en place de cette réserve.

Le présent rapport constitue le **rapport d'étude final à 5 ans** de mise en réserve de la zone. Ce rapport se veut descriptif mais également comparatif sur les plans spatio-temporels. Cette étude ayant fait l'objet d'un suivi scientifique standardisé sur 5 ans, a pu aboutir à la réalisation de stage de recherche de master 2 et à la publication d'un article scientifique en cours de soumission, inséré dans le présent rapport.

3. Campagne de suivi principal de 2021

3.1. Campagne de terrain

La campagne de collecte des données s'est déroulée entre le 13 septembre et le 10 novembre 2021. Cette dernière campagne du suivi a été réalisée plus tard en raison des très mauvaises conditions de visibilité. L'ensemble des observations ont été réalisées en période d'eaux chaudes mais décalées d'un mois et demi par rapport aux autres campagnes en raison de très mauvaises conditions de mer.



Figure 2. Le NEEEO (Navire d'étude et d'exploration océanographique) utilisé pour le suivi de la Réserve marine de la côte palavasienne (©P2A développement, 2021)



Figure 3. Le APAï, navire léger professionnel, utilisé pour le suivi des récifs artificiels (©P2A développement, 2021)

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021

Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Au total, 8 interventions ont été réalisées dont 3 avec notre embarcation légère côtière le Apaï avec plongeurs scientifiques pour les inventaires sur les récifs artificiels et 5 autres avec une équipe de 4 plongeurs avec le navire océanologique NEEXO, propriété de la société P2A développement.

Les tableaux ci-dessous présente un récapitulatif du nom des stations, leur localisation dans la réserve (Zone réglementée : ZR, Zone de protection renforcée : ZPR, Zone hors réserve : HR) et la nomenclature utilisée pour l'étude.

Tableau 2 : Tableau de nomenclature des différentes stations

Nom de la station	Zone de localisation	Nomenclature
Cousaça Nord	Zone réglementée (ZR1)	CN
Cousaça Sud	Zone réglementée (ZR2)	CS
Porquières Ouest	Zone de protection renforcée (ZPR1)	PO
Porquières Sud	Zone de protection renforcée (ZPR2)	PS
Guérites Ouest	Hors réserve (HR1)	GO
Guérites Est	Hors réserve (HR2)	GE

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021

Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Le tableau ci-dessous récapitule les protocoles de suivi pour chaque site, ainsi que la date d'inspection à laquelle le protocole a été réalisé.

Tableau 3 : Tableau récapitulatif du suivi scientifique de 2021

Suivi scientifique obligatoire 2021				
	Protocole	Sites	Réplicats	Date
Suivi espèces	Comptages poissons	Cousaça Nord (ZR1)	12 transects	02/10/2021
		Cousaça Sud (ZR2)	12 transects	08/10/2021
		Porquières Ouest (ZPR1)	12 transects	01/10/2021
		Porquières Sud (ZPR2)	12 transects	09/11/2021
		Guérites Ouest (HR1)	12 transects	09/11/2021
		Guérites Est (HR2)	12 transects	08/10/2021
Suivi espèces	Caméras fixes	Cousaça Nord (ZR1)	10 min	02/10/2021
		Cousaça Sud (ZR2)	10 min	08/10/2021
		Porquières Ouest (ZPR1)	10 min	01/10/2021
		Porquières Sud (ZPR2)	10 min	09/11/2021
		Guérites Ouest (HR1)	10 min	09/11/2021
Suivi habitat	Benthos érigé	Cousaça Nord (ZR1)	1 transect	-
		Cousaça Sud (ZR2)	1 transect	07/10/2021
		Porquières Ouest (ZPR1)	1 transect	01/10/2021
		Porquières Sud (ZPR2)	1 transect	09/11/2021
		Guérites Ouest (HR1)	1 transect	09/11/2021
		Guérites Est (HR2)	1 transect	07/10/2021
Suivi zone Cousaça (Impact mouillage)	Comptage et mesure gorgones	Porquières Ouest (ZPR1)	3 quadrats	17/09/2021
		Cousaça Nord (ZR1)	3 quadrats	17/09/2021
Suivi récifs artificiels	Comptages poissons	R1 (ZPR)	2 réplicats	23/09/2021
		r1 (ZPR)	2 réplicats	23/09/2021
		r9 (ZPR)	2 réplicats	23/09/2021
		HR6 (HR)	2 réplicats	23/09/2021
		HR4 (HR)	2 réplicats	23/09/2021
		HR1 (HR)	2 réplicats	23/09/2021
Suivi des fonds meubles	Caméras tractées	Campagne 1	3 transects	25/11/2021
		Campagne 2	3 transects	26/11/2021

3.2. Matériel et méthode

3.2.1. Suivi de l'évolution de la biodiversité

3.2.1.1. Suivi des espèces épibenthiques fixes

Les organismes benthiques sont fondamentaux au bon fonctionnement de la chaîne trophique. La zone de réserve abrite une mosaïque d'habitats soumis aux pressions anthropiques tels que les ancrages, ou les passages des plongeurs. Les biocénoses type « coralligène » recouvrent une grande surface de la zone de Porquières. De nombreuses gorgones blanches *Eunicella singularis* recouvrent le plateau. D'autres espèces potentiellement vulnérables aux ancrages comme *Myriapora truncata*, *Cliona sp*, ainsi que la grande nacre *Pinna nobilis* sont également présentes et représentatives du site.

Selon les mêmes méthodes utilisées que pour les inventaires à l'état zéro et les rapports de suivi intermédiaires de 2018 et 2019, le suivi des substrats durs a été réalisé lors de la campagne de 2020. Un transect permanent avec évaluation du recouvrement d'espèces indicatrices a été réalisé pour chaque station.

Pour le suivi des espèces épibenthiques fixes, 6 stations de suivis sont désignées :

- 2 hors-réserve (HR1/HR2),
- 2 en zone règlementée (ZR1/ZR2). Les sites fréquentés par les plongeurs sont préférentiellement choisis,
- 2 en zone de protection renforcée (ZPR1/ZPR2).

Le tableau ci-après synthétise la méthode du comptage exhaustif en plongée sur transects utilisée pour chaque station. Il y a un transect de 28 m par station, réalisés par deux plongeurs (2 réplicats par station) :

Tableau 4 : Nomenclature utilisée pour la désignation des différentes stations de suivi

Stations	Acronymes	Transects	Réplicats
Cousança Nord	CN	P2 à P3	2
Cousança Sud	CS	P2 à P3	2
Porquières Ouest	PO	P3 à P2	2
Porquières Sud	PS	P3 à P2	2
Guérites Ouest	GO	P3 à P4	2
Guérites Est	GE	P2 à P1	2

Le calcul d'indices synthétiques (abondance, richesse spécifique, indice de Shannon, indice de Pielou) ont été réalisés afin de caractériser les stations et les communautés des espèces de macrobenthos (comprenant les espèces de faune fixée : bryozoaires, anthozoaires, spongiaires, tuniciers, annélides tubicoles et de faune mobile : échinodermes et mollusques).

3.2.1.2. Évolution de l'espèce épigée *Eunicella singularis* sur la zone de Cousança

La zone du rocher de Cousança, autorisée à la plongée, est exposée à des risques d'endommagement des espèces épigées dus au mouillage des ancres et aux passages des plongeurs. Le rocher de Cousança étant le seul site de plongée accessible de la réserve, il suscite un réel engouement auprès des pratiquants de la plongée bouteille (Flament, 2015). Une fréquentation accrue aurait pour

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021

Réserve Marine de la Côte Palavasienne

conséquence une augmentation de la fréquence de mouillage sur la zone. De plus, la pratique de la plongée peut générer des érosions importantes au niveau de la couverture des épibiontes sur les substrats les plus visités. Le site des Tables au Cap d'Agde est une illustration du phénomène (Katell, 2016). Il était donc indispensable de prévoir un suivi spécifique de l'activité pour une gestion adaptée des flux de plongeurs.

Ainsi, des mesures de la gorgone blanche (*Eunicella singularis*) et des paramètres de vitalité sont réalisés sur la station de Cousança Sud lors des campagnes de suivi, depuis 2016. Ce suivi a été complété, depuis la campagne de 2019, par un suivi sur une zone témoin, sur le site de Porquières Ouest, placée en réserve intégrale et interdite à la plongée. L'intérêt du site témoin dans la réserve intégrale est de pouvoir établir une comparaison des paramètres biologiques entre les gorgones blanches exposées à des pressions anthropiques (ancrage des bateaux de plongée, mouvements des palmes et autres activités des plongeurs) et celles préservées sur le site de Porquières Ouest.

Sur les deux sites, le suivi s'effectue le long d'une ligne de 52 m. Il consiste à positionner un quadrat de 2 m de côté puis compter et mesurer individuellement chacune des gorgones présentes dans le quadrat (Figure 4). Trois réplicats sont réalisés en procédant de façon similaire. Le suivi est réalisé par un binôme de plongeurs scientifiques équipés d'un décimètre pour délimiter le quadrat de 4 m², d'une pince graduée au mm pour mesurer les gorgones et d'une plaquette pour noter la taille des individus (Figure 5). Les paramètres de vitalité sont également relevés (individus sains vs nécrosés). Leur état de vitalité est facile à constater et à évaluer (Figure 6). Le pourcentage total d'individus nécrosés a été calculé en faisant le ratio des individus nécrosés sur le nombre total d'individus pour les 3 quadrats.

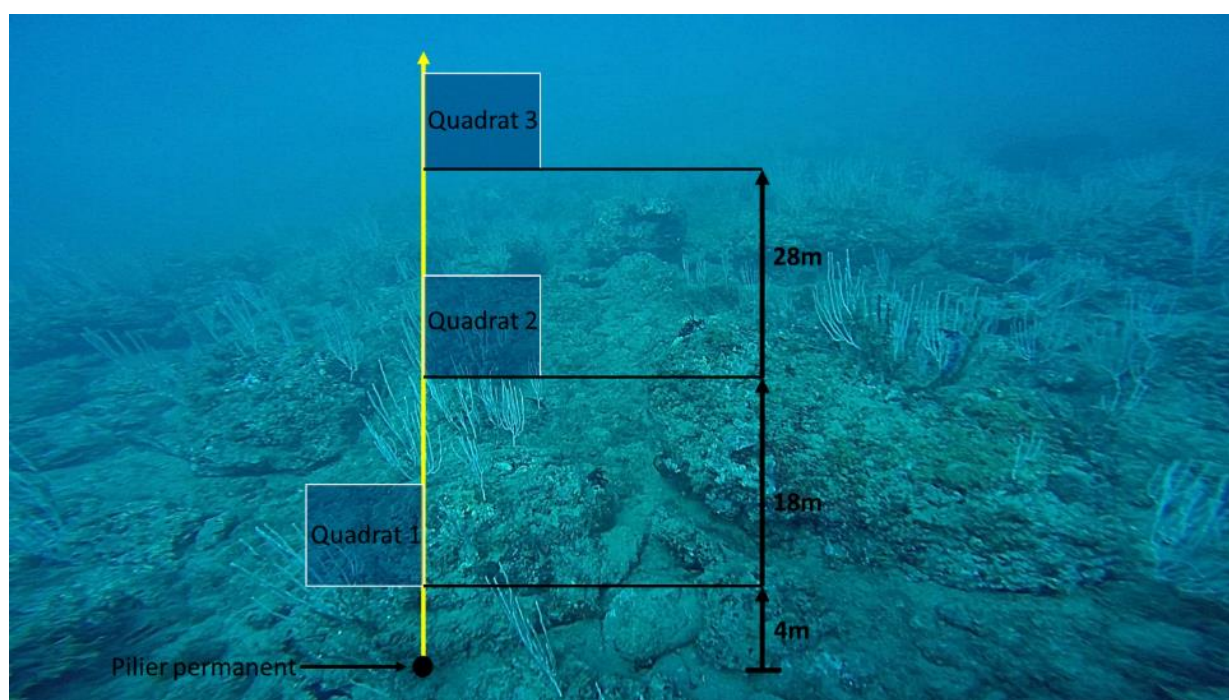


Figure 4. Représentation schématique du protocole de suivi des gorgones blanches, *Eunicella singularis* sur les stations rocheuses

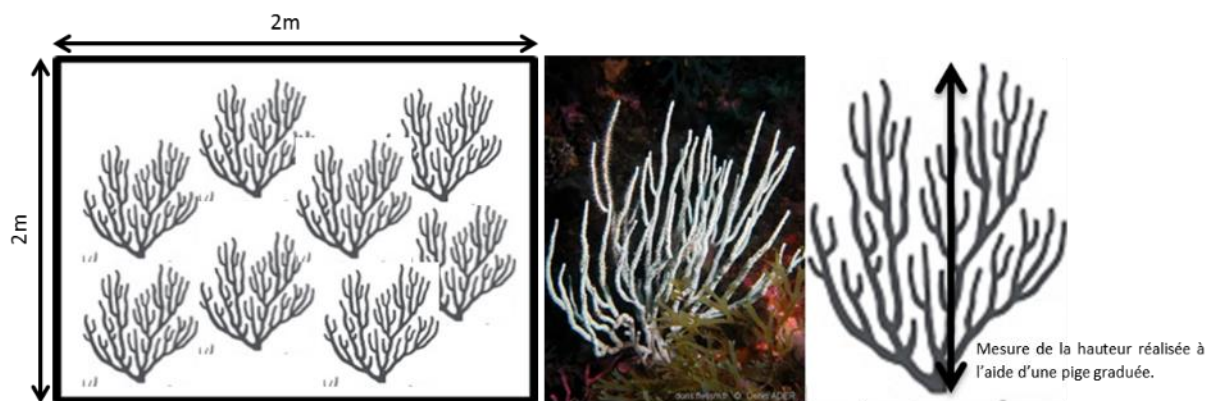


Figure 5. Représentation schématique du quadrat pour le comptage et la méthode de mesure de hauteur des individus (photo de *Eunicella singularis*, source <http://doris.ffessm.fr>)

Le protocole de relevé de ces espèces permet de suivre les espèces sensibles (Dalias *et al*, 2012)

Les données collectées sont :

- La densité des organismes (abondance au m²),
- La taille et l'état général (mesures des hauteurs)
- Le pourcentage d'individus sains/ individus nécrosés
- Le pourcentage moyen de colonisation sur chaque individu.
- Le contexte paysager (pourcentage d'individus nécrosés).

Le test de comparaison de Wilcoxon et Mann-Whitney a été utilisé pour comparer les moyennes de taille des individus entre les différents sites.



Figure 6. Photographie sous-marine d'individus sains (à gauche) sur le site de Porquières Ouest et d'individus nécrosés (à droite) sur le site de Cousanço Sud (P2A développement)

3.2.1.3. Suivi des espèces mobiles par comptages en plongée

3.2.1.3.1. Suivi sur substrat rocheux

Afin de connaître les effets de la mise en réserve sur les peuplements de la réserve, un comptage exhaustif en plongée sur transects avec estimation de la taille des individus est réalisé.

Le protocole prend en compte l'ichtyofaune mais également les espèces d'invertébrés jugées d'importance patrimoniale ou commerciale tels que les grands crustacés et les céphalopodes. Il est programmé le suivi de 6 stations, réparties comme indiqué ci-dessous :

- 2 stations en zone de protection renforcée (ZPR1, ZPR2),
- 2 stations en zone réglementée ouverte aux activités de plongée (ZR1 et ZR2),
- 2 stations hors réserve (HR1, HR2),

Les données collectées concernent :

- Les espèces (richesses spécifiques)
- Les effectifs par espèce (abondances/densités)
- La taille des individus par estimation à 2 cm près pour certaines espèces.
- Des données environnementales sont également collectées :
- La profondeur des transects et des récifs sur les stations,
- Leur position GPS (WGS84),
- La visibilité, la température de l'eau et les conditions météorologiques locales,
- La date et l'heure des comptages,
- Le substrat rencontré (coralligène, zone rocheuse, matte morte, détritique).

La méthode d'échantillonnage utilisé pour le suivi des transects est la méthode décrite de Harmelin-Vivien (Harmelin-Vivien & Harmelin 1975, Harmelin-Vivien *et al.*, 1985). Les paramètres environnementaux comme la température ou la visibilité sont relevés pour chaque transect. Les observations sont complétées par des prises de vues sous-marine.

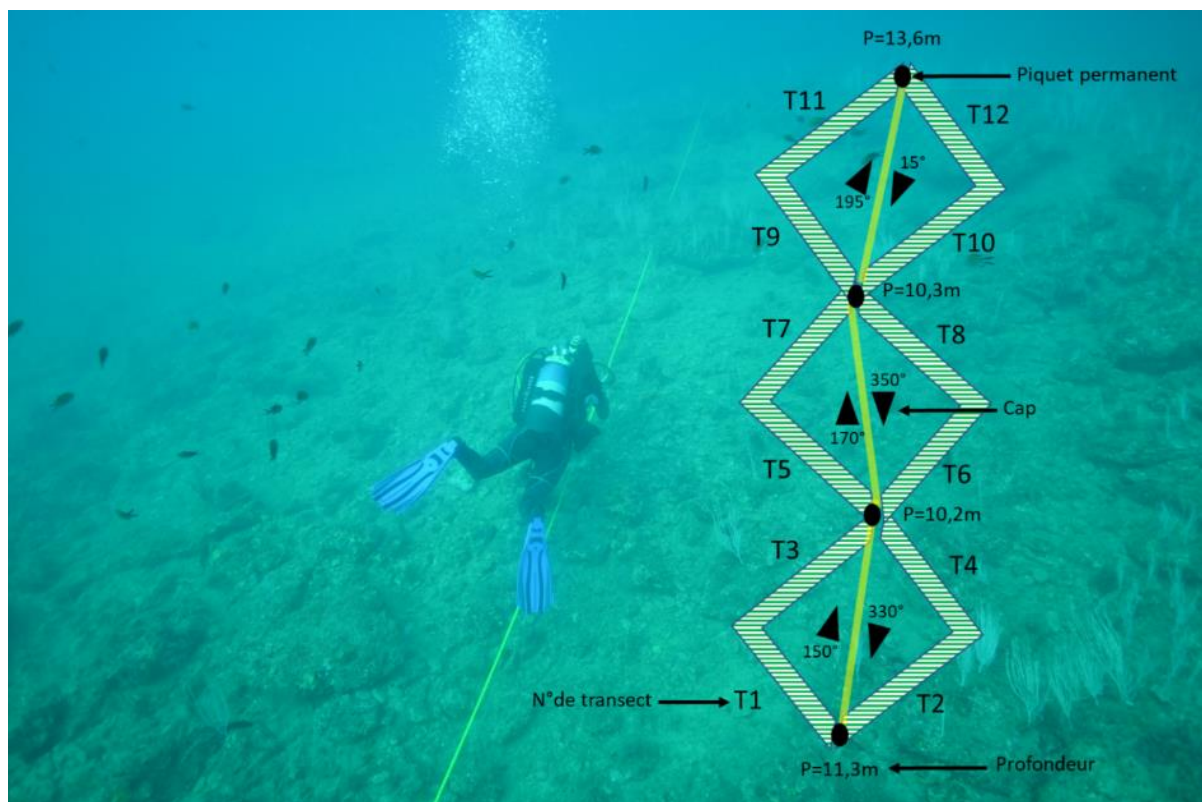


Figure 7. Représentation schématique d'un protocole de suivi des transects sur les stations rocheuses. (P2A développement)

Pour chaque station, 12 transects (réplicats) ont été réalisés par deux plongeurs. Chaque transect a été parcouru à partir de piquets fixes placés dans chaque station (4 par station). A partir de ces repères, l'orientation de chaque transect a été consignée, permettant ainsi de réaliser les mêmes parcours lors des différentes campagnes.

La surface totale recouvrant les zones de transect pour chaque station est de 480 m². Les zones évaluées pour le suivi de la biodiversité représentent au total 1920 m² dans la réserve marine et 960 m² hors de la réserve.

Le tableau ci-dessous (tableau 5) consigne les points GPS des piquets utilisés comme points de départ et d'arrivée des stations, ainsi que l'orientation en degrés des transects.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Tableau 5. Positionnement GPS des pieux des stations situées dans la réserve et hors réserve.

STATIONS	Pilier	Nom pillier	Azimet aller	Azimet retour	Latitude (degré décimal)	Longitude (degré décimal)
ZR1 / Cousanço Nord	P1	CN1	150° en P1		43, 512966	3, 967505
	P2	CN2	170° en P2	325° en P2	43, 512753	3, 967667
	P3	CN3	190° en P3	350° en P3	43, 512510	3, 967714
	P4	CN4		10° en P4	43, 512259	3, 967611
ZR2 / Cousanço Sud	P1	CS1	320° en P1		43, 512089	3, 969482
	P2	CS2	290° en P2	140° en P2	43, 512289	3, 969259
	P3	CS3	320° en P3	110° en P3	43, 512342	3, 968878
	P4	CS4		140° en P4	43, 512560	3, 968651
ZPR / Porquière Ouest	P1	PO1	150° en P1		43, 510922	3, 975168
	P2	PO2	200° en P2	330° en P2	43, 510700	3, 975336
	P3	PO3	270° en P3	20° en P3	43, 510468	3, 975203
	P4	PO4		90° en P4	43, 510457	3, 974869
ZPR2 / Porquière Sud	P1	PS1	45° en P1		43, 509770	3, 983741
	P2	PS2	50° en P2	225° en P2	43, 509947	3, 984003
	P3	PS3	30° en P3	230° en P3	43, 510089	3, 984239
	P4	PS4		210° en P4	43, 510317	3, 984446
HR1 / Guérites Ouest	P1	GO1	290° en P1		43, 514479	3, 988825
	P2	GO2	275° en P2	110° en P2	43, 514568	3, 988448
	P3	GO3	245° en P3	95° en P3	43, 514593	3, 988119
	P4	GO4		65° en P4	43, 514497	3, 987803
HR2 / Guérites Est	P1	GE1	65° en P1		43, 518927	4, 007105
	P2	GE2	70° en P2	245° en P2	43, 519045	4, 007433
	P3	GE3	10° en P3	250° en P3	43, 519118	4, 007774
	P4	GE4		190° en P4	43, 519397	4, 007836

La Figure 8 montre la carte de localisation des sites de suivi scientifique des transects sur les stations rocheuses.

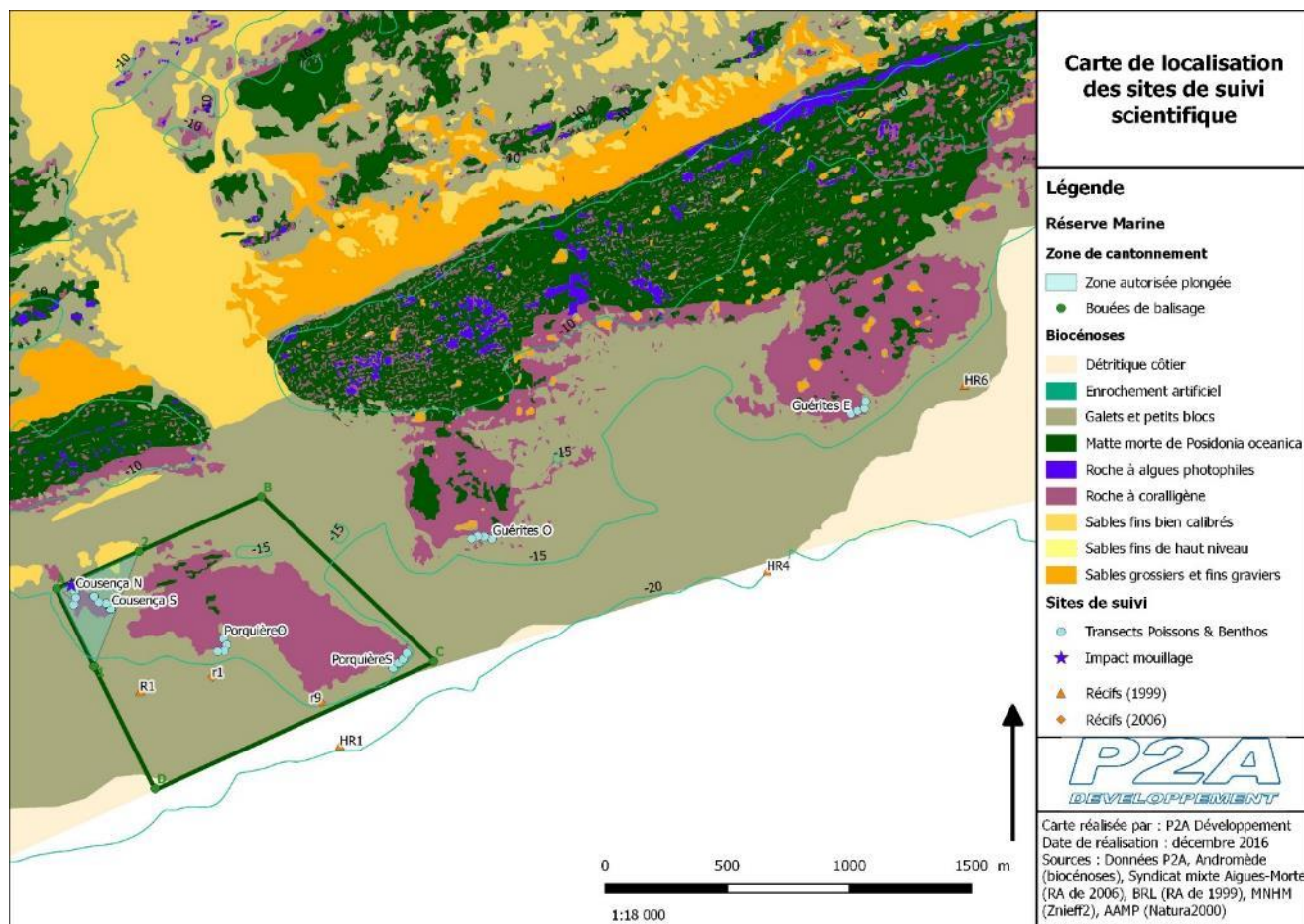


Figure 8. Carte de localisation des sites de suivi scientifique en plongée (transects sur les stations rocheuses)

L'analyse des données a été réalisée par P2A Développement.

Le calcul d'indices synthétiques a été réalisé afin de caractériser les stations et les communautés des espèces de téléostéen. Des analyses multivariées ont permis de réaliser des études comparatives sur l'ensemble des stations de suivi.

Les indices de mesure de la biodiversité utilisés dans cette étude sont :

- **L'abondance** : Elle correspond au nombre total d'individus d'une espèce, l'abondance peut aussi être calculée par site et concerner un ensemble d'individus présents sur une station et donc représentée par plusieurs taxons différents.
- **La richesse spécifique** : Dans un écosystème, la richesse spécifique d'une communauté ou d'un peuplement correspond au nombre de taxons que l'on y recense. Elle donne une première approche concernant les composantes de l'écosystème avec un cadre spatio-temporel bien défini. A partir du fichier de données traité, un calcul permettant de déterminer le nombre d'espèces par station est réalisé. Le but étant de comparer les richesses spécifiques entre chaque station.

- **L'indice de Shannon (H')** : cet indice est fréquemment utilisé en écologie pour mesurer la diversité spécifique. L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en considérant le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Il varie entre 0 (une seule espèce, ou bien une espèce domine très largement toutes les autres) et $\log_{10}(S)$ (avec S = nombre total d'espèces).

L'indice de Shannon est en réalité l'entropie d'ordre 1 du milieu, soit un cas particulier de l'entropie généralisée, dite entropie HCDT (Havrda, Chavàt, Daroczt et Tsallis (C. Tsallis (1988). « Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics »)). L'entropie correspond à l'incertitude rencontrée lors de l'observation des individus d'une communauté. Lors d'une expérience à n issues possibles, on associe à chaque issue une probabilité d'obtention, soit p_i la probabilité d'obtention de l'issue i . L'entropie augmente avec la difficulté de la prévision de l'issue d'une expérience. Ainsi l'entropie est maximale lorsque chaque issue est équiprobable, elle est nulle lorsque l'issue de l'expérience est certaine. Dans le cas de la RMCP l'expérience est le comptage des effectifs du taxocène sur les transects et une issue correspond à une observation d'un individu. Il est admis dans la littérature que l'entropie est une bonne mesure de la diversité et que ces deux dernières sont positivement corrélées. L'indice de Shannon donne quasiment la même importance à chaque individu, le logarithme présent dans sa formule réduit l'importance des espèces les plus abondantes. Il est sensible aux variations d'importance des espèces les plus rares. Il est couramment utilisé et se calcule via la formule : Grall & Coïc, (2005).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i * \log(p_i)$$

Avec :

n_i : nombre d'individus d'une espèce i dans l'échantillon

N : nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon

p_i : abondance proportionnelle : $p_i = n_i/N$

S : nombre total d'espèces

- **La régularité ou l'équitabilité (J')** : L'équitabilité ou indice de Pielou permet de mesurer l'écart entre la distribution réelle des abondances des taxons à une distribution uniforme. Les critères de Dalton (Dalton (1920) « The measurement of the inequality of incomes ») sont les propriétés fondamentales de l'équitabilité. L'équitabilité ne dépend que des fréquences et non des abondances absolues : elle augmente lorsqu'un individu d'une espèce fréquente est transféré vers une espèce rare, elle diminue quand une espèce rare est ajoutée et elle dispose d'une invariance d'échelle. L'indice de régularité permet, indépendamment de la richesse spécifique, de mesurer la répartition des individus au sein des espèces. Il oscille entre 0 (dominance d'une des espèces) et 1 (équirépartition des individus dans les espèces). Il se calcule de la façon suivante : Grall & Coïc, (2005)

$$J' = H' / \log(S)$$

Il ne faut pas oublier que ces deux indices restent dépendants de la taille des échantillons ainsi que du type d'habitat.

Les analyses multivariées :

- **Le diagramme de Cluster**

Un dendrogramme obtenu après groupement hiérarchique (méthode de groupement par association moyenne) est une manière visuelle de représenter la similarité des stations entre-elles grâce à l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis par exemple. La distribution des abondances de chaque taxon de chaque station est comparée, cette approche sert à comparer les peuplements de chaque station afin d'identifier celles qui se démarquent des autres. Cet indice vaut 1 lorsque les stations sont totalement dissemblables et 0 lorsqu'elles sont parfaitement semblables. Cette dissemblance, si elle est basée sur les effectifs bruts, donne beaucoup de poids aux taxons les plus abondants. Les relevés ichtyologiques sur la station de Porquières ouest par exemple font état d'un banc de 10 000 sardines qui constitue à lui seul plus de 85% des effectifs observés. L'observation de ce banc induit un biais sur les résultats. Ainsi, pour lisser les effectifs des taxons les plus abondants et donner plus d'importance aux espèces rares, il est courant d'appliquer une fonction strictement monotone avec un taux d'accroissement inférieur à 1. Une fonction logarithme népérien a été appliquée ici, les résultats présentés dans le présent rapport ont subi cette transformation.

- **L'effet plongeur**

Les données ont été collectées par deux plongeurs. Il était donc nécessaire de calculer la variabilité inter-opérateur afin de pouvoir écarter un potentiel biais dû à l'observateur, « l'effet plongeur ». La méthodologie employée impose de calculer cet effet grâce aux données récoltées lors de la campagne de 2016 sur les récifs artificiels (données non exploitées ici). En effet, il s'agit de l'unique jeu de données disponible où les deux plongeurs ont prospecté les mêmes sites presque en même temps. Les deux plongeurs ont collecté la totalité des données exploitées. Un test de Wilcoxon a été appliqué sur un tableau de données regroupant les abondances de chaque taxon observé pour chaque récif et pour les deux plongeurs. La p-value de 0.6984 confirme que l'effet plongeur est négligeable. Les données seront donc traitées indépendamment de l'opérateur qui les a fournis.

3.2.1.4. Suivis par caméras fixes

Des caméras vidéo sont utilisées en complément des comptages sur transects. Une caméra est fixée sur un pilier de transect pour chaque station de suivi (Figure 9).



Figure 9. Photo sous-marine du positionnement de la caméra sur le piquet d'une station de suivi

Chaque caméra est positionnée en point fixe avec une orientation précise de manière à filmer la zone rocheuse. La maîtrise de ces paramètres permet d'établir un protocole répliquable sur les suivis annuels. L'objectif de cette mise en place vidéo est d'avoir une vision générale du site, sans la présence des plongeurs qui sont susceptibles d'effaroucher les poissons. Les vidéos ainsi obtenues permettent d'observer la faune mobile peuplant le site. Le Tableau 6 indique le pilier et la position dans laquelle est placée chaque caméra sur chaque site pour réaliser les vidéos.

Tableau 6. Informations sur les positionnements vidéo sur les différentes stations d'étude.

STATIONS		Vidéo de référence
ZR1	Cousançà Nord	Azim.05° en P1
ZR2	Cousançà Sud	Azim. 240° en P1
ZPR1	Porquières Ouest	Azim. 0° en P1
ZPR2	Porquières Sud	Azim 0° en P3
HR1	Guérites Ouest	Azim.320° en P1
HR2	Guérites Est	Azim. 0° en P3

Un traitement des vidéos est ensuite réalisé, les espèces détectables sont comptabilisées et une analyse des données est faite pour chaque station de suivi. Les vidéos des 6 sites (CN, CS, PS, PO, GE et GO) ont une durée minimale de 15 min. Pour le traitement et l'analyse des données, chaque espèce présente sur les vidéos a été identifiée (dans la mesure du possible, en fonction des conditions de visibilité). Le nombre d'individu total par espèce a été comptabilisé sur chacune des vidéos et ces valeurs ont été ramenées à une abondance par unité de temps. L'unité de temps choisie est de 10 minutes.

Les espèces étudiées étant mobiles, la probabilité de passage des poissons devant les caméras est souvent un phénomène dû au hasard. En revanche, les probabilités de passage augmentent à mesure que les densités augmentent au sein d'un territoire. Ainsi, observer plus de poisson dans une fenêtre de temps défini est un indicateur représentatif de la densité. Le suivi de l'évolution de cette densité permet donc d'avoir des informations importantes sur les peuplements ichthyologiques de la réserve pour chaque année de suivi.

3.2.1.5. Suivi sur les récifs artificiels

Le suivi prend en charge des récifs artificiels de la réserve, mais également des récifs artificiels situés en dehors de la réserve dans des conditions d'exposition et de bathymétrie comparables.

Sur les récifs artificiels, les comptages ont été effectués en plongées sur un récif complet selon les méthodes développées par Charbonnel (Charbonnel *et al*, 1997)

Les sites retenus pour les suivis sont les suivants : R1, r1 et r9 situés dans la réserve et HR1, HR4 et HR6 situés hors réserve. Le tableau suivant (Tableau 7) donne les positions GPS des différents récifs suivis pour l'étude, ainsi que leur date d'immersion.

Tableau 7 : Position GPS et date d'immersion des différents récifs suivi

Nom	Niveau de protection	Année d'immersion	Type de récif	Latitude	Longitude
HR1	Hors réserve	1999	Cube sabla	43,50694	3,98100
HR4		1999	Buse	43,51318	4,00274
HR6		1999	Cube sabla	43,51995	4,01288
R1	Réserve	1999	Cube sabla	43,50903	3,97090
r1		2006	Buse	43,50950	3,97457
r9		2006	Cube empilés	43,50850	3,98010

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

La Figure 10 montre la carte de la réserve marine de la côte Palavasienne avec l’emplacement des récifs artificiels.

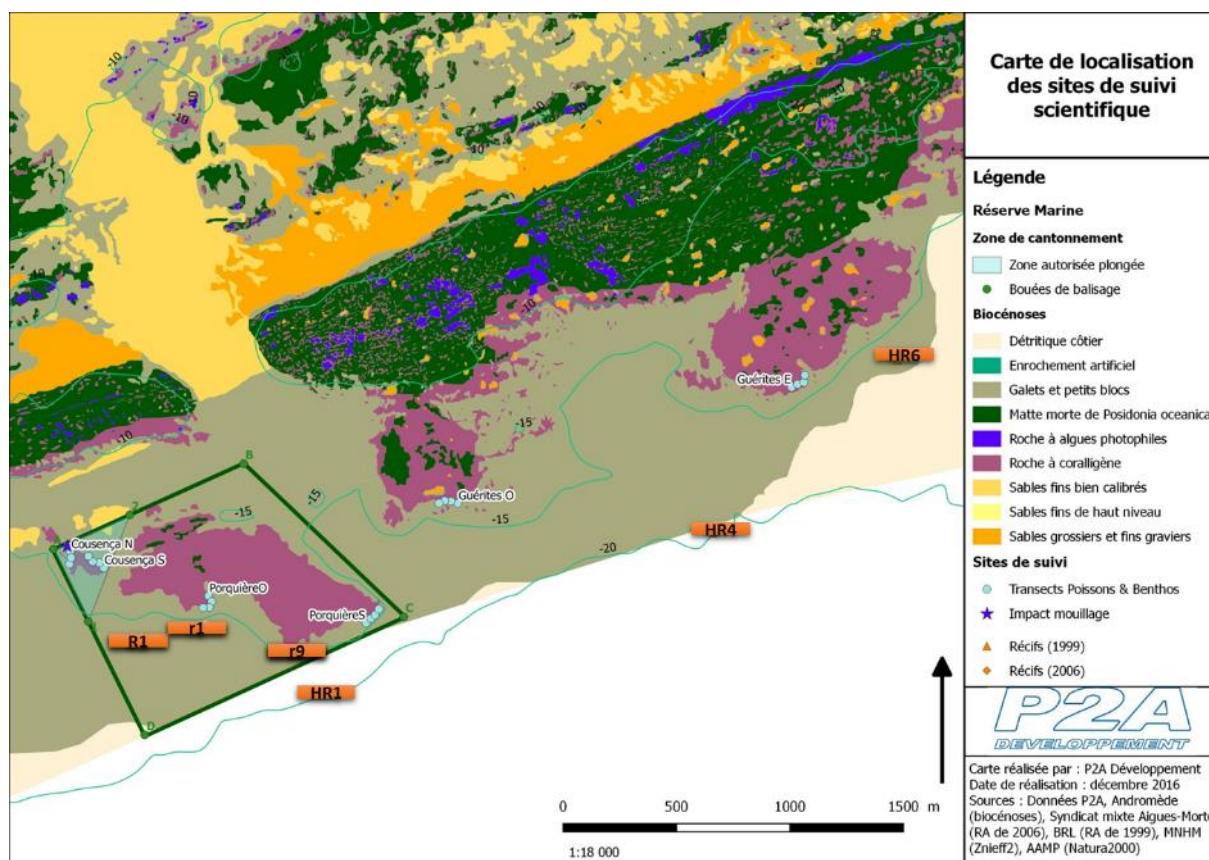


Figure 10. Carte de situation de la réserve marine de la côte Palavasienne avec l’emplacement des récifs artificiels

Les comptages sur les récifs sont effectués simultanément par deux observateurs réalisant chacun une rotation autour de chaque récif. Les comptages sont organisés en fonction du comportement des espèces (grégaires, craintives, démersales ou encore benthiques).

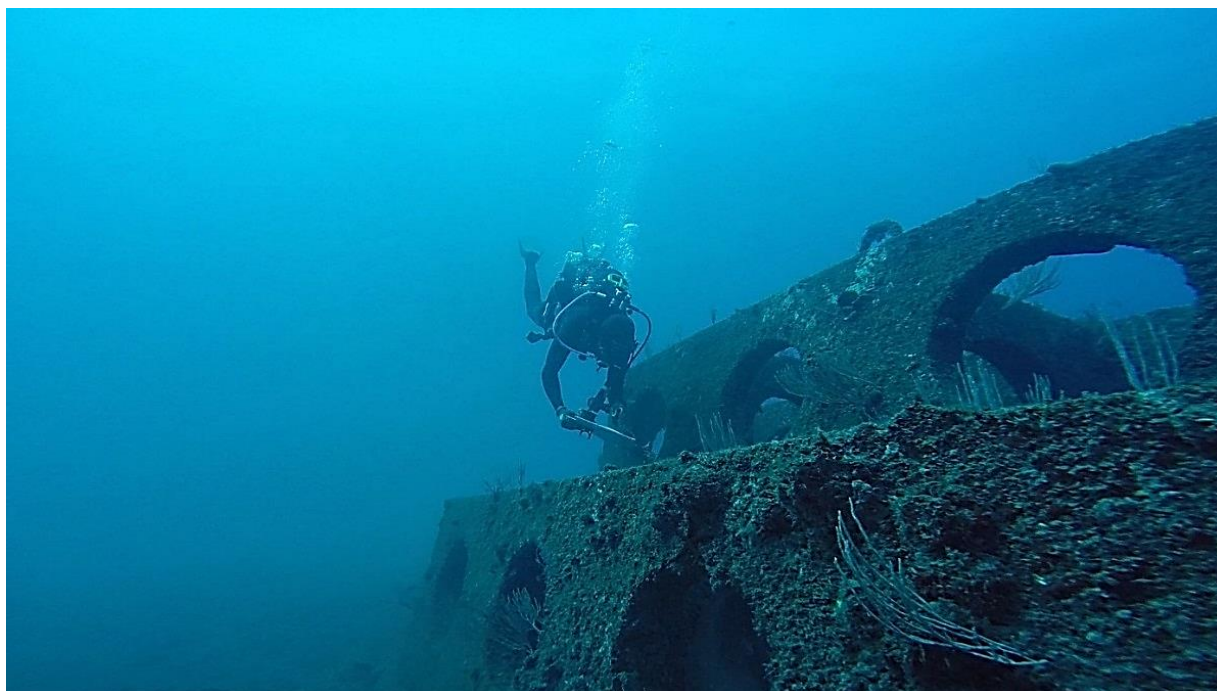


Figure 11. Plongeur réalisant un comptage sur récif de type « cube ». P2A développement

Les photos ci-dessous (Figure 12) montrent les différents types de récifs artificiels inspectés pour le suivi de la biodiversité dans la réserve marine et en dehors de la réserve. Deux types de récifs sont suivis, les récifs de type « buse » (r1 et HR1) et les récifs de type « cube » (R1, r9, H6 et HR4).



Figure 12. Photographies sous-marines des structures de type « cube » (en haut) et de type « buse » (en bas). P2A développement

3.2.1.6. Suivi des fonds meubles par caméra tractée

Les fonds meubles représentent les deux-tiers de la biocénose de la réserve marine. Très peu étudiés jusqu'à présent, ils représentent un domaine d'investigation des fonds marins grandissant. Afin de suivre l'évolution du peuplement benthique des fonds meubles de la réserve marine, des caméras tractées ont été réalisées sur des transects situés dans et en dehors de la RMCP lors de la campagne de 2020. La Figure 13 ci-dessous représente la carte de localisation des transects pour le suivi des fonds meubles par caméra tractée.

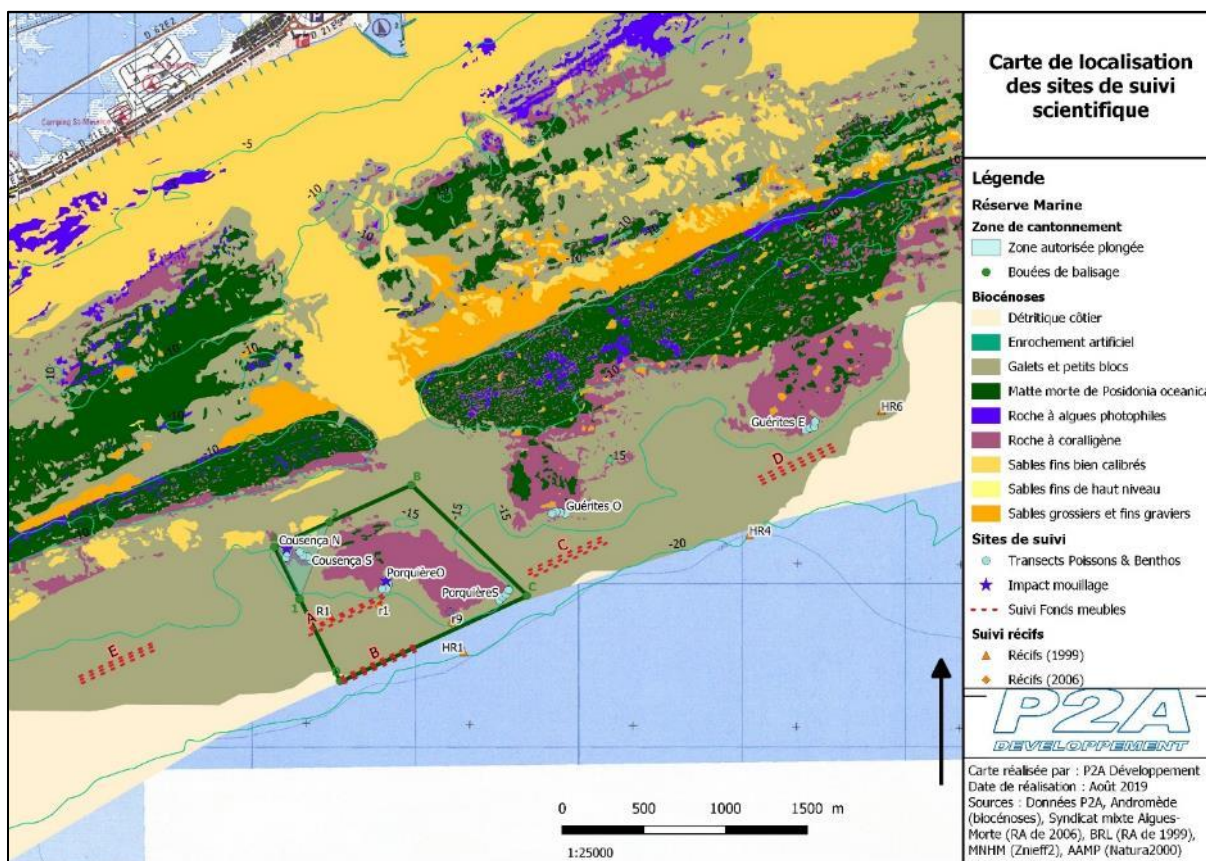


Figure 13. Carte de localisation des suivis scientifiques par caméra tractée (traits rouges discontinus)

Les espèces benthiques des 3 réplicats de chaque transect ont été comptabilisées pour chacune des deux caméras intégrées au dispositif de caméra tractée. A chaque espèce détectée, l'heure exacte de détection des organismes sur la vidéo a été annotée. Lorsque le même organisme a été détecté au même moment sur la caméra du haut et celle du bas, il a été comptabilisé une seule fois. Chaque transect ayant 3 réplicats, la longueur d'une série de transect est de 3X500 m soit 1500 m.



Figure 14 - Le NEEZO et son portique homologué CMU 250 kg et notre nouvelle caméra tractée CAT80 Evo

3.2.1.7. Enquêtes pêches

Dans le but de recueillir les ressentis des pêcheurs professionnels petits-métiers concernant l'effet de la réserve sur le peuplement d'espèces halieutiques et sur l'activité de pêche, une enquête par questionnaire a été réalisée. Le questionnaire, donné en Annexe 1, a été préalablement validé par le premier Prudhomme. Il s'articule autour de l'activité de pêche, des effets de la réserve sur l'activité de pêche, de l'image de la réserve et des mesures de gestion en place.

4. Suivi complémentaire (programme de science participative de la commission biologie FFESSM)

4.1.1. Campagnes de terrain

Une veille biologique est réalisée par les plongeurs de la commission biologique du Comité Départemental de la FFESSM. Six journées de suivi par an sont dédiées aux comptages benthiques et ichtyologiques dans la réserve (zone de protection renforcée). La campagne annuelle de suivi se déroule généralement de mai à octobre, à raison d'un suivi par mois. Les comptages sont réalisés par des plongeurs ayant suivi une formation de plongeurs biologistes. Ils possèdent donc les compétences naturalistes nécessaires à l'identification des espèces locales.

4.1.2. Matériel et méthode

Lors de chaque sortie, plusieurs palanquées de 2 à 3 plongeurs (12 plongeurs au maximum) réalisent des inventaires benthiques et ichtyologiques sur la zone de la réserve (sites choisis de façon aléatoire). Pour les inventaires, chaque palanquée de plongeur est équipée d'une plaquette et d'une fiche submersible sur laquelle sont répertoriées les principales espèces benthiques et ichtyologiques. Le plongeur relève les espèces qu'il a observées. La durée de recensement est de 20 minutes. La donnée collectée est une donnée qualitative (présence/absence) des espèces présentes sur le site lors des inventaires.

Les données reçues par la commission biologique de la FFESSM ont été traitées de la manière suivante :

- Une synthèse de toutes les observations de chaque palanquée, pour chaque sortie a été réalisée pour les espèces ichtyologiques ;
- Pour chaque espèce, des valeurs d'incidence des abondances ont été calculées pour chaque espèce et pour chaque année de suivi en fonction du nombre de plongées effectuées.
- Des graphes d'évolution temporelle des indices d'abondance pour chaque espèce ont alors été obtenus.

5. Résultats

5.1. Suivi de l'évolution de la biodiversité de la campagne de suivi principale de 2021

5.1.1. Suivi des espèces épibenthiques fixes

5.1.1.1. Analyse spatiale de la biodiversité benthique, campagne 2021

Un total de **716 individus** et de **35 espèces** a été comptabilisé sur l'ensemble des stations (Tableau 8). Cette année, la station de Cousanço Nord n'a pas pu être correctement échantillonnée à cause de condition météorologique difficile avec notamment une mauvaise visibilité. Nous ne tiendrons pas compte des données de cette station pour cette étude.

Tableau 8. Synthèse des effectifs des espèces benthiques recensées par famille sur les différentes stations de suivi (Cousanço Nord (CN), Cousanço Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

STATIONS		CN	CS	PO	PS	GO	GE
		Zone réglementée		Zone de protection renforcée		Hors réserve	
Nom scientifique	Nom vernaculaire						
BRYOZOAIRE							
<i>Pentapora fascialis</i>	Rose de mer méditerranéenne		1				
<i>Reteporella grimaldii</i>	Dentelle de Neptune		1				
<i>Schizobrachiella sanguinea</i>	Bryozoaire encroûtante rouge		9	8	9	12	5
<i>Scrupocellaria</i> sp.	Scrupocellaires		2		5	6	8
ANTHOZOAIRE							
<i>Alcyonium acaule</i>	Alcyon Méditerranéen			8	4		
<i>Alcyonium coralloïdes</i>	Alcyon coralloïde		7	9	13	3	7
<i>Eunicella singularis</i>	Gorgone blanche		105	110	50	20	95
ECHINODERMES							
<i>Asterina gibbosa</i>	Astérie bossue				10		
<i>Echinaster sepositus</i>	Etoile de mer rouge		3	9	6	1	4
<i>Holothuria forskali</i>	Holothurie noir		14		1	3	
<i>Paracentrotus lividus</i>	Oursin violet				6	1	
<i>Sphaerechinus granularis</i>	Oursin granuleux		3	2			1
SPONGIAIRES							
<i>Aplysina aerophoba</i>	Vérongia		4			3	
<i>Chondrosia reniformis</i>	Eponge rognion		6		3		2
<i>Clathrina lacunosa</i>	Clathrine pédonculée					2	
<i>Cliona celata</i>	Clione jaune		1	5	4	4	3
<i>Cliona viridis</i>	Clione verte		11	11	16	17	10
<i>Corticium candelabrum</i>	Eponge coussinet orange						
<i>Crambe crambe</i>	Eponge encroûtante orange		10		12	2	5
<i>Hemimyscale columella</i>	Eponge à cratères					2	
<i>Spongia officinalis</i>	Eponge de toilette						2
TUNICIERS							
<i>Phallusia fumigata</i>	Ascidie noire			1			
<i>Polysyncraton lacazei</i>	Synascidie de lacaze						1
ANNELIDES TUBICOLES							
<i>Serpula vermicularis</i>	Serpule					2	
<i>Apomatus similis</i>	Protule			2		2	
Autres							
	Limace			2			
	Eponge jaune tube			1			
<i>Patella rustica</i>	La patelle rustique			1			
	Anémones		3		2	2	1
Abondance par station			180	169	141	82	144

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021

Réserve Marine de la Côte Palavasienne

L'espèce la plus représentée est la gorgone blanche *Eunicella singularis* avec **380 individus** recensés sur l'ensemble des stations. A noter que le Violet, *Microcosmus sulcatus* appelé aussi « biju » est une espèce d'intérêt commercial du fait de sa présence en particulier dans le domaine de la restauration. En 2000, il y avait 20 équipages qui exploitaient le biju en plongée sur le territoire de la Prud'homie de Palavas-les-Flots. Or, lors des inventaires depuis 2019, aucun individu n'a été recensé. Sa présence de plus en plus rare sur nos côtes amène à une problématique de gestions des ressources.

Les abondances totales par station durant la campagne de 2021 (Figure 15. Abondance cumulée en 2021) montre que la station de Cousança Sud présente la plus grande abondance en faune benthique avec **181 individus** comptabilisés au total, et **169** sur Porquières Ouest.

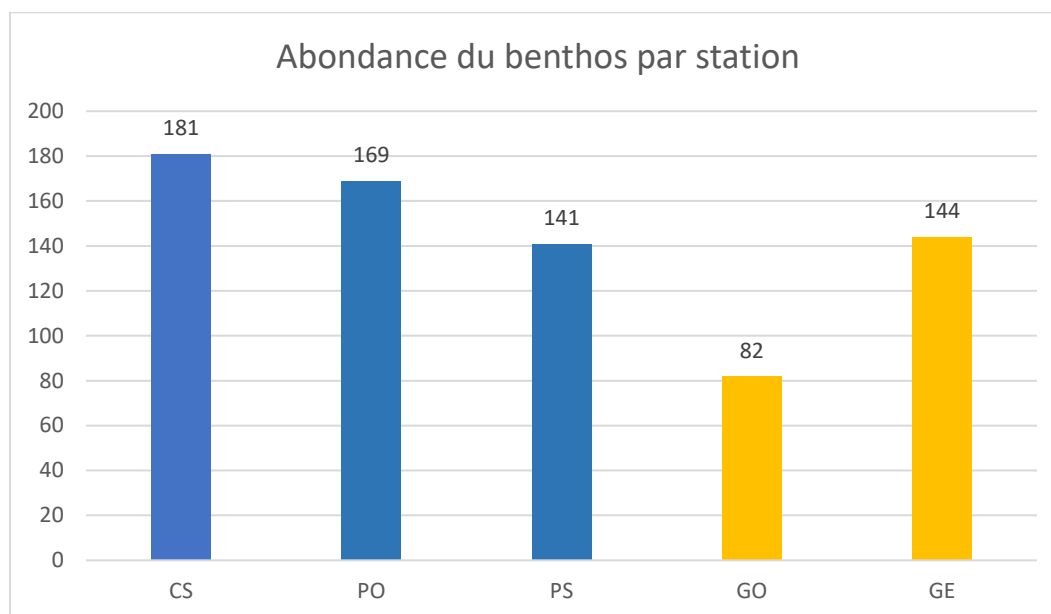


Figure 15. Abondance cumulée en 2021, (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

La gorgone blanche, *Eunicella singularis* est une espèce sessile nettement représentée sur les stations étudiées. En effet, elle représente en moyenne **50 % de la contribution en abondance des espèces benthiques**. L'abondance cumulée totale sur chaque station est directement influencée par la présence de cette espèce puisque l'on comptabilise par exemple **110 individus** sur la station de **Porquières Ouest** (Figure 16) pour un total de **169 individus** (Figure 15).

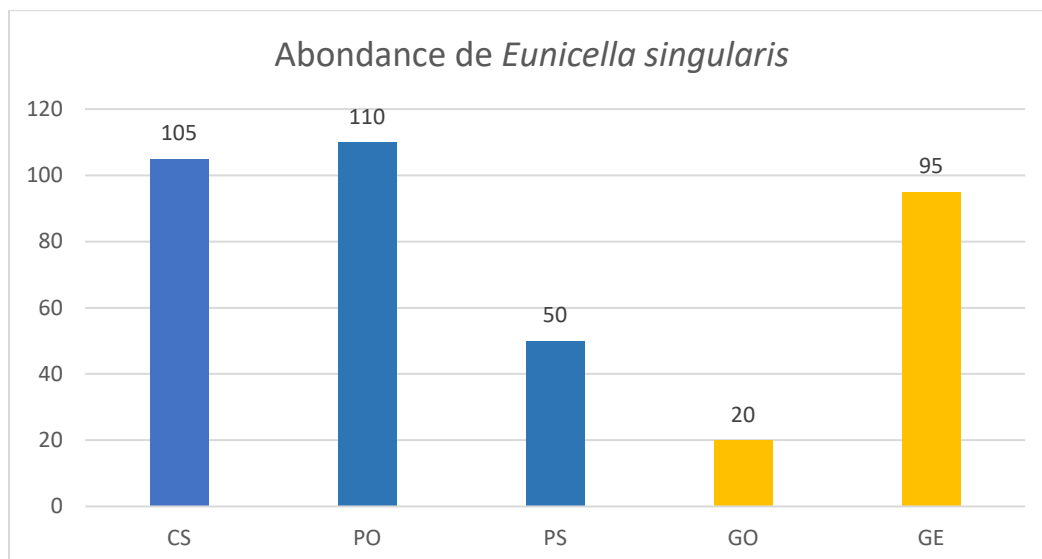


Figure 16. Abondance de la gorgone blanche *Eunicella singularis* sur les différentes stations en 2020, (Cousanço Nord (CN), Cousanço Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

L'analyse de la richesse spécifique sur chaque station (Figure 17) montre que la station de Cousanço Sud et de Guérites Ouest sont les plus riches, avec 16 espèces rencontrées dont des éponges.

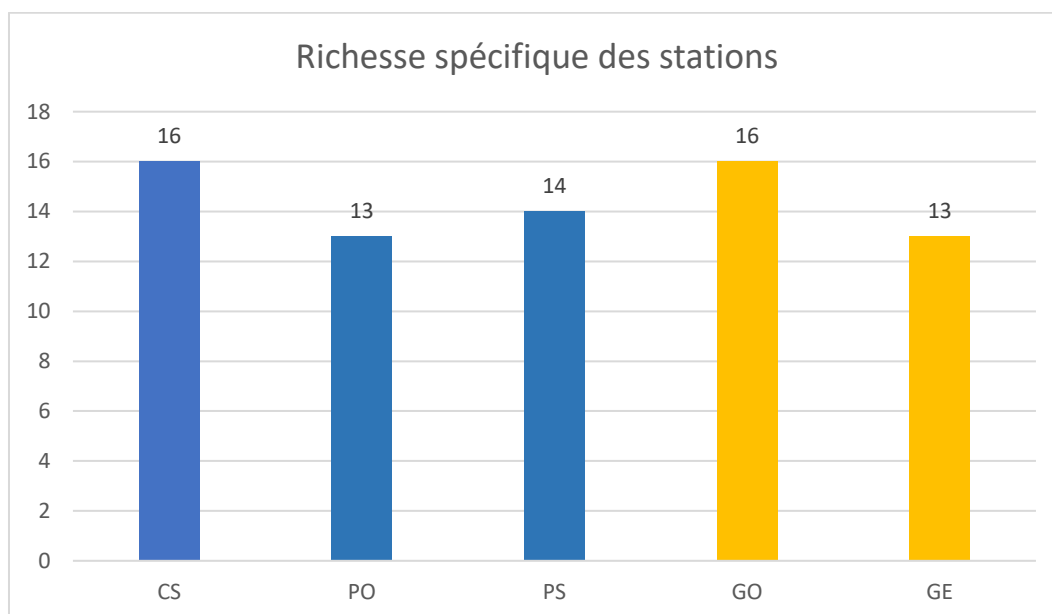


Figure 17. Richesse spécifique par station en 2020, (Cousanço Nord (CN), Cousanço Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

Le calcul des indices de diversité (indice de Shannon) et d'équitabilité (indice de Piélou) montre une diversité spécifique et une équitabilité supérieure pour les stations de Guérites Ouest et Porquières Sud (Figure 18). Ce sont les stations les plus équilibrées en termes de distribution des espèces.

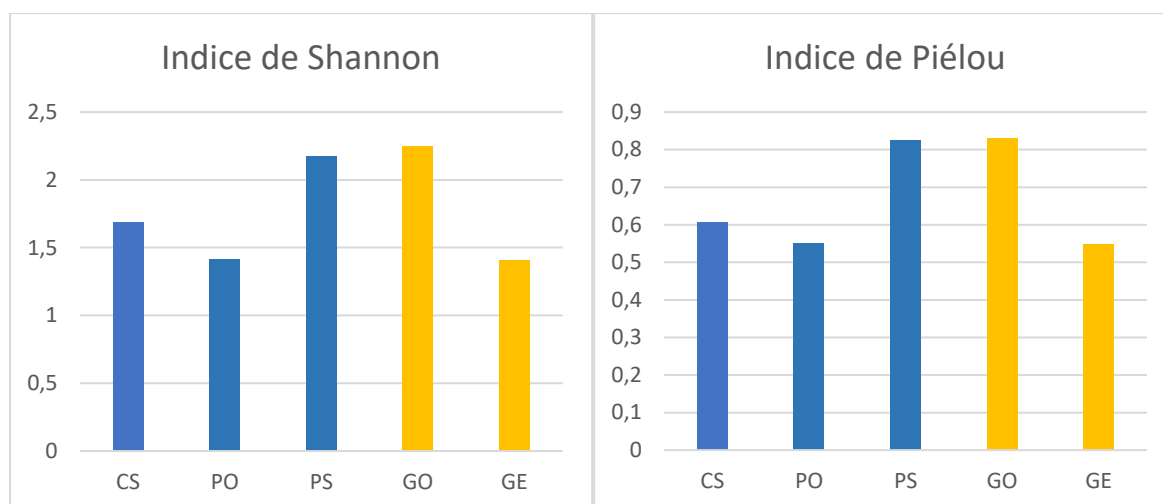


Figure 18. Calcul des indices de diversité et d'équitabilité sur les différentes stations, (Cousanço Nord (CN), Cousanço Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

En ce qui concerne les espèces épibenthiques fixes pour le suivi de 2021, une forte abondance sur les stations de Cousanço Sud et Porquières Ouest est observée, principalement due à une forte abondance de gorgones blanches (*Eunicella singularis*).

En revanche, les stations de Cousanço Sud et Guérites Ouest sont les plus riches. Porquières Sud et Guérites Ouest sont les stations les plus diversifiées et les plus équilibrées en espèce benthique.

5.1.1.2. Évolution temporelle de la biodiversité benthique (2016 à 2021)

Le tableau suivant (Tableau 9) représente les abondances des espèces benthiques des différents suivis de 2016, 2018, 2019, 2020 et 2021 sur chacune des stations.

L'abondance du benthos augmente au cours du temps jusqu'à atteindre un optimum, et à partir duquel l'abondance diminue ou se stabilise (Figure 19). Cet optimum est atteint en 2019 pour les stations de Cousanço Nord, Cousanço Sud, Porquières Sud et Guérites Est, en 2018 pour Porquières Ouest et en 2020 pour Porquières Ouest.

L'augmentation en abondance des espèces benthiques est principalement liée à l'augmentation des effectifs de la gorgone blanche *Eunicella singularis*. Lors de la campagne de 2019, de nombreux jeunes individus (taille inférieure à 5 cm) ont été observés et comptabilisés. Bien que cette espèce ait une croissance lente, de seulement quelques centimètres par an, il est possible que ces très jeunes individus n'aient pas été détectés et donc comptabilisés lors des comptages suivants ou bien qu'un certain pourcentage de ces très jeunes individus soit mort. L'abondance la plus élevée observée en 2019 s'explique également par une abondance supérieure en éponge comme l'éponge encroûtante rouge-orange *Crambe crambe* ou encore l'éponge coussinet orange *Corticium candelabrum*.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021

Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Tableau 9. Synthèse des effectifs des espèces benthiques sur chaque station (Cousaça Nord (CN), Cousaça Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)) et pour chaque campagne de suivi.

	CN 2016	CN 2018	CN 2019	CN 2020	CN 2021	CS 2016	CS 2018	CS 2019	CS 2020	CS 2021	PO 2016	PO 2018	PO 2019	PO 2020	PO 2021	PS 2016	PS 2018	PS 2019	PS 2020	PS 2021	GO 2016	GO 2018	GO 2019	GO 2020	GO 2021	GE 2016	GE 2018	GE 2019	GE 2020	GE 2021		
BRYOZOAIRES																																
Myriapora truncata			1														5											1				
Pentapora fascialis						2	2			1						1																
Reteporella grimaldii										1																						
Schizobrachiella sanguinea									3	9							6											8	8		5	
Scrupocellaria sp.		12					10			2		9	1		8		10			9		2			12			15			8	
ANTHOZOAIRES																																
Alptasia mutabilis																1																
Alcyonium acaule		7	16	9			2		3			3	5	2	8		3	2	15	4			1	8	1	3	1	1	2	2		
Alcyonium coralloides	1			2		1	1			7		7			9	1	4		5	13											7	
Anemonia viridis	16					1										1																
Cladocora caespitosa																																
Cribrinopsis crassa																																
Eunicella singularis	163	108	227	250		61	60	125	165	105	86	102	121	110	110	69	114	137	117	50	57	100	128	278	202	1	41	65	75	96	95	
Fleur											4																					
Parazoanthus axinellae						1										3											4					
Cerianthus membranaceus																																
ECHINODERMES																																
Arbacia lixula	4	4									2					7	2	3	4		1	2		1				2				
Asteria gibbosa																																
Echinaster sepositus	5	6	11	3		3	2	6	5	3	6	4	4	3	9	5	2	5	8	10	3	3		3	5	1	2	2	5+1	5	5	4
Halothuria forskall	11	13	6	6		7	10	12	12	14		10	5			1	2	4	3	1			11	12	3	3	2	2	2			
Halothuria tubulosa	2			2		2					1			2		1		1	3		2						2					
Marthasterias glacialis		1								1																						
Ophiothrix fragilis		52	1				12										54															
Paracentrotus lividus	7	7	8			4		1		3	3		1			7				6	4				1	2		17				
Sphaerechinus granularis	1	1		1		2	2	3	4	3		3			2	1	4	1	3				1	1		2	2	1	2	1	1	
SPONGIAIRES																																
Acanthella acuta																1	1					1							2			
Agelas oroides			1								1	1				1	1		1			1										
Amphilectus fucorum	1																															
Aplysina aerophoba	2	8	3	3		2	5	20	3	4	3	5	3															1				
Axinella damicornis								1																								
Chondrosia reniformis	1	1	9	1			2	8	1	6	2	2					3	1	1									2				
Clarina lacunosa																																
Cliona celata																																
Cliona viridis	16	11	5	4		16	14	5	15	11	16	15	3	12	11	21	2	4	3	16	1	9		2	4	1	12	14	5	2	10	
Corticium candelabrum							6	20									7	20	50													
Crambe crambe	22	9	25	13		3	4	20	19	10	4	8	6			8	6	29	16	12	4	7	5	25	14	7	1	8	2	6	5	
Eponge orange indéterminée						4										5																
Eponge rouge indéterminée													10	5																		
Hemimyscale columella																																
Mycale contarenii	1																															
Oscarella lobularis																																
Oscarella ficiformis																																
Phorbos tenacior																																
Phorbos opesenti																																
Spongia officinalis		1		2			7					5																				
Spongia lamella			8																													
Suberites carnosus																		1														
MOLLUSQUES																																
Hexaplex trunculus	1					2	2																				1	1				
Tritia sp																											1					
Bolma rugosa		1									1						1												1	1		
Pina rudis																			1													
TUNICIERS																																
Halocynthia papillosa	1	1	2								1																1	1	1	1		
Microcosmus sulcatus											1								2	1							1	1	1	1		
Phallusia mammilata	1																															
Phallusia fumigata			1								1	1			1	1	5	4	7		1		6	1				3	5			
Polysyncatron lacazei						2					2										15						2				1	
ANNELIDES TUBICOLES																																
Serpula vermicularis		3				2	2	2	6		1		7												2	2	1	1	3	1	1	
Apomatus similis				2					6		1			3	2					3				3	2	1	3	1	1			
CNIDAIRES																																
Anemonia viridis			10																													
Aiptasia mutabilis													1																			
Autres																																
Anémones				3																												
Limace																2				2					2						1	
Eponge jaune tube																																
Patella rustica																1																

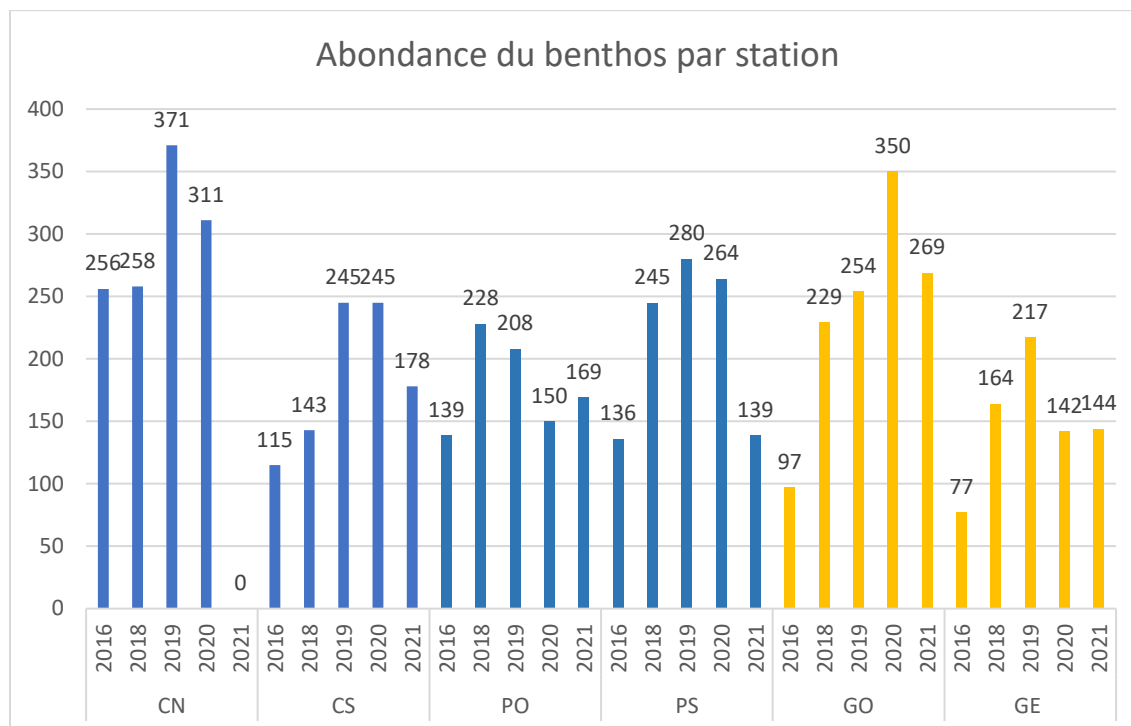


Figure 19. Abondance totale par station (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)) pour les 5 années de recensement des espèces benthiques

Aucune tendance uniforme d'évolution de la richesse spécifique n'est observable et ce indépendamment du fait que les stations soient situées dans la réserve ou à l'extérieur de la réserve (Figure 20). La richesse spécifique semble diminuer jusqu'en 2021 pour les stations de Guérites Est, Porquières Ouest, et Porquières Sud et augmenter au cours du temps pour le site de Guerites Ouest.

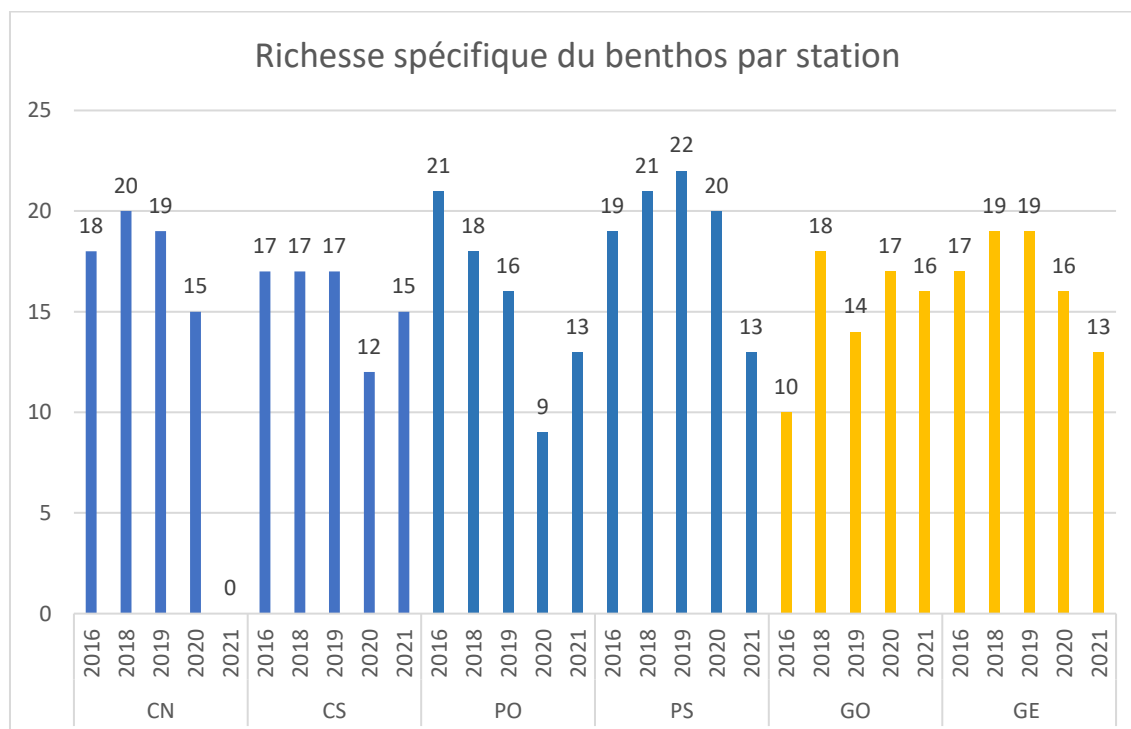


Figure 20. Richesse spécifique par station (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)) pour les 5 années de recensement des espèces benthiques.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Les stations de Porquières Sud et Guérites Ouest semblent plus stables et plus équitables au cours du temps (Figure 21 et 22). Les indices des autres stations tendent à diminuer au cours du temps avec notamment un pic des indices en 2018 pour chacune des stations.

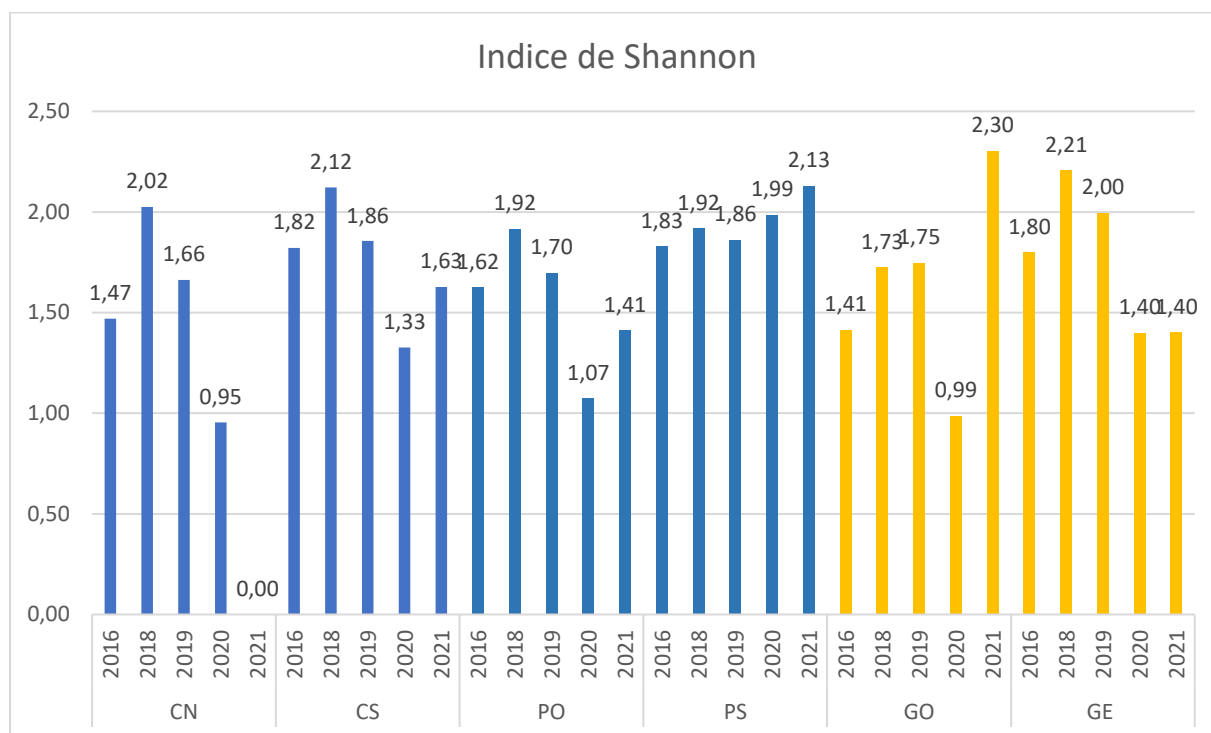


Figure 21. Indice de diversité spécifique (indice de Shannon) par stations (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)) pour les 5 années de recensement des espèces benthiques.

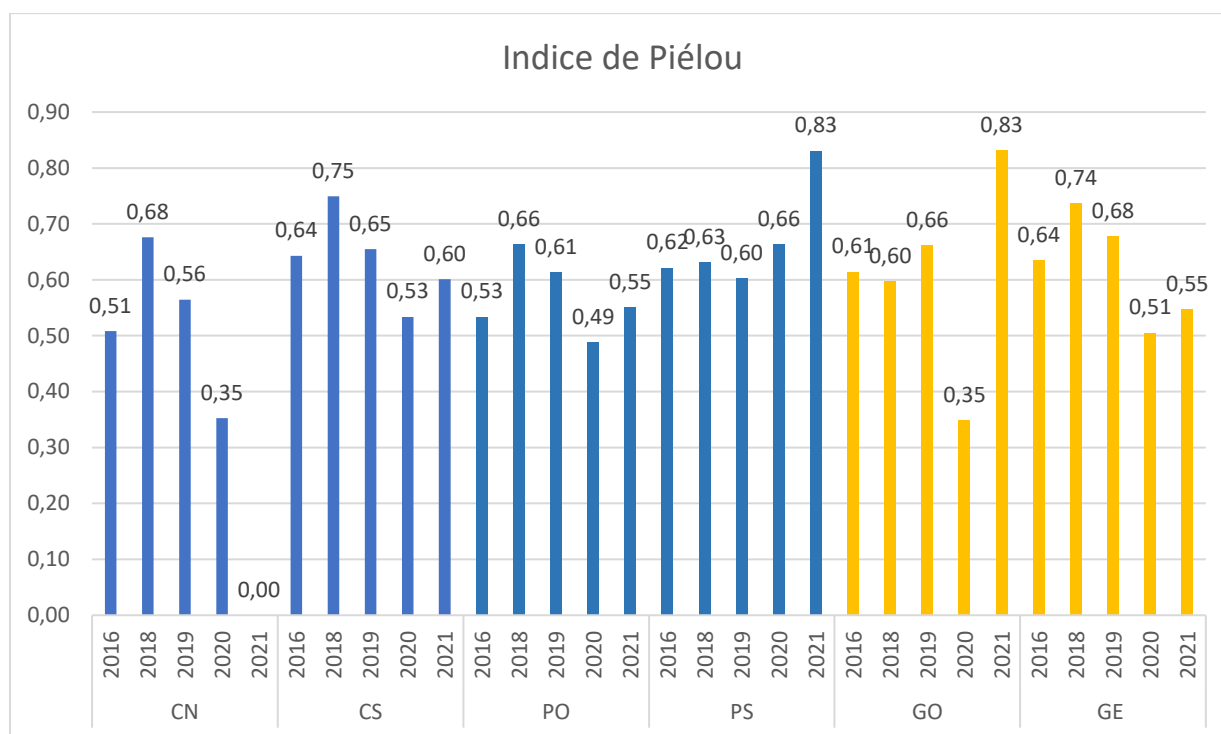


Figure 22. Indice de régularité ou d'équitabilité (indice de Piélou) par stations (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)) pour les 5 années de recensement des espèces benthiques.

5.1.1.3. Suivi de l'espèce épigée *Eunicella singularis* sur la zone de Cousança

Les données récoltées sur le site de Cousança, ainsi que sur le site de Porquières, site témoin, sont présentés dans le tableau ci-dessous (

Tableau 10). Les gorgones inférieures à 10 cm sont considérées comme juvéniles (Parc national de Port-Cros, 2014).

Une analyse ciblée sur l'état de vitalité des gorgones (analyse de la nécrose) a été réalisée. L'observation de chaque individu a permis d'évaluer le pourcentage de nécrose des gorgones. Les gorgones nécrosées sont principalement colonisées par un cnidaire, l'alcyon acaule (*Alcyonium acaule*).

Tableau 10. Synthèse comparative des paramètres mesurés sur les populations de de gorgone blanche *Eunicella singularis* sur les sites Cousança Sud et Porquières Ouest (colonies juvéniles correspond aux colonies inférieures à 10 cm)

	Cousança Sud	Porquières Ouest
Abondance totale	156	79
Abondance des colonies juvéniles	31	9
Abondance des colonies adultes	125	70
Densité/m²	13,00	6,58
Taille moyenne (en cm)	20,35 ± 12,83	16,81 ± 7,49
Pourcentage de gorgone nécrosés	14,10%	48,10%
Pourcentage de gorgone adultes nécrosés	18,35%	64,91%
Taux de nécrose moyen par individu	8,40	0,32
Pourcentage d'adulte entièrement nécrosé	4%	7%

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

La densité de gorgones au m² est inférieure sur le site de Porquières par rapport à la densité observée sur le site de Cousanço. Plus particulièrement, l'abondance des juvéniles est plus importante sur le site de Cousanço Sud, mais la proportion de juvénile est similaire sur les deux sites (29% et 28%). La taille moyenne des gorgones n'est pas significativement différente entre les deux sites (WILCOXON, p-value=0.1268).

Presque la moitié de la population de Porquières Ouest (48,10%) est nécrosée, alors que seulement 14,10 % des gorgones du site de Cousanço Sud sont nécrosées. Plus précisément, le pourcentage moyen de gorgones nécrosées augmente pour les deux sites soit 18,35% sur site de Cousanço et 64,91% sur le site de Porquières. De plus, le taux de nécrose moyen par gorgone est plus faible pour les organismes du site de Porquières Ouest (0,32 contre 8,40 pour le site de Cousanço Sud). Ils sont relativement faibles pour les deux sites. Enfin, le pourcentage d'adulte entièrement nécrosé similaire entre les deux sites.

La figure ci-dessous (Figure 23) présente la répartition des tailles des *Eunicella singularis*. L'abondance des gorgones adultes représente 71% de la population du site de Porquières Ouest, et 72% sur le site de Cousanço. La population d'*Eunicella singularis* sur site de Cousanço Sud est représentée à 57 % par des gorgones juvéniles. La population du site de Porquières Ouest est représentée à 49% par des organismes entre 10 et 20 cm. 11% des gorgones de Cousanço Sud mesurent entre 30 et 60 cm.

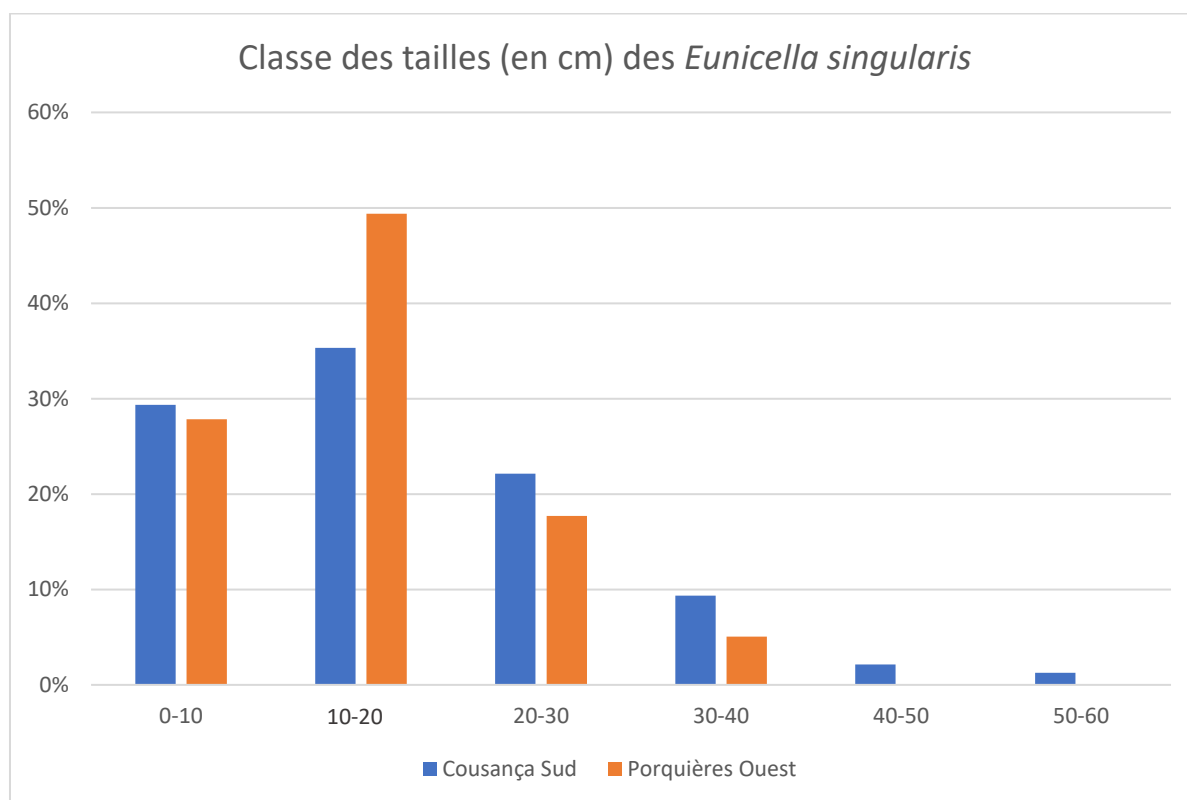


Figure 23. L'histogramme des fréquences des classes de taille (en cm) du peuplement de *Eunicella singularis* identifié sur le site de Porquières Ouest (dans la zone de protection renforcée), et de Cousanço Sud (dans la zone réglementée).

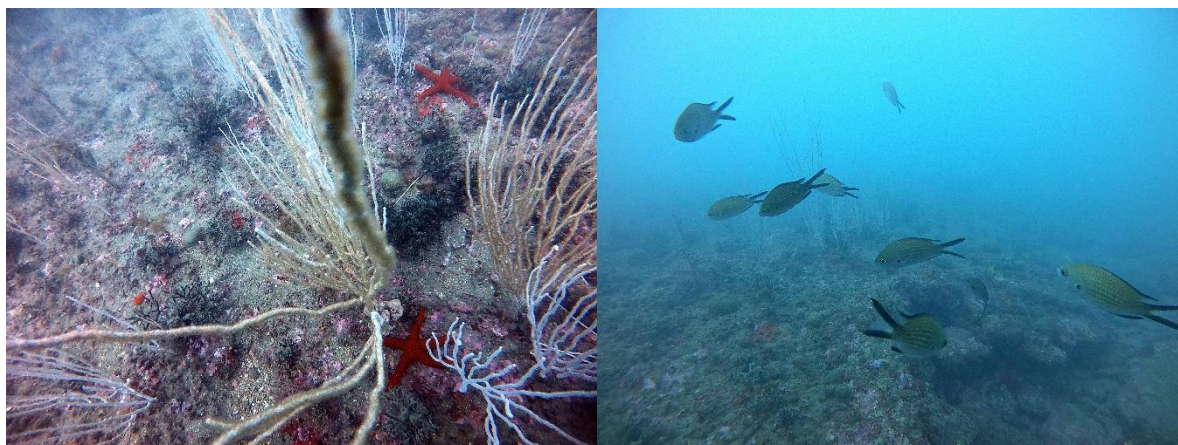


Figure 24. Photos sous-marine réalisées lors du suivi des gorgones dans la zone de Cousança et de Porquières. A gauche, des gorgones saines, facilement observable par la présence des polypes. A droite, présence de nombreuses castagnoles près des « champs » de gorgones observées dans la réserve intégrale de Porquières

L'étude de l'espèce indicatrice *Eunicella singularis* sur les deux sites (site fréquenté et zone sanctuaire) montre une proportion de juvénile similaire, inférieur à 30%. Le taux moyen de nécrose par spécimens adultes (supérieur à 10cm) est relativement faible pour les deux sites, inférieur à 10% pour Cousança Sud et presque nul, 0,32% à Porquières Ouest.

Les gorgones adultes sont plus nécrosées sur le site fréquenté (Cousança).

Les tailles des populations des deux sites ne sont significativement pas différentes.

5.1.1.4. Évolution temporelle de l'espèce épigée *Eunicella singularis* sur la zone de Cousança

Les résultats de comptage et de relevé des paramètres de vitalité du gorgonaire *Eunicella singularis* lors des 5 années de suivi sur le site de Cousança, ainsi que sur le site de Porquières depuis 2019, ont permis des analyses comparatives spatiales et temporelles.

Les données ont permis d'obtenir des moyennes de taille des individus par site et par année de suivi ainsi que des moyennes de densité au m². Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous (Parc national de Port-Cros, 2014).

Une analyse ciblée sur l'état de vitalité des gorgones (analyse de la nécrose) a été réalisée. L'observation de chaque individu a permis d'évaluer le pourcentage de nécrose des gorgones. Les gorgones nécrosées sont principalement colonisées par un cnidaire, l'alcyon acaule (*Alcyonium acaule*). Le test de comparaison de Wilcoxon et Mann-Whitney a été utilisé pour comparer les moyennes de taille des individus entre les différentes années de suivi entre les différents sites.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Tableau 11. Analyse comparative des densités et des tailles de la gorgone blanche pour les 3 années de suivi

	CS_2016	CS_2018	CS_2019	PO_2019	CS_2020	PO_2020	CS_2021	PO_2021
Abondance totale	225	171	95	117	297	91	156	79
Densité/m²	18,75	14,25	7,92	9,75	24,75	7,58	13	7,58
Taille moyenne (en cm)	25,2 ± 8,6	16,9 ± 9,7	17,9 ± 8,1	28,1 ± 10,1	12,62 ± 10,7	23,84 ± 8,9	13 ± 12,8	6,5 ± 7,4
Wilcoxon test	p_value < 2,2e-16		p_value = 4,064e-13		p_value < 2,2e-16		p_value = 0,1268	
	CS_2016 - CS_2019		CS_2018 - CS_2019		CS_2019 - CS_2020		CS_2020 - CS_2021	
	p_value = 2,523e-11		p_value = 0,2202		p_value < 7,643e-09		p_value = 3,237e-12	

Les études d'abondance et de densité de *Eunicella singularis* sur la zone de Cousanço depuis 2016 montrent une diminution jusqu'en 2019. En 2020, la tendance s'inverse liée à une forte densité de juvéniles comptabilisés. Lors du dernier suivi de 2021, la tendance est à nouveau une diminution des abondances et densités. Entre le suivi de 2016 et celui de 2021 sur le site de Cousanço, on observe une diminution de 30% des individus avec des abondances qui varient de **225 à 156 individus** (Figure 25). L'abondance atteint un optimum en 2020, **300 individus** au total et **25 individus/m²** lié au fort **recrutement de juvéniles**. En effet, cette année-là, les juvéniles représentent **57% de la population**.

Concernant les résultats du site témoin de Porquières Ouest, suivi depuis 2019, l'abondance tend à diminuer légèrement au cours du temps. Globalement, les densités sur le site de Cousanço sont supérieures sur le site de Porquières.

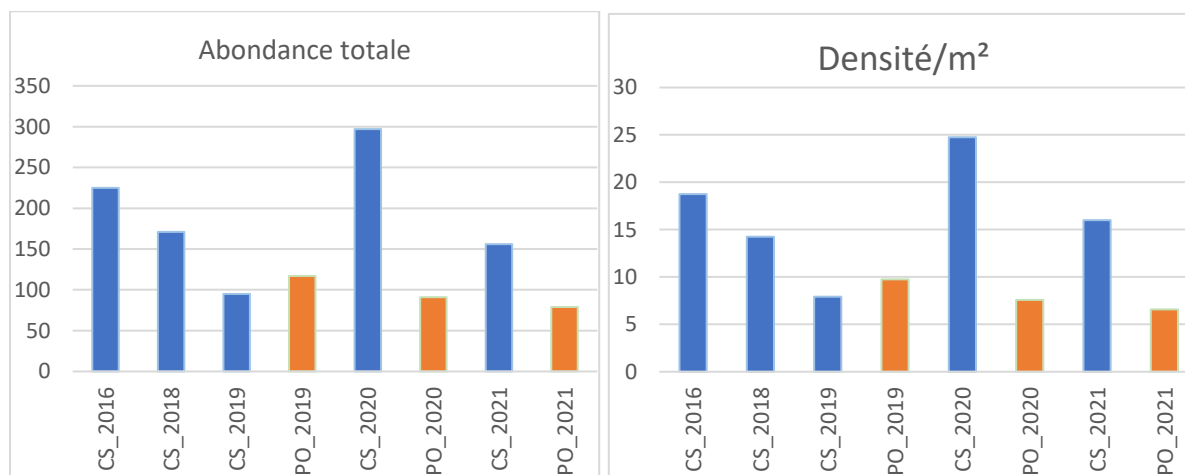


Figure 25. Abondance totale et densité/m² de *Eunicella singularis* sur le site de Cousanço sud (CS) pour les 3 années de suivi et sur le site de Porquières Ouest (PO) pour le suivi de 2019.

Concernant la taille moyenne des individus sur le site de Cousanço (Figure 26), elle diminue significativement jusqu'en 2020, puis se stabilise. Il n'y a pas de différences significatives des tailles moyennes entre les suivis de 2020 et de 2021 concernant les individus du site de Cousanço. La moyenne des tailles des individus du site de Porquières diminue entre 2019 et 2021. En effet, les individus de Porquières sont significativement plus grands en 2019 ($p_value = 4,064 \times 10^{-13}$) et 2020 ($p_value < 2,2 \times 10^{-16}$). En 2021, on observe aucune différence significative entre les tailles moyennes des individus sur les deux sites ($p_value = 0,1268$).

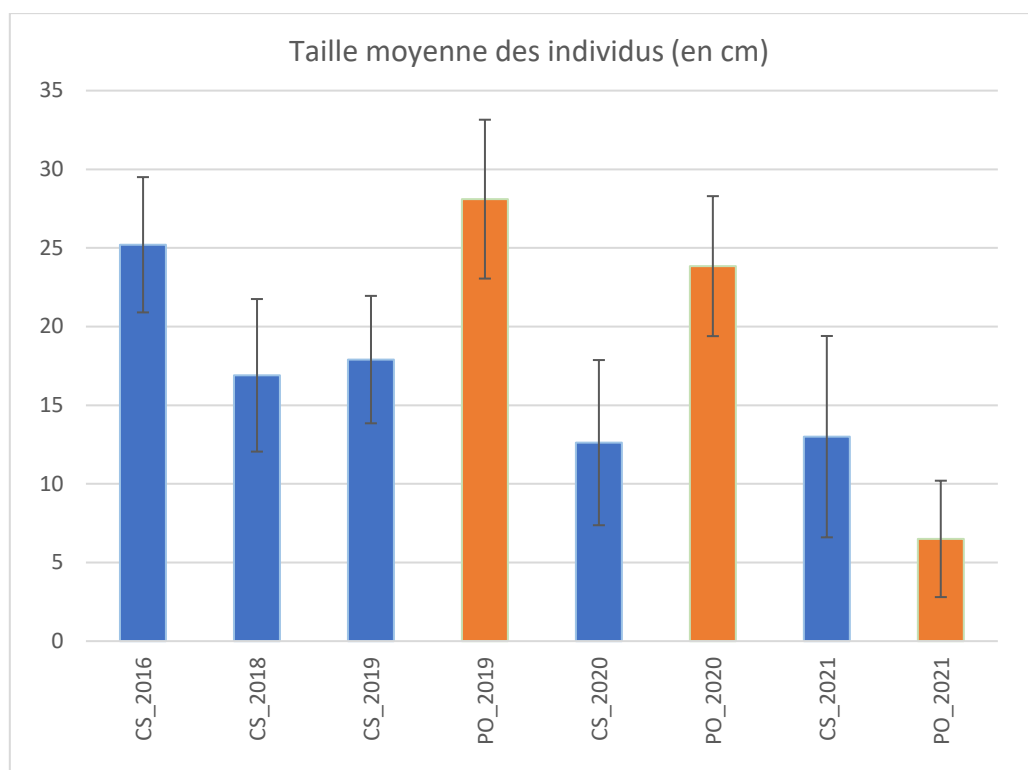


Figure 26. Taille moyenne des individus sur le site de Cousançà Sud (CS) pour les 3 années de suivi et le site de Porquières Ouest (PO) pour le suivi de 2019.

Une analyse plus ciblée sur l'état de vitalité des gorgones (analyse de la nécrose) a été réalisée. L'observation de chaque individu a permis d'évaluer le pourcentage de nécrose des gorgones. Les gorgones nécrosées sont principalement colonisées par un cnidaire, l'alcyon acaule (*Alcyonium acaule*). Leur état de vitalité est facile à constater et à évaluer (Figure 6 et 27).

Le Tableau 12 présente à la fois le pourcentage d'individus nécrosés ainsi que le taux de nécrose moyen des individus. Le pourcentage total d'individus nécrosés par suivi et par site a été calculé en faisant le ratio des individus nécrosés sur le nombre total d'individus pour les 3 quadrats.

Les résultats montrent que sur le site de Cousançà, environ 1 individu sur 2 est nécrosé pour les suivis de 2018 et 2019. L'année 2019 présente le taux de nécrose moyen par individu le plus important (53%). En 2021, dernière année de suivi, le pourcentage de nécrose diminue.

Le site de Porquières témoigne au contraire d'individus majoritairement sains en 2019 puisque seulement 14,2% des individus du site sont nécrosés (tableau 17). Pourcentage qui augmente lors des suivis de 2020 et 2021. Cependant, le taux de nécrose est relativement faible en 2019 (<3%) et en 2021 (<1%). La moitié de la population de gorgones de Porquières présente une faible nécrose.

Tableau 12. Pourcentage moyen de nécrose par individu et pourcentage total d'individus nécrosés par site et par année

	CS_2018	CS_2019	PO_2019	CS_2020	PO_2020	CS_2021	PO_2021
Pourcentage de gorgone nécrosés	49,70%	57,90%	14,20%	28,96%	52,75%	14%	48%
Taux de nécrose moyen par individu	23,30%	53,50%	2,30%	24,89%	18,40%	8,4%	0,26%

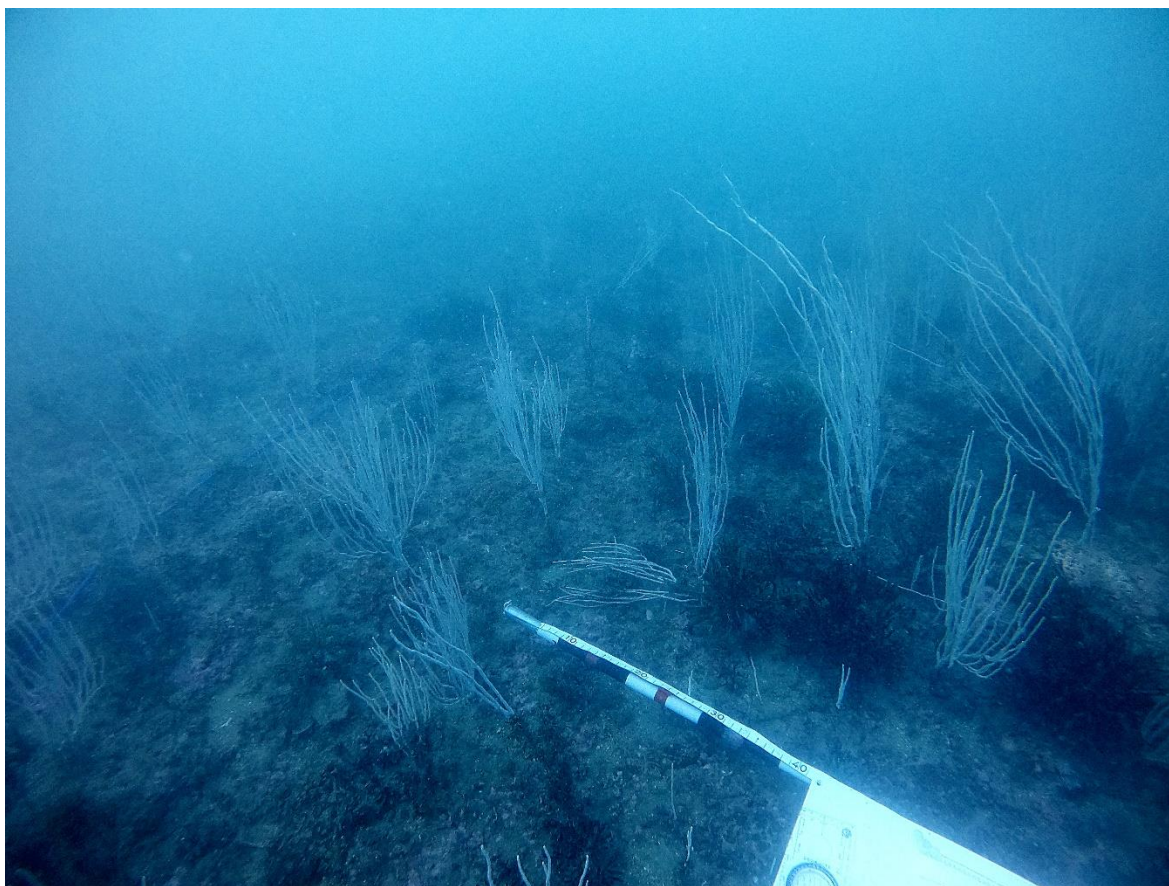


Figure 27. Champs de gorgone observé sur la station de Porquières.

L'étude du gorgonaire *Eunicella singularis* sur les sites de Cousança (depuis 2016) et de Porquières (depuis 2019) montre une diminution en termes d'abondance et de taille des individus au cours du temps sur les deux sites. Ces observations ne semblent pas mettre en cause l'activité anthropique liée à la plongée sur le site de Cousança mais davantage liées à des raisons plus environnementales. Entre les suivis de 2016 et 2021, les abondances diminuent de 30% sur la zone de plongée de Cousança.

En revanche, l'étude du site témoin, en réserve intégrale à Porquières Ouest, depuis 2019, permet de constater que taux de nécroses par individu est plus faible que sur le site soumis aux activités de plongée à Cousança.

5.1.2. Évaluation de la biodiversité des espèces mobiles (téléostéens, crustacés et mollusques)

5.1.2.1. Suivi sur substrat rocheux

5.1.2.1.1. Analyse spatiale de la biodiversité ichtyologique, campagne 2021

Le tableau suivant présente les abondances des différentes espèces recensées sur les différentes stations lors de la campagne de suivi de 2021. Au total **1923 individus** sont comptabilisés sur l'ensemble des 6 stations (Tableau 13).

Tableau 13. Synthèse des effectifs de la biodiversité ichtyologique sur les différentes stations lors de la campagne 2021, (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Espèces par famille	CS	CN	PO	PS	GE	GO
	Zone de réglementation		Zone de protection renforcée		Hors réserve	
ATHERINIDAE						
<i>Atherina boyeri</i>					5	
BLENNIIDAE						
<i>Blennius ocellaris</i>					2	
<i>Lipophrys trigloides</i>		3				
<i>Parablennius gattorugine</i>	2	1	2	4	1	1
<i>Parablennius rouxi</i>	15	8	31	9	2	7
CARANGIDAE						
<i>Trachurus trachurus</i>		1	4			
<i>Spicara maena</i>			4	1		
<i>Spicara smaris</i>		5	3			
CONGRIDAE						
<i>Conger conger</i>			3	1	1	
GADIDAE						
<i>tisopterus capelanus</i>						16
GOBIDAE						
<i>Gobius xanthocephalus</i>	3	19	11	6	1	4
<i>Thorogobius ephippiatus</i>						5
LABRIDAE						
<i>Coris julis</i>	35	46	55	8	2	1
<i>Ctenolabrus rupestris</i>	37	28	51	22	75	3
<i>Labrus merula</i>			1	2		2
<i>Labrus veridis</i>			1			
<i>Labrus mixtus</i>				4		2
<i>Symphodus doderleini</i>			3	2		6
<i>Symphodus mediterraneus</i>		7	4	8		3
<i>Symphodus melanocercus</i>	7	2	42	1	1	19
<i>Symphodus tinca</i>		9		1		1
MULLIDAE						
<i>Mullus surmuletus</i>	7	15	14	14	7	8
PHYCIDAE						
<i>Phycis blennoides</i>					1	
<i>Phycis phycis</i>				1		3
POMACENTRIDAE						
<i>Chromis chromis</i>	111	117	141	18	12	44
SCORPAENIDAE						
<i>Scorpaena notata</i>	3	2	1		1	
<i>Scorpaena porcus</i>	4	5	1	1	4	2
<i>Scorpaena scrofa</i>		1	2			
SERRANIDAE						
<i>Serranus cabrilla</i>	21	19	36	31	1	18
<i>Serranus scriba</i>		1		6	7	
SPARIDAE						
<i>Boops boops</i>	2	24	1			
<i>Diplodus annularis</i>	1	13	15	48	1	23
<i>Diplodus sargus</i>	12	23	77	6		22
<i>Diplodus vulgaris</i>	9	31	51	18		19
<i>Pagellus erythrinus</i>						
<i>Oblada melanura</i>	1	32	18	24		6
<i>Pagrus pagrus</i>	6	5		1		16
<i>Sarpa salpa</i>		5	15			
<i>Sparus aurata</i>		2	15		1	
<i>Spondylusoma cantharus</i>		4	3	5		
TRIPTYERIIDAE						
<i>Tripterygion tripteronotus</i>					2	1
<i>Tripterygion xanthosoma</i>			3	1		1
CRUSTACEA						
<i>Palinurus elephas</i>					1	1
MOLLUSQUES						
<i>Octopus vulgaris</i>	1	1				
<i>Pinna nobilis</i>		4				
Abondance par station	277	433	608	243	128	234

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

L'abondance cumulée la plus élevée observée est pour la station de Porquières Ouest avec **608 individus** (Figure 28).

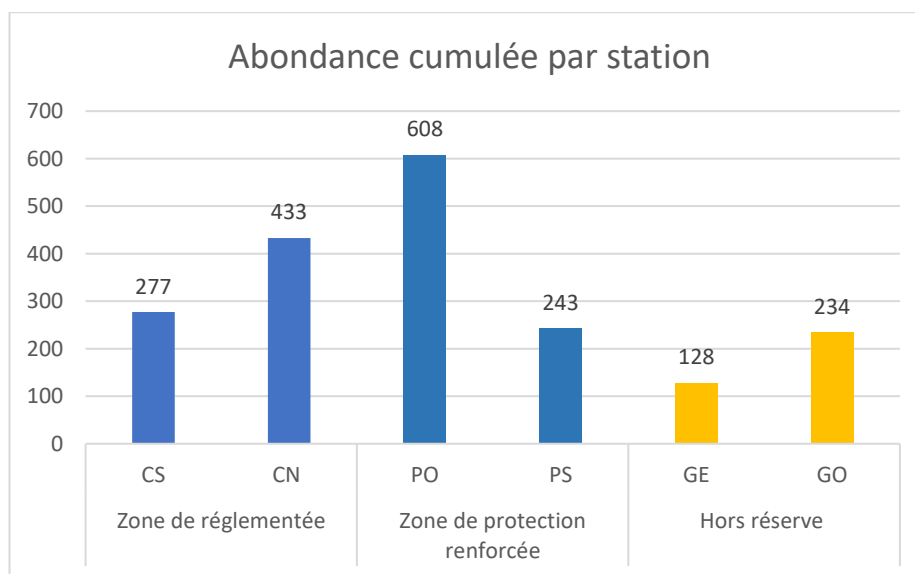


Figure 28. Abondance totale par station pour le suivi de 2020, les barres d'erreurs représentent les écart-types (Cousanço Nord (CN), Cousanço Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

La bogue (*Boops boops*), la castagnole (*Chromis chromis*), la mendole (*Sicara maena*), le picarel (*Spicara smaris*) et la sardine d'europe (*Sardina pilchardus*) sont des espèces mobiles et grégaires, leur présence sur un transect est un phénomène aléatoire. Les abondances totales sont recalculées en les excluant de chaque station. Les résultats montrent des abondances globalement plus importantes sur les sites situés dans la réserve. Les stations de **Porquières Ouest** et **Cousanço Nord** restent les stations les plus abondantes (Figure 29). La population de Porquières Ouest est majoritairement composée de sparidée (43%), et de labridae (34%).

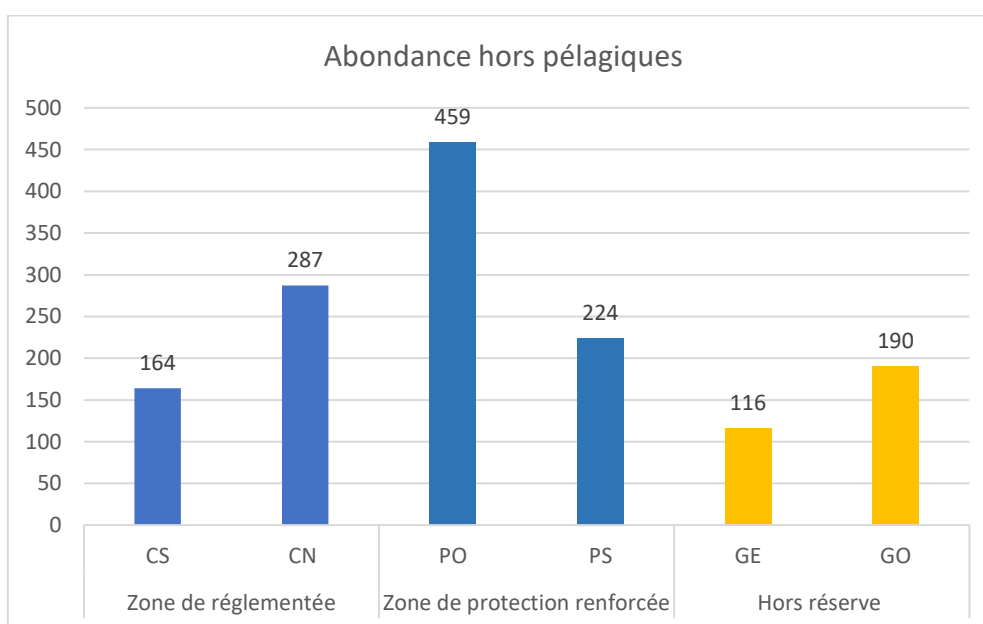


Figure 29. Abondance cumulée (hors pélagique grégaire), (Cousanço Nord (CN), Cousanço Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021

Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Les moyennes des abondances des stations situées dans la réserve et en dehors de la réserve montrent une abondance presque deux fois supérieure dans la réserve, avec $283,5 \pm 127,32$ individus dans la réserve et $153 \pm 53,32$ individus hors réserve (Figure 30).

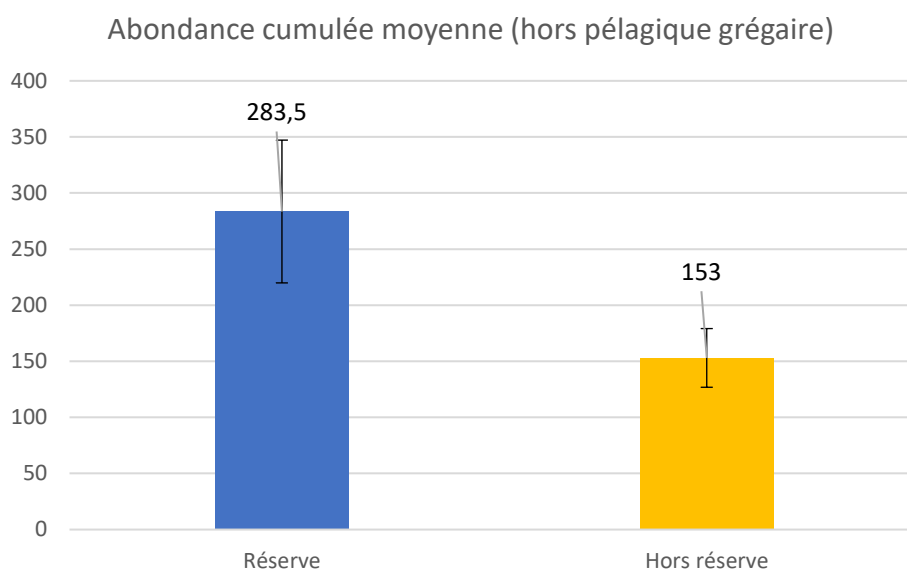


Figure 30. Moyenne des abondances dans la réserve et hors réserve, hors pélagique grégaire.

Les stations de Cousança Nord et Porquières Ouest sont les stations plus riches avec 29 espèces identifiées (Figure 31). Les stations de Cousança Sud et Guérîtes Est sont les stations avec les richesses spécifiques les plus faibles soit respectivement 18 et 20 espèces.

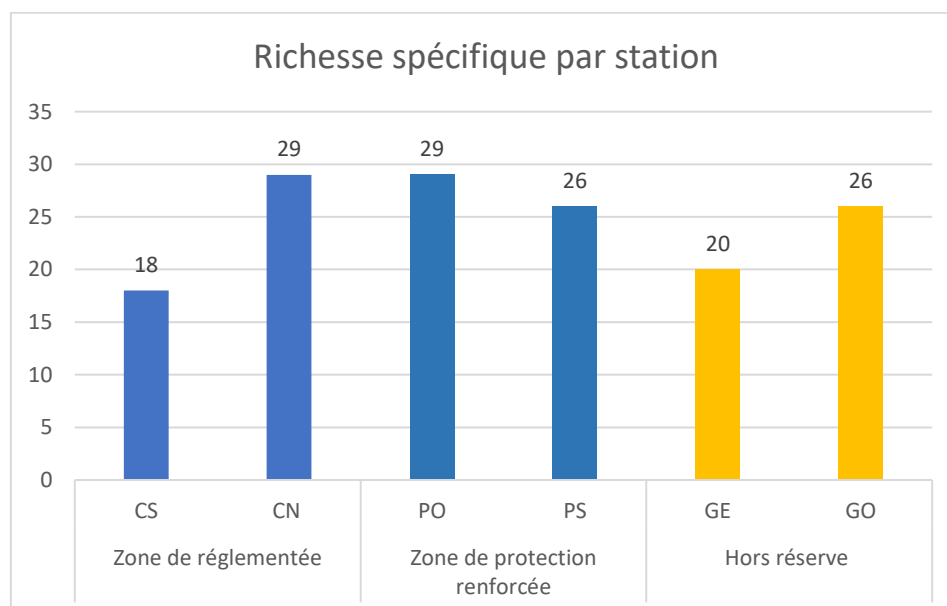


Figure 31. Richesse spécifique des stations (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérîtes Ouest (GO) et Guérîtes Est (GE)).

Les figures suivantes présentent les indices de diversité et de régularité sur les différentes stations de suivi. Guérîtes Ouest et Porquières Sud sont les stations plus diversifiées et les plus équitables (Figure 32).

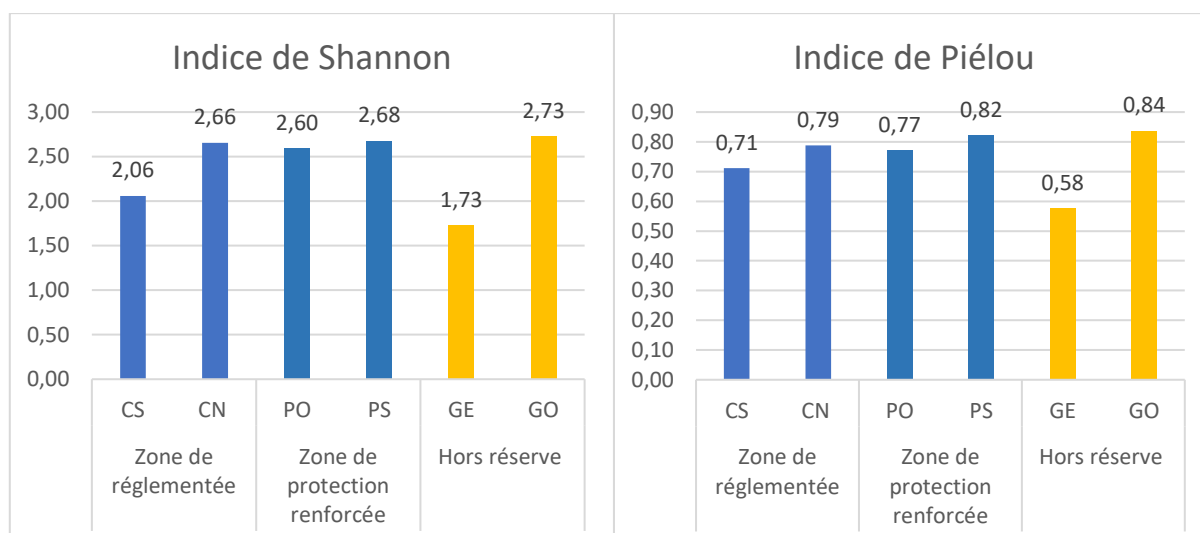


Figure 32. Indice de Shannon et Piélou du suivi ichthyologique sur substrat rocheux en 2020, (Cousanço Nord (CN), Cousanço Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

En 2021, les abondances moyennes recensées sur les stations de suivi de la réserve sont supérieures à celles des stations témoins hors réserve (respectivement $283,5 \pm 127,32$ et $153 \pm 53,32$ individus).

La station de Porquières Ouest est la plus riche et la plus abondante.

5.1.2.1.2. Analyse de l'évolution temporelle de l'abondance ichthyologique depuis 2016

Le tableau suivant présente les abondances des différentes espèces recensées sur les différentes stations lors des campagnes de suivis de 2016, 2018, 2019, 2020 et 2021 sur l'ensemble des 6 stations.

La Figure 33 montre l'évolution des abondances des poissons pour l'ensemble des suivis (2016, 2018, 2019, 2020 et 2021). Les résultats montrent une évolution positive des abondances au cours du temps. La forte augmentation des abondances observées lors des suivis de 2019 correspond à des conditions météorologiques et de visibilité exceptionnelles. Les derniers suivis de 2021 correspondent au contraire à des conditions météorologiques et de visibilité très défavorable. Les observations en plongée étant directement influencées par la visibilité, les résultats des comptages ichthyologiques de l'année 2021 témoignent de ces conditions dégradées.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Tableau 14. Synthèse des abondances ichthyologique sur les suivis depuis 2016.

	CN	CN	CN	CN	CN	CS	CS	CS	CS	CS	PS	PS	PS	PS	PO	PO	PO	PO	PO	GE	GE	GE	GE	GE	GO	GO	GO	GO																							
	2016	2018	2019	2020	2021	2016	2018	2019	2020	2021	2016	2018	2019	2020	2021	2016	2018	2019	2020	2021	2016	2018	2019	2020	2021	2016	2018	2019	2020	2021																					
ATHERINIDAE																																																			
Atherina boyeri	0																								5																										
BLENNIIDAE																																																			
Blennius ocellaris	0					2		0					0					0					2		1			0																							
Lipophrys trigloides	4	1	3		3	4	1	0					0					0					6	0			1	1	0																						
Parablennius gattorugine	1	2	1	1	1			1	1	2	3						4	1					2	4	1		1	1		2	1																				
Parablennius rouxi	6	3	27	2	8	2	5	7	4	15	4	35					2	9	4	7	20	24	31	19			17	3	2	3			8	25	7																
CARANGIDAE																																																			
Trachurus trachurus	20				80	1						10	0	200					0	50					245	4	370					128	0	90					255	0											
Spicara maena	1				0					11					68	0						1	4					0					0					16	0												
Spicara smaris						5	1						10	0	5	1	63	101	0					2	5	123	3	7					0																		
CLUPEIDAE																																																			
Sardina pilchardus	1															200																																			
CONGRIDAE																																																			
Conger conger	0					0					1					3					1					1					0																				
ENGRAULIDAE																																																			
Engraulis encrasicolus	30				0					0					0					0					0					0																					
GADIDAE																																																			
tisopterus capelanus	0					23					0					0					3					0					34	9	21	0					16												
Trisopterus luscus	1				100																																														
GOBIIDAE																																																			
Gobius cruentatus											5					1																																			
Gobius geniparus						71										10					28	6	2	8	28	51	11	3	9	23	8	1	1	21			21	4													
Gobius xanthocephalus	4	1	8		6	19	4	19	30	36	3	2	10					28	6	2	8	28	51	11	3	9	23	8	1			1	21			21	4														
Pomatoschistus minutus						4	20															70																													
Pomatoshistus sp						50					200					250					100																														
Thorogobius ephippiatus	15				0					0					0					50					0					1					0					5											
LABRIDAE																																																			
Caris julis	22	48	26	39	46	4	31	23	64	35	29	23	39	18	8	17	6	24	20	55	11	14	27	26	2						1	7	14	1																	
Ctenolabrus rupestris	31	33	26	46	28	31	33	25	35	37	21	33					31	22	42	43	62	47	51	74	78	42	18	75	21	18	17	36	3																		
Labrus bimaculatus					1					0					2					1	0	27					1	2	2	3	1	4	3	1	1																
Labrus merula					0					2					1	0	27					1	2	2	3	1	4	3	1	0					3	2	6	2													
Labrus veridis	2			1	0					3					7	0										0	4	1	1					0					0												
Labrus mixtus																				4					0										2																
Symphodus doderleini	2				0					1	3	0	1					2	4					3					2					0					6												
Symphodus mediterraneus	2	4	2	7	2	8					1	0	16					8	2	3	11	4					1					9	0					22					3								
Symphodus melanocercus	1	4			5	1					9	9					2					7	5					3	16	12	2					3	17	6					19								
Symphodus ocellatus	2	2					9					7					11					1					2					42					1					7					19				
Symphodus roissali						9					5					0					1					4					0					5					0					1					
Symphodus tinca	1					2										1					1											2										3									
MORONIDAE																																																			
Dicentrarchus labrax	4					5															1																														
MUGILIDAE																																																			
Chelon labrosus	5				0					0					0					0					3					0					0																
MULLIDAE																																																			
Mullus surmuletus	2	14	23	80	15	2	2	6	11	7	17	1	40	60	14	3	3	50	19	14	1	11					1	7	11	20	70	16	8																		
PHYCIDAE																																																			
Phycis blennoides	0					0					0					0					0					1					0																				
Phycis phycis	0					1					0					1					1					1	0					1					0					3									
POMACENTRIDAE																																																			
Chromis chromis	60	56	21	60	117	291	103	88	520	111	45	184	410	482	18	96	82	664	170	141	69	46	55	60	12	17	91	495	373	44																					
SCORPAENIDAE																																																			
Scorpaena notata	1		2	2		8	1		3		5	1	1	1	0	5	8	4	1	1	4	1	1	1					3	2	1	0																			
Scorpaena porcus	4	1	1			5	1	3	1	2	4	4	3	4	1	5	1	1	2	1	8	4	4					4	1					2																	
Scorpaena scrofa	2	1					1					0					1					1	0					2					1					0													
SERRANIDAE																																																			
Serranus cabrilla	21	28	24	24	19	26	26	15	35	21	34	47	48	43	31	24	38	49	20	36	20	17	32	12	1	26	24	36	28	18																					
Serranus scriba	1			1			8					0		3	3	1		6	3	1	1	2		7					1					0																	
SOLEIDAE																																																			
Solea vulgaris																																																			
SPARIDAE																																																			
Boops boops	70	150	700	570	24	1515					650	2	140	420	1	856	0	30	60	750	230	1	140					310	255	0	450					1242	0														
Dentex dentex											5		37					3	1	200					48					5					33	15	1					2	17	1	7			23			
Diplodus annularis	1	51			21	13	37					3	1	200					48					5					33	15	1					2	17	1	7			23									
Diplodus sargus	1	17	1	10	23	17					25	4	12	3	7	117	22	6	1	3	15	143	77	3	4	13	2	0	102					62	6	22															
Diplodus vulgaris	1	13	29	37	31	2	8	29	21	9	90					15	18	7	22					107	51	2					5	0					66					19									
Oblada melanura					500					32	1					1	37					24					2					50	64	18	0					3	6										
Pagrus pagrus	9				4	5	11					6	6	1					0					1					0					0					16												
Sarpa salpa	20		108	70	5	50					1	0	8	26					0					1					25					15	0					0											
Sparus aurata	3		4	2	2	2					4	0	2					0					4					15					1					1					3	1	0						
Spandyllosoma cantharus						4					0					5					3					0					0					3					0										
TRIPTERYGIIDAE																																																			
Tripterygion tripteronotus	0					1					0					0					0					0					1					2					1										
Tripterygion xanthosoma	1	0					0					1					3					0					0																								
CRUSTACEES																																																			
Palinurus elephas	4	0					0					16					0					0					8	6	3	1					1																
Portunus SP	1															1																																			
MOLLUSQUES																																																			
Octopus vulgaris	1		1					1					1					0					0					0					0																		
Pinna nobilis	1	4					0					0					1					0					0					0																			
Sepia officinalis	1																																																		
Abundance per station	241	433	1096	1582	433	450	316	2057	1493	277	532	919	972	1908	243	501	283	1922	1594	608	349	369	973	555	128	88	272	1390	2025	239																					

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

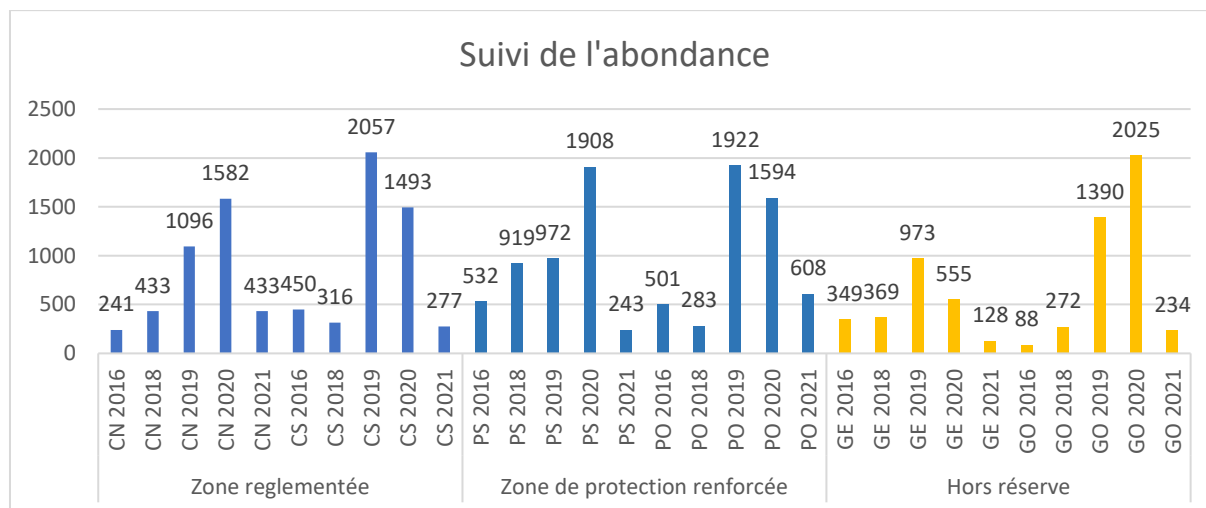


Figure 33. Carte de localisation des sites de suivi scientifique en plongée (transects sur les stations rocheuses), (Cousaça Nord (CN), Cousaça Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

Les abondances des suivis 2019 et 2020 augmentent fortement sur l'ensemble des zones (Figure 34). En 2020, l'abondance la plus élevée est observée sur la zone de protection renforcée. Quel que soit le degré de protection, l'abondance a triplé à minima entre le suivi de 2016 et le suivi de 2020. Cependant, les abondances chutent en 2021, en cause, une très mauvaise visibilité lors des comptages de 2021 comme en témoigne la figure 35 montrant des images du même site (Porquières sud) lors du suivi de 2019 et de 2021.

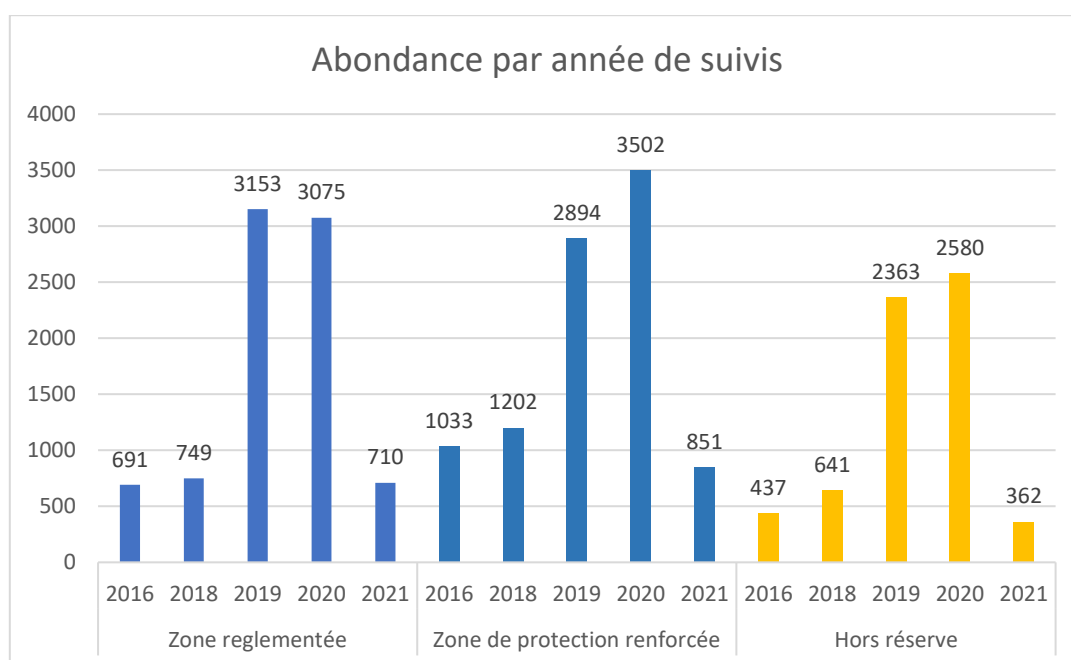


Figure 34. Évolution temporelle de l'abondance sur les stations regroupées par niveau de protection, (Cousaça Nord (CN), Cousaça Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

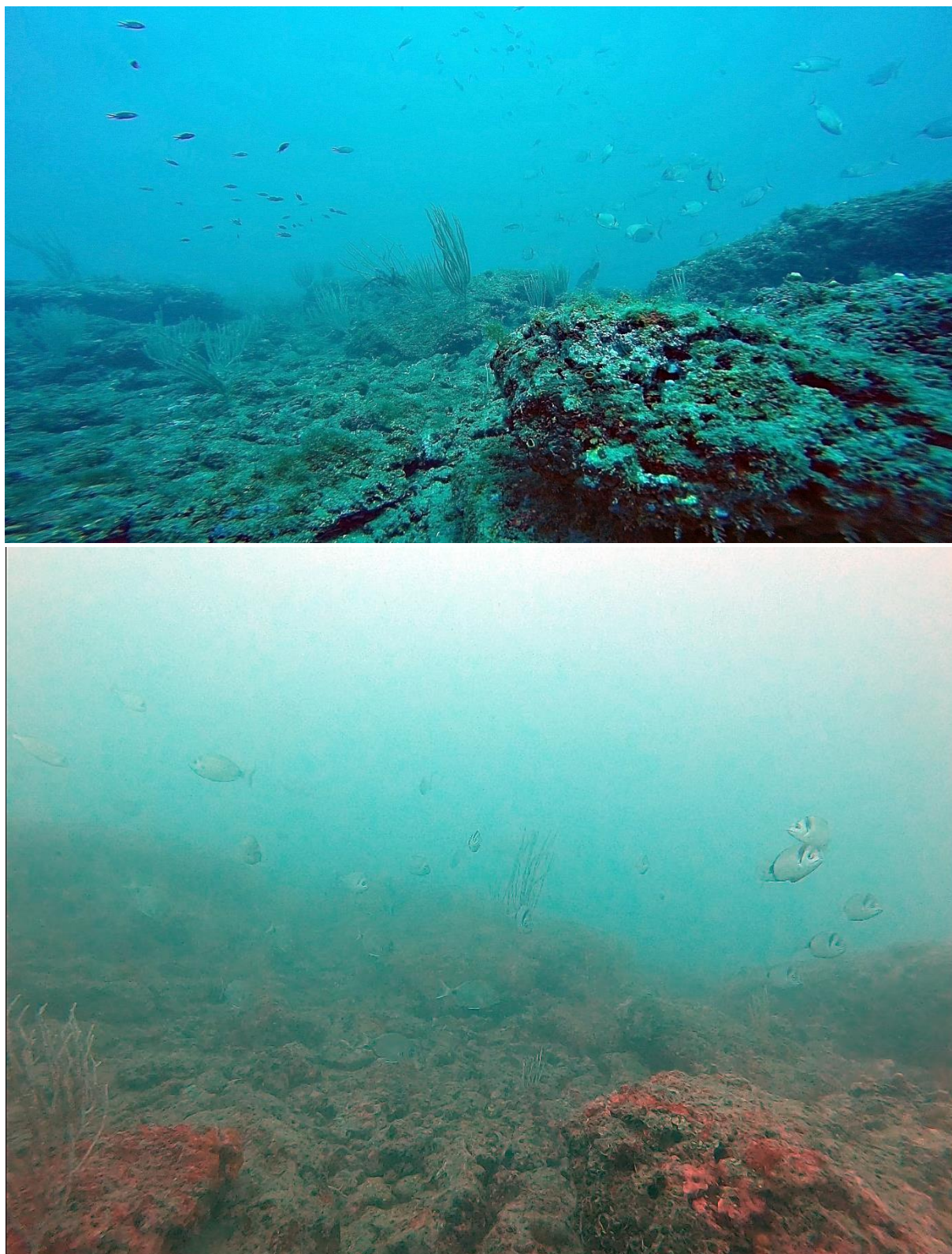


Figure 35. Visibilité observée sur le site de Porquières sud en 2019 (photo du haut) en en 2021 (photo du bas).

L'analyse comparée des sites par année de suivi en fonction de leur degré de protection montre une nette augmentation des abondances en 2019 et 2020. Cette observation est valable pour l'ensemble des sites (Cousança, Porquières, Guérites). L'année 2021, influencée par de mauvaises conditions météorologiques ne permet pas de confirmer cette tendance.

Présentation de l'article scientifique soumis à publication (valorisation scientifique à l'initiative et à la charge de P2A Développement)

A rapid and positive effect of coastal marine reserves,
example of the Marine Reserve of Palavas (France)

Authors : Pauline Molinier, Alicia Mallet, Jean-Yves Jouvenel, Thomas Changeux.

P. Molinier, Aix Marseille Université, Marseille, France

A. Mallet : P2A Développement
87 avenue Ferdinand de Lesseps, Impasse Algrin, Plan du Grau, 34110 Frontignan
e-mail : mallet@p2adev.com

J-Y. Jouvenel : P2A Développement,
87 avenue Ferdinand de Lesseps, Impasse Algrin, Plan du Grau, 34110 Frontignan
e-mail : jouvenel@p2adev.com

T. Changeux : Mediterranean Institute of Oceanography (MIO),
Case 901, Campus de Luminy, Océanomed, 13228 Marseille Cedex 9, France
e-mail : thomas.changeux@ird.fr

Acknowledgements: The authors would like to thank the Association de Gestion de la Réserve Marine de Palavas, the Prud'homme de pêche de Palavas-les-flots, the town hall of Palavas-les-flots and the Département de l'Hérault for their support in this project. The fieldwork was carried out by P2A development divers: Jean-Yves Jouvenel, François Baraffe, Antoine Tabeaud and Thomas Barros.

Abstract:

The objective of this article is to study the first effects of a young marine reserve on the fish population, the Palavasian Coast Marine Reserve (PCMR), created in 2016. This young reserve, covering 100 ha and located 2.6 km from the coast, is almost entirely in a protected zone, forbidden to any fishing or leisure activity.

The abundances of the fish populations, the sizes and biomasses of the target species are studied for the period of the 4 years of protection. An inventory of fish populations was carried out using the transect method in three zones: the enhanced protection zone (EPZ), the restricted zone (RZ) and the off-reserve zone (ORZ). Monitoring of this young reserve shows significant increases in overall abundance and changes in population assemblages within the third year of protection. The biomass of target species tripled over the study period. The results show a refuge effect despite the fact that the fishing ban was not respected. However, the behaviour of the fish, more or less fearful of divers depending on the study area, does not allow us to determine differences in populations between the EPZ and the RZ.

Key words: Marine protected area, marine fishing reserve, reserve effect, refuge effect, fish population.

1. Introduction

In a context of overfishing, destruction and pollution of marine habitats, management measures appear to be essential for the protection and restoration of marine ecosystems. For several decades, marine protected areas (MPAs) have been accepted as the appropriate solution for the long-term nature protection objectives (Guidetti et Claudet, 2010, Stelzermüller *et al.*, 2007). In particular, MPAs incorporating "no-take zones", where generally only shipping is allowed, are recognized as an effective conservation tool (Edgar *et al.*, 2014, Worm *et al.*, 2006), but also for the recovery of overexploited stocks (Hastings and Botsford, 1999, Halpern and Warner, 2003). However, in 2021, MPAs represent 7.7% of the surface of the oceans and only 2.7% are non-target areas (Sala *et al.*, 2021). This very limited coverage worldwide can be explained by the particularly long lead times for setting up a reserve. This cannot be defined in advance and depends on many different physical, biological and human factors such as the size of the reserve (McNeill and Fairweather, 1993), the initial state of the ecosystem, its biotope, its level of protection (Sala and Giakoumi, 2018) the level of connectivity with nearby fishing areas, the possibilities for recruitment of biota, the acceptability by stakeholders, the presence of dedicated staff (Francour *et al.*, 2001).

However, the effects of setting aside marine areas for fishing have major effects. As fishing mortality is limited in no-take areas, it directly influences populations dynamics, and several phenomena ensue. These phenomena take place over time, more or less rapidly.

One of the direct effects, which is the quickest to set in, is the "refuge effect". Some high-level trophic species come to take refuge in this area (Boulanger *et al.*, 2021). This effect has been observed in the Poor Knights Islands Marine Reserve (New Zealand), where the abundance of *Pagrus auratus* increased sevenfold in four years of setting aside thanks to the immigration of 14-year-old individuals (Denny, *et al.*, 2004).

The reduction in fishing pressure allows certain target species to live longer, resulting in an increase in their density, biomass and individual size (Mosquera *et al.*, 2000; Halpern, 2003; Lester *et al.*, 2009; Molloy *et al.*, 2009). This phenomenon needs several years to be effective. Several studies show these changes can be detected within the first years after the start of the protection (Halpern et Warner 2003, Russ *et al.*, 2004; Claudet *et al.*, 2006). Several MPAs in the Philippines show significant increases in biomass from the third year onwards. Among them, the Apo Island reserve shows a continuous increase in the biomass of these species, even after 18 years of protection (Russ *et al.*, 2004).

Stocks targeted by fisheries, usually at high trophic levels, increase and cause a "top-down" effect on preys populations standing below at low trophic levels (Shears and Babcock, 2003). This phenomenon may take longer to be effective, as in the Leigh Marine Reserve, where predator-bearer-algae trophic cascades were only visible after 20 years of protection (Shears and Babcock, 2003).

Finally, individuals in the larval, juvenile or adult stages may also be exported from the reserve. This recolonisation of adjacent areas, called the "spill over" effect, is visible after several decades of protection. For example, the density and size of *Naso vlamingii* increases up to 300m around the no-spill zone of Apo Island, after 20 years of protection (Abesamis, *et al.*, 2005).

In general, these different ecological effects (refuge, older individuals, trophic cascade and spill-over) allow, in the long term, a stabilisation of stocks over time and an attenuation of seasonal fluctuations.

In France, the establishment of MPAs is essentially based on historical or political opportunities. They generally respond to the request of local fishermen, in the form of fisheries reserve, as in the case of the Marine Protected Area of Carry-le-Rouet. The Mediterranean MPAs have an area situated between 33 hectares (Larvotto marine reserve, Monaco) and 2900 hectares (Port-Cros, France). They can be integral reserves over the entire territory (no-take zone), such as the Carry-le-Rouet reserve or the reserves of the Côte Blue Marine Park. More generally, they are divided into 2 or 3 levels of protection. In this case, the area corresponding to the highest level of protection, the integral reserve, represents 7 to 10% of the total area of the reserve (Francour *et al.*, 2001).

The no-take zone studied is the Palavasian Coast Marine Reserve (PCMR). This 100 ha reserve was established in 2016 at the request of the fishermen of the Prud'homme of Palavas-les-flots, with the aim of supporting local fishing.

This paper attempts to answer main questions:

- (1) What are the first direct ecological effects on harvested species?
- (2) How the abundances of ichthyological populations, the sizes and biomasses of target species evolve after 4 years of protection?
- (3) Is the sampling method suitable?

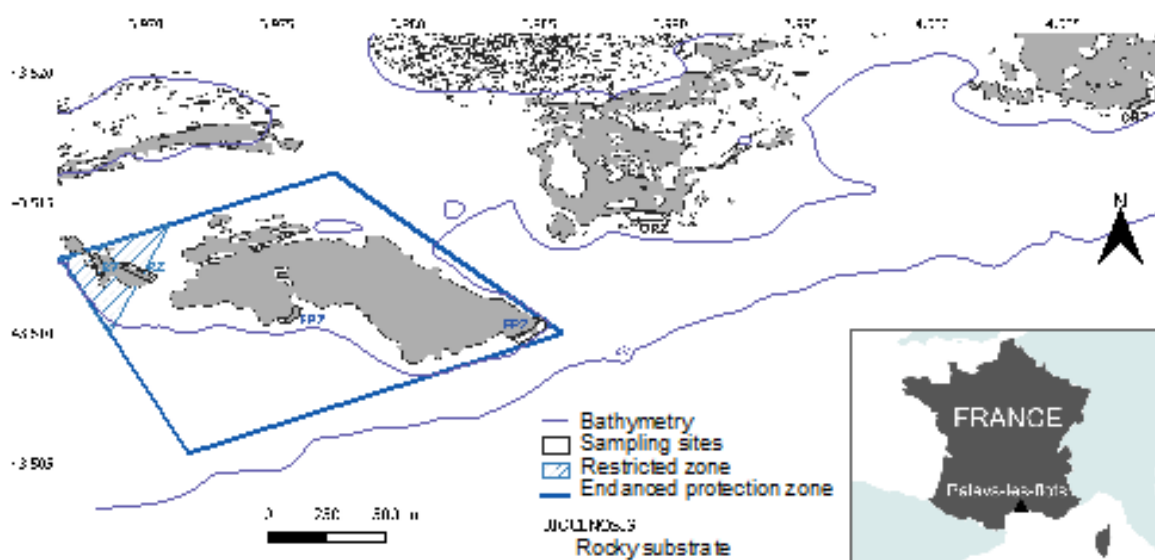
2. Materials and Methods

2.1. Presentation of the site

The study area is located in the Palavasian Coastal Reserve (N 43°30.6845, E 3°58.4635), and adjacent areas, 2.6 km off the coast of Palavas-les-Flots (Occitania, France), which is rare in the Mediterranean. The choice of the area to protected was determined with the fishermen, for whom this area offers a great diversity of fishery resources. However, the distance to the coast implies more difficult access, limiting public awareness and difficult site surveillance from the coast.

The PCMR has two levels of protection: the enhanced protection zone (EPZ) of 93.5 ha, where only navigation is allowed. The restricted zone (RZ), 6.5 ha, where scuba diving, anchoring, sailing and swimming are allowed. Thus, in contrast to the most common cases, the largest zone has the highest level of restriction. More precisely, it is a fisheries reserve defined by a ministerial decree, on which a decree from the Maritime Prefecture is superimposed to regulate uses.

The reserve covers different types of substrate between 10 and 20 m in depth, which offer a diversity of habitats. This study only focuses on the rocky substrate, as the fishing target species are dependent on this substrate.



demarcated on the substrate so that they would be the same during the different surveys. The total area covering the transect zones for each station is 480 m².

2.3. Statistics

Statistical analysis was carried out using R software, Version 1.1.463 (R Development Core Team, 2011).

To evaluate and validate the sampling effort, a species richness study was performed using the accumulation curves of the Vegan package (Oksanen *et al.*, 2017). In order to have a more satisfactory sampling effort, a species selection was performed. The species with the most random occurrences are excluded.

Also, to characterize the associations of abundance assemblages as a function of the level of protection of the surveys (1) or time (2), correspondence analysis was applied to the abundance data after transformation into $\log_{10}(N+1)$ to limit aggregation effects.

Biomasses of several selected target species (*Serranus cabrilla*, *Coris julis*, *Labrus merula*, *Pagrus pagrus*, *Scorpaena porcus*, *Scorpaena notata*, *Mullus surmuletus*, *Diplodus sargus*, *Diplodus vulgaris*, *Diplodus annularis*) were compared between the ORZ and the EPZ, which represents 90% of the reserve area. Biomasses are reconstructed from sizes using the length-weight relationships of Morey *et al.* (2003).

As the data are non-parametric, the Kruskal-Wallis test is used to assess the signification of data variations and the differences are identified by the Tuckey post hoc test for biomass and abundance and by the Wilcoxon Mann-Whitney test for abundance assemblages and sizes.

3. Results

The 4 years of surveys on all 6 stations generated a total of 288 transects. In total, 53 species were determined during this monitoring (appendix 1). Of these, 43 species were found in ORZ. Inside the reserve area (RZ and EPZ) a total of 52 species were found, 47 species in RZ and 44 species in EPZ.

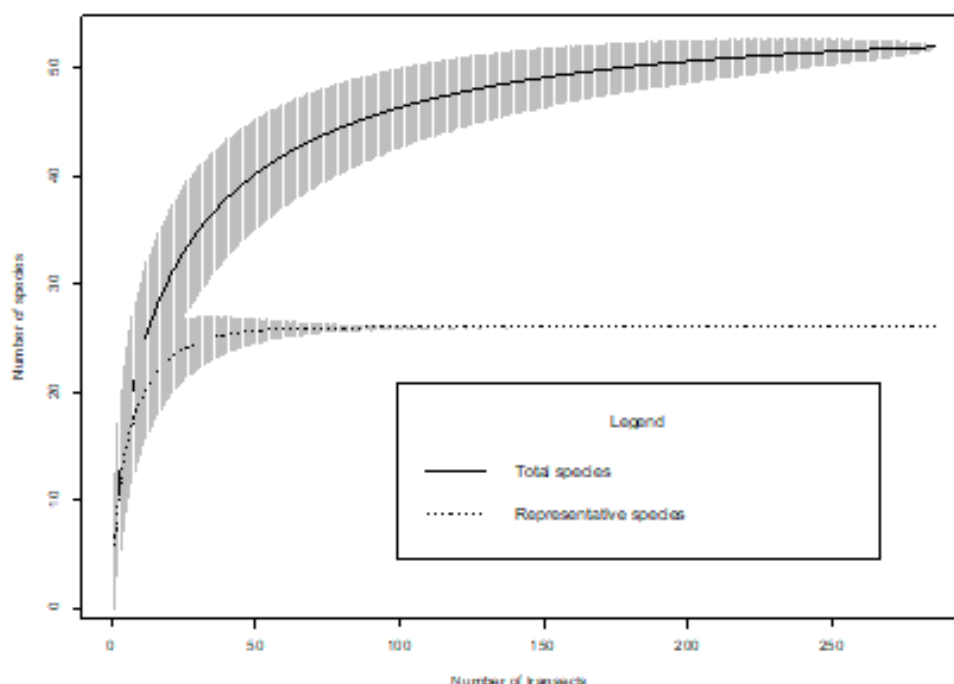


Fig 2. Cumulative species richness as a function of the number of transects. The total species curve represents the cumulative species richness of all identified species. The significant species curve gives the cumulative species richness of the species present in at least 10 transects. The shaded zone gives the 95% confidence interval.

The total species richness accumulation curve increases with the number of transects without reaching a plateau at 53 species (Fig 2). To select well-sampled species, a threshold of presence in at least 10

transects was defined. Thus, species with the most random occurrences were removed such as certain pelagic species like *Sardina pilchardus*, *Engraulis encrasicolus* or certain rare species like *Dentex dentex* or *Phycis phycis*.

With this threshold, the richness accumulation curve reaches the plateau of 27 species at about 30 transects, i.e., half a sampling campaign. The sampling quality is considered satisfactory for this selection of representative species.

3.1. Abundance

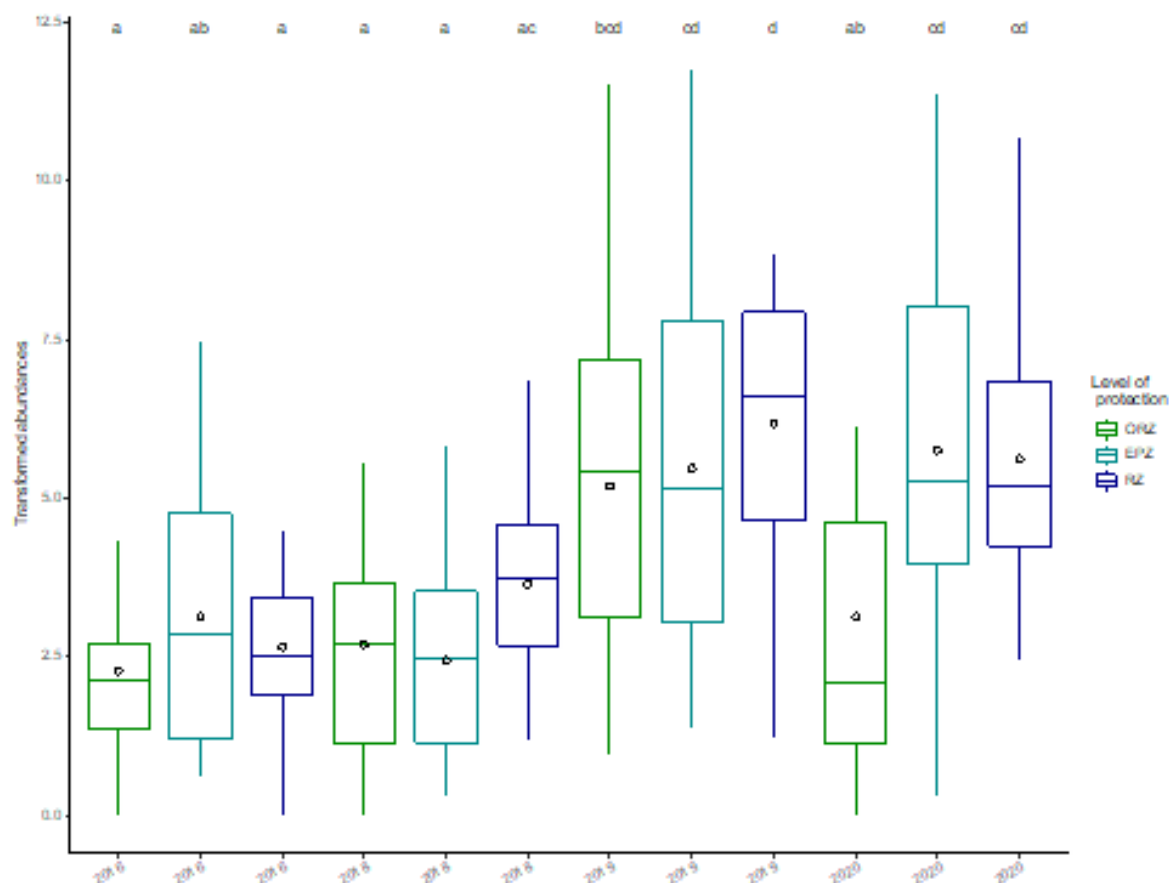


Fig 3. Trends in annual transformed and cumulative transect abundances of selected species by protection level (year followed by code ORZ: off-reserve zone, EPZ: enhanced protection zone, RZ: restricted zone). The circle represents the mean, the thick horizontal bar indicates the median and the whiskers correspond to the extreme values. Different letters indicate a significant difference (Tukey, $P < 0.05$)

The abundances of the selected species increase over time (Fig 3). The years 2019 and 2020 are significantly more abundant than the years 2016 and 2018 (Tukey, $p < 0.05$).

Furthermore, abundances fluctuate with the level of protection. In 2019, abundances in the RZ tend to be higher, but there is no significant difference. In contrast, this trend is confirmed in 2020, when the abundance in the ORZ is significantly lower than in the zones within the reserve (RZ and EPZ).

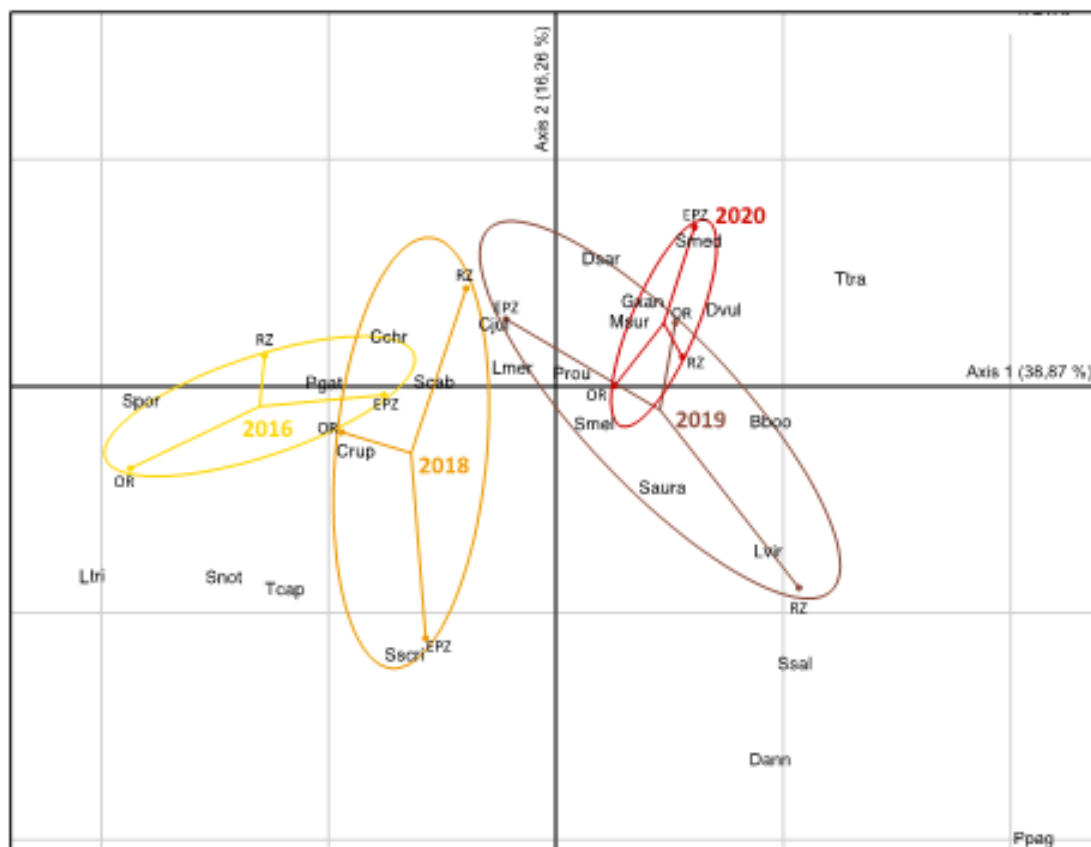


Fig 4. Biplot of the first two dimensions obtained through the correspondence analysis of the representative species across the different sampling sessions in time. The ellipses include 67% of the stations for a given year under the assumption of a normal distribution. Each point located the three level of protection (RZ: restriction zone, EPZ: enhanced protection zone, OR: off reserve). The eigen values diagram is given on upper left side. Taxa codes are listed in Appendix 1.

The correspondence analysis reveals 55.13% of the total array's inertia in the two first axis (Fig 4). The first axis, which alone carries 38.87% of the inertia, ranks the years in chronological order. This first axis opposes the species *S. porcus*, *S. notata*, *Lipophrys trigloides*, *Trisopterus capellanus*, associated with the beginning of the monitoring (2016 and 2018) to *P. pagrus*, *Trachurus trachurus*, *Spicara maena*, *Salpa salpa* and *D. annularis* associated with the end of the monitoring (2019 and 2020). There is thus an evolution of the abundance assemblage over time. Also, the species *D. sargus*, *D. vulgaris*, *P. pagrus*, *Sparus aurata* and *M. surmuletus*, associated with the years 2019 and 2020, are target species. For this reason, the study of abundance assemblages as a function of the level of protection is only carried out for the latter period.

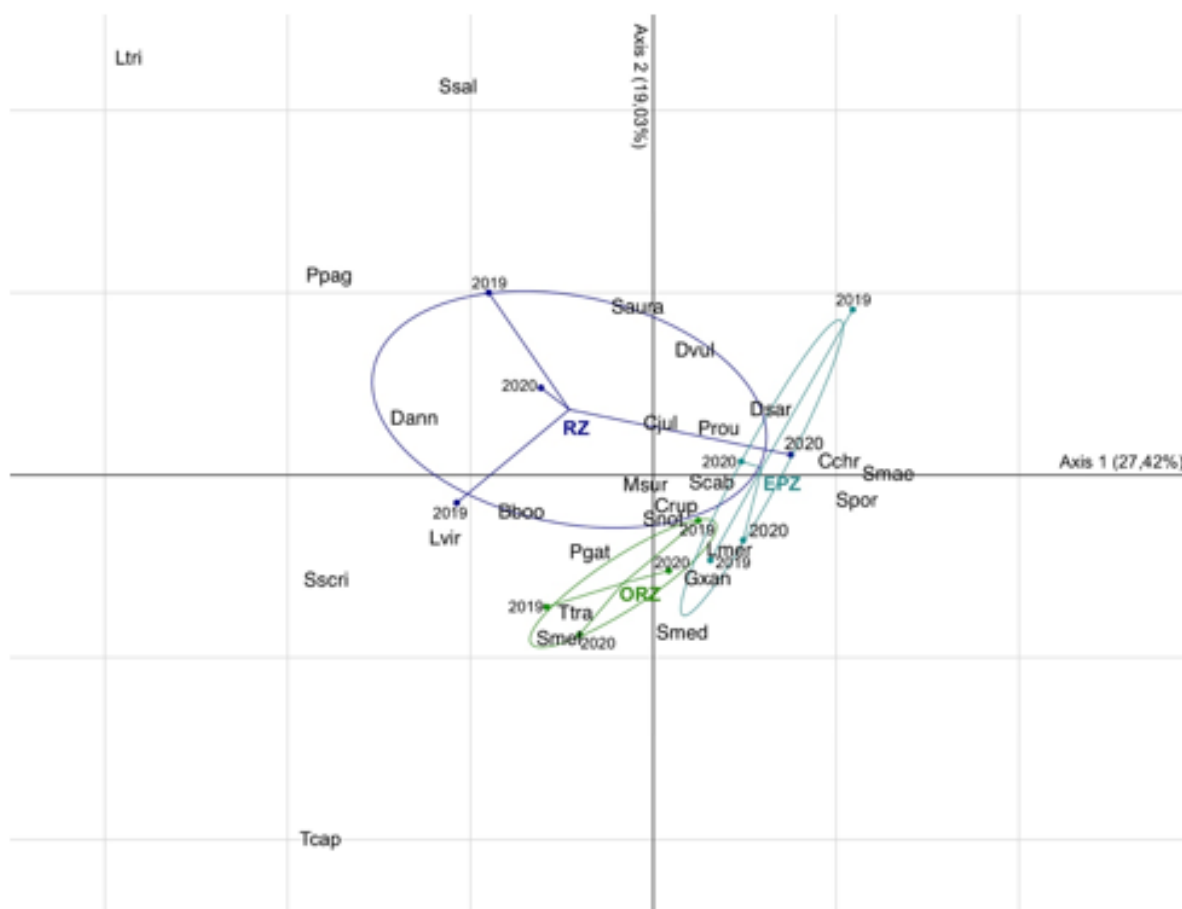


Fig 5. Biplot of the first two dimensions obtained through the correspondence analysis of the representative species across the different sampling sessions regarding to their protection level (RZ: restriction zone, EPZ: enhanced protection zone, OR: off reserve). The ellipses include 67% of the four years of a given protection level under the assumption of a normal distribution. Each point locates the stations of each protection level for each year. The eigen values diagram is given on dawn right side. Taxa codes are listed in Appendix 1.

The first plane of the Correspondence Analysis of abundances, made from the abundances of the selected species and the years 2019 and 2020 (Fig 5), represents 46.44% of the inertia with the first axis alone carrying 27.41%. Abundance assemblages are also influenced by the level of protection of the environment. Fig. 4 shows a change in the abundance assemblage over time. Therefore, the distribution of species in Fig. 5 for the years 2019 and 2020 is different from that in Fig. 4, which takes into account 4 years.

The ORZ, characterized by *T. trachurus* and *Symphodus melanocercus*, is significantly different from the other two (Wilcoxon, HR-ZPR $P = 0.001$, HR-ZR $P = 1.4e-08$). Within the reserve, the ZR is characterized by *S. maena*, *D. annularis* and *S. aurata*, whereas the ZPR is more characterized by the presence of *M. surmuletus*, *D. vulgaris*, *C. julis* and *P. pagrus*. The ZR is the most diverse zone.

3.2. 3.2 Biomass of target species

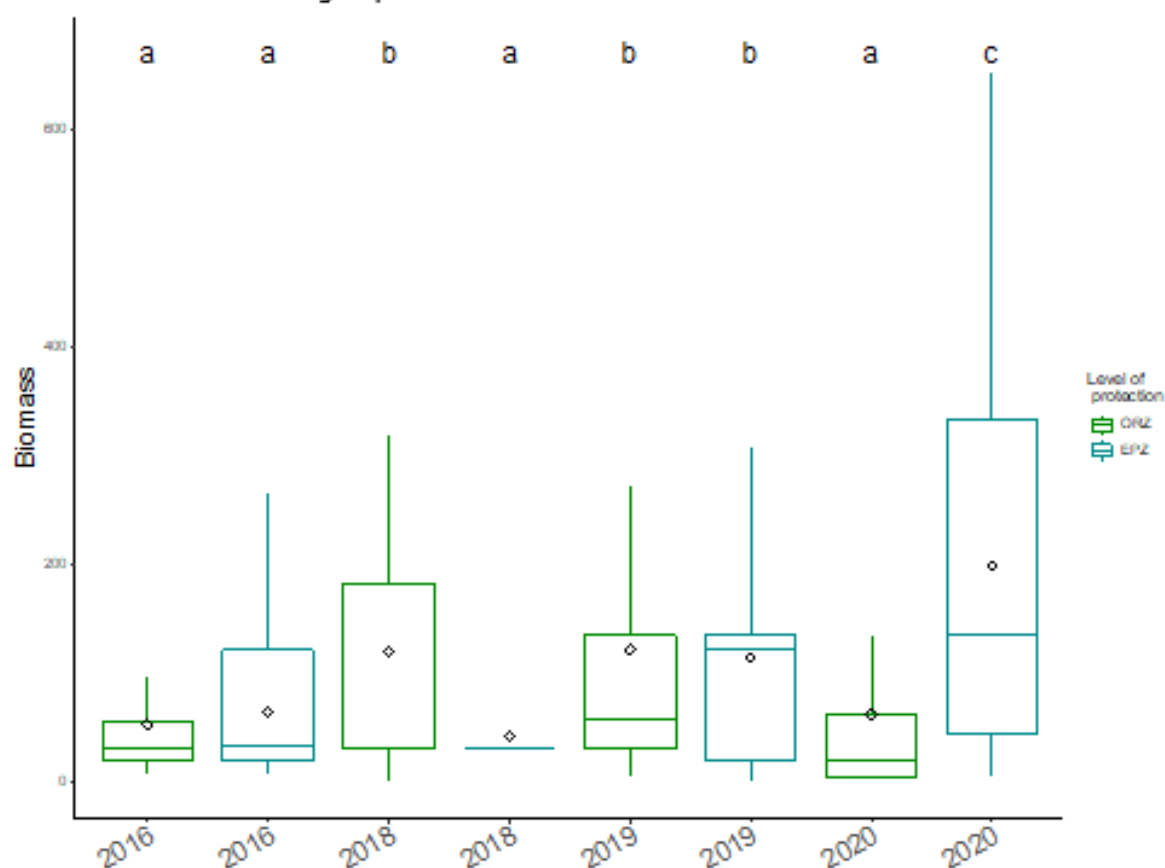


Fig 6. Changes in annual biomass of target species based on size (Morey et al., 2003; (year followed by code 1-ORZ: off-reserve zone, 2-EPZ: enhanced protection zone). The diamond represents the mean, the thick horizontal bar indicates the median and the whiskers correspond to the extreme values. Different letters indicate a significant difference (Tukey, $P<0.05$).

The mean biomass increases within RZ and EPZ over time (Fig 6). It is significantly higher in 2020 than in other years in the EPZ, increasing by a factor of 3.1 between 2016 and 2020 within the EPZ (Tuckey, $P<0.05$). The biomass of the off-reserve zone increases significantly in 2018 and decreases significantly in 2020. In addition, the biomass is significantly higher within the EPZ in 2020 (Tuckey, $P<0.05$).

3.3. Size of the most numerous fishes

The size study is carried out only on the target species: *D. sargus*, and *M. surmuletus*. The demographics of the species were compared between the HR zone and the ZPR which represents 90% of the reserve area (Fig 7).

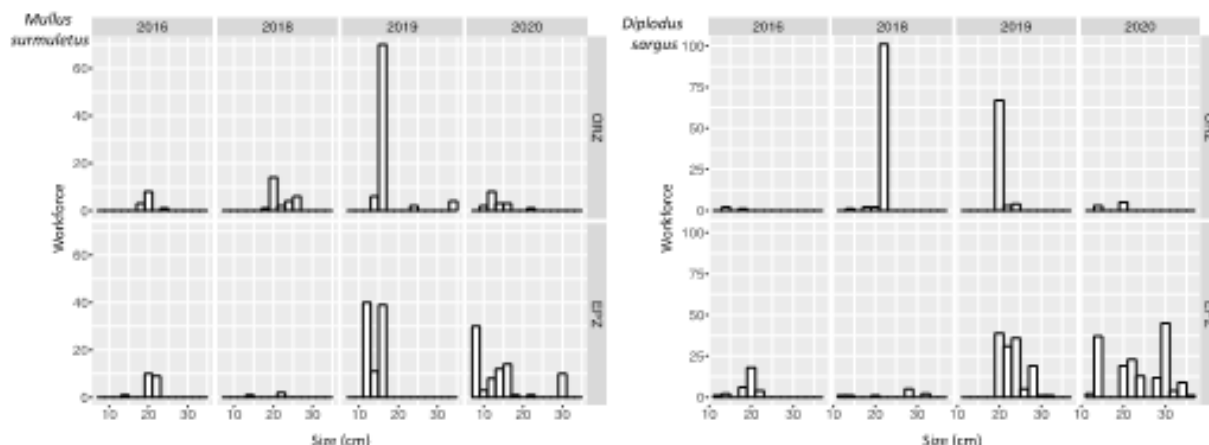


Fig 7. Demographic analysis of *M. surmuletus* and *D. sargus* in the ORZ: off-reserve zone and the EPZ: enhanced protection zone.

The size distribution of *M. surmuletus* individuals is relatively stable in the off-reserve zone, but the presence of a school causes a sharp increase in abundance in 2019. Within the reserve, a spreading of the age pyramid from 2020 onwards is visible, with the appearance of large individuals, measuring up to 30 cm. However, the yearling cohort measuring about 15 cm in 2019 is expected to measure about 20 cm the following year. This is not visible in the 2020 monitoring. Therefore, the 2020 year in the EPZ shows individuals less than one year old.

The numbers of *D. sargus* in the off-reserve area indicate the presence of schools. The number of individuals increases within the ZPR from 2019 onwards. The size of individuals increases significantly over time within the reserve (Wilcoxon, $P = 0.003$). The year 2020, shows a tri-modal size distribution. A first mode located between 12 and 15 cm, another between 22 and 25 cm and a last modality at 30 cm.

4. Discussion

The study of fish populations over the first four years of protection of the PCMR, shows positive impacts from the third year onwards. This result is consistent with the literature (Halpern and Warner 2003, Russ *et al.*, 2004; Claudet *et al.*, 2006, Russ *et al.*, 2004).

Abundance assemblages evolve gradually over the 4 years of monitoring. Populations of target species increase from the 3rd year of protection, particularly populations of sparids, high trophic level species favoured by the establishment of an MPA (Boulanger *et al.*, 2021), are significantly represented from 2019 onwards (Fig 4). Thus, the first visible direct impact of the establishment of this reserve is the refuge effect. Also, the low dispersion of the year 2020 may be linked to an evolution of abundance assemblages that is similar for the RZ and EPZ zones.

Significant increases in overall abundance ($\times 1.74$) and biomass of target species ($\times 3.1$) were observed from the third year of protection. These observations, over a short period, may be linked also to the immigration of individuals into the reserve (Denny, *et al.*, 2004). The increase in biomass is related to the increased abundance of individuals in the reserve, but also to the attraction of larger individuals. In particular with the presence of individuals of *D. sargus* and *M. surmuletus* larger than 30 cm from the year 2020. In off-reserve area, sampling also depends on the setting of the nets, which could explain the sharp decrease in biomass of target species in off-reserve in 2020.

Within the reserve, the size distribution of *M. surmuletus* and *D. sargus* shows a spreading of the age pyramid thanks to the attraction of several cohorts. Indeed, the count of *M. surmuletus* individuals shows individuals measuring between 12 and 16 cm aged around 1 year and individuals measuring up to 30 cm aged between 6 and 7 years. (Bensebaini *et al.*, 2019). Also, the tri-modal size distribution of the *D. sargus* population correspond to 3 cohorts. The first mode located between 12 and 15 cm corresponds to individuals aged approximately 1 to 2 years, another between 22 and 25 cm corresponding to individuals aged 3 and 4 years and the last modality at 30 cm which may correspond to individuals aged 6 and 8 years (Bensebaini *et al.*, 2019, Man-Wai and Quignard, 1984). The presence of individuals aged 6 and 8 years, testifies to the refuge effect of this area from 2020. These evolutions indicate a zone that

favours recruitment and ageing of cohorts within the reserve. These adaptations will allow for a stabilization of the population stocks over time.

The level of protection within the reserve influences the distribution of species (Fig 5). The abundances of selected species and the biomasses of target species are significantly higher in the RZ and EPZ than in the off-reserve area. Within the reserve, the EPZ appears less diverse than the ORZ area where recreational diving is permitted. This result is surprising, as it was expected that the area with the highest level of protection would be the most diverse (Lester *et al.*, 2009). The designation of this area as a reserve has created a lot of interest in the Cousaça site among divers. About ten regional diving clubs concentrate on this site from April to October. The presence of divers on the Cousaça site can influence the behaviour of the fish. Some individuals may become accustomed to the presence of humans, limiting escape behaviour (Neill, 1966). Iborra *et al* (2021) also showed that groupers, *Epinephelus marginatus*, smaller than 50 cm can be curious and attracted by divers. Thus, individuals in the RZ, accustomed to the presence of divers, would be less fearful and therefore more accessible for counting. Thus, there would not be more rare species associated with the RZ than with the EPZ. The monitoring of the PCMR by fixed cameras from 2019 onwards, presented in the annual report on the monitoring of the reserve (Suivi scientifique de la Réserve Marine de la Côte Palavasienne 2016-2021. Suivi annuel 2020. Jouvenel *et al.*, 2021), show that abundances are four times higher in the RPZ than in the RZ in 2020. Also, diversity is similar for both levels of protection: 15 species in the RZ and 16 species in the PRZ. Thus, the visual count has some bias. In this study, this type of count depends on the behaviour of fish towards divers and on visibility. The coupling of two monitoring techniques would limit the bias of each. For example, ichthyological monitoring using fixed cameras, landings, acoustic telemetry or the study of environmental DNA could be a complement to visual counting in scuba.

Fishing surveys, carried out in April 2020 among local fishermen, reveal a failure to respect the fishing ban by professionals. As the reserve is located offshore, it is difficult to ensure its security and to quantify this poaching. The effectiveness of a marine area depends essentially on the respect of the rules by these users, and the means implemented to enforce them (Campbell *et al.*, 2012). This bias could explain the distribution of *M. surmuletus* cohorts in the PCMR in 2020. One 2-year and one 4-year cohort should be visible on the 2020 population survey results. Also, non-compliance with the fishing ban by setting a net could explain this finding. Thus, direct effects are visible after only 3 years of protection within the MCPR and despite poaching. Therefore, future monitoring could confirm spatio-temporal differences, which could be interpreted as a response to the reserve effect. This evolution will also be linked to the protection efforts implemented to limit non-compliance with the box.

5. Conclusion

The PCMR can be a place of prospective study for several aspects. It is of scientific interest because of its configuration. This young marine reserve, of 100 ha, is located more than 2 km from the coast. It is of interest to fishermen, who were behind its creation and wish to preserve the resource. Finally, the area also attracts local diving clubs, which are concentrated in this area.

Despite known poaching and a counting technique directly influenced by the behaviour of fish towards divers, the monitoring of the PCMR reveals direct visible effects, in only 3 years of protection. Indeed, the total abundance ($\times 1.74$) and biomass of target species ($\times 3.1$) increases significantly for this young reserve. The abundance assemblage evolves during the first 4 years. Also, the presence of individuals aged 6 and 8 years, testifies to the refuge effect. Thus, an intensification of the spatio-temporal differences is expected in the coming years. This will only be possible if the protection of the reserve is intensified.

6. References

- Abesamis, R.A., Russ, G.R., 2005. Density-Dependent Spillover from a Marine Reserve: Long-Term Evidence. *Ecological Applications* 15, 1798–1812.
- Bensebaini, C.M., Billet, N., Certain, G., Jadaud, A., Le Roy, E., 2019. Poissons, céphalopodes et crustacés du Golfe du Lion. Courbes de croissance. Taille et poids. Maturité sexuelle. Muséum national d'Histoire Naturelle.
- Boulanger, E., Loiseau, N., Valentini, A., Arnal, V., Boissery, P., Dejean, T., Deter, J., Guellati, N., Holon, F., Juhel, J.-B., Lenfant, P., Manel, S., Mouillot, D., 2021. Environmental DNA metabarcoding reveals and unpacks a biodiversity conservation paradox in Mediterranean marine reserves. *Proceedings of royal society B*.

- Changeux, T., Blazy, C. & Ruitton, S. 2020. The use of citizen science for marine biodiversity surveys: from species identification to ecologically relevant observations. *Hydrobiologia* 27-43
- Campbell, S.J., Hoey, A.S., Maynard, J., Kartawijaya, T., Cinner, J., Graham, N.A.J., Baird, A.H., 2012. Weak Compliance Undermines the Success of No-Take Zones in a Large Government-Controlled Marine Protected Area. *PLOS ONE* 7.
- Denny, C.M., Willis, T.J., Babcock, R.C., 2004. Rapid recolonization of snapper *Pagrus auratus*: Sparidae within an offshore island marine reserve after implementation of no-take status. *Marine Ecology Progress Series* 272, 183–190.
- Edgar, G.J., Stuart-Smith, R.D., Willis, T.J., Kininmonth, S., Baker, S.C., Banks, S., Barrett, N.S., Becerro, M.A., Bernard, A.T.F., Berkhout, J., Buxton, C.D., Campbell, S.J., Cooper, A.T., Davey, M., Edgar, S.C., Försterra, G., Galván, D.E., Irigoyen, A.J., Kushner, D.J., Moura, R., Parnell, P.E., Shears, N.T., Soler, G., Strain, E.M.A., Thomson, R.J., 2014. Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. *Nature* 506, 216–220.
- Franco, A.D., Milazzo, M., Baiata, P., Tomasello, A., Chemello, R., 2009. Scuba diver behaviour and its effects on the biota of a Mediterranean marine protected area. *Environmental Conservation* 36, 32–40.
- Francour, P., Harmelin, J.-G., Pollard, D., Sartoretto, S., 2001. A review of marine protected areas in the northwestern Mediterranean region: siting, usage, zonation and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 11, 155–188.
- Gell, F.R., Roberts, C.M., 2003. Benefits beyond boundaries: the fishery effects of marine reserves. *Trends in Ecology & Evolution* 18, 448–455.
- Giraud, T., Lambert, N., 2016. cartography: Create and Integrate Maps in your R Workflow. *The Journal of Open-Source Software*
- Guidetti, P., Claudet, J., 2010. Cocomanagement Practices Enhance Fisheries in Marine Protected Areas. *Conservation Biology* 24, 312–318.
- Halpern, B.S., 2003. The Impact of Marine Reserves: Do Reserves Work and Does Reserve Size Matter? *Ecological Applications* 13, 117–137.
- Halpern, B.S., Warner, R.R., 2003. Review Paper. Matching marine reserve design to reserve objectives. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270, 1871–1878.
- Harmelin, J.-G., Bachet, F., Garcia, F., 1995. Mediterranean Marine Reserves: Fish Indices as Tests of Protection Efficiency. *Marine Ecology* 16, 233–250.
- Harmelin-Vivien, M.L., Harmelin, J.G., Chauvet, C., Duval, C., Galzin, R., Lejeune, P., Barnabé, G., Blanc, F., Chevalier, R., Duclerc, J., Lasserre, G., 1985. Évaluations visuelles des peuplements et des populations de poissons : méthodes et problèmes. *Société nationale de protection de la nature et d'acclimatation de France* 40.
- Hastings, A., Botsford, L.W., 1999. Equivalence in Yield from Marine Reserves and Traditional Fisheries Management. *Science* 284, 1537–1538.
- Iborra, L., Leduc, M., Cuny, P., Gobert, S., 2021. Diving impact: Frequentation, diver behavior and consequences on the Mediterranean fish community. *VLIZ Marine Science Day*
- Jouvenel, J.-Y., Mallet, A., Molinier, P., Tessier, P., 2021. Suivi scientifique de la Réserve Marine de la Côte Palavasienne 2016-2021. Suivi annuel 2020.
- Lester, S.E., Halpern, B.S., Grorud-Colvert, K., Lubchenco, J., Ruttanberg, B.I., Gaines, S.D., Aïramé, S., Warner, R.R., 2009. Biological effects within no-take marine reserves: a global synthesis. *Marine Ecology Progress Series* 384, 33–46.
- Man-Wai, R., Quignard, J.-P., 1984. Les sars *Diplodus sargus* (Linne, 1758) du Golfe du Lion Croissance et caractéristiques des débarquements aux criées de Sète et du Grau-du-Roi. *Revue des travaux de l'Institut des pêches maritimes* 173–194.
- McNeill, S.E., Fainweather, P.G., 1993. Single Large or Several Small Marine Reserves? An Experimental Approach with Seagrass Fauna. *Journal of Biogeography* 20, 429–440.
- Molloy, P.P., McLean, I.B., Côté, I.M., 2009. Effects of marine reserve age on fish populations: a global meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 46, 743–751.
- Morey, G., Moranta, J., Massutí, E., Grau, A., Linde, M., Riera, F., Morales-Nin, B., 2003. Weight-length relationships of littoral to lower slope fishes from the western Mediterranean. *Fisheries Research* 62, 89–96.
- Mosquera, I., Côté, I.M., Jennings, S., Reynolds, J.D., 2000. Conservation benefits of marine reserves for fish populations. *Animal Conservation* 3, 321–332.
- Neill, S.R.S.J., 1966. Observations on the behaviour of the grouper species *Epinephelus quaza* and *E. alexandrinus* (Serranidae). T.G.W. Industrial & Research Promotions.

- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGinn, D., Minchin, P., O'Hara, R., Simpson, G., Solymos, P., Stevens, H., Szöcs, E., Wagner, H., 2017. Vegan: Community Ecology Package. Ordination methods, diversity analysis and other functions for community and vegetation ecologists. The Comprehensive R Archive Network.
- Russ, G.R., Alcala, A.C., Maypa, A.P., Calumpong, H.P., White, A.T., 2004. Marine Reserve Benefits Local Fisheries. *Ecological Applications* 14, 597–606.
- Sala, E., Garrabou, J., Zabala, M., 1996. Effects of diver frequentation on Mediterranean sublittoral populations of the bryozoan *Pentapora fascialis*. *Marine Biology* 126, 451–459.
- Sala, E., Giakoumi, S., 2018. No-take marine reserves are the most effective protected areas in the ocean. *ICES Journal of Marine Science* 75, 1166–1168.
- Sala, E., Mayorga, J., Bradley, D., Cabral, R.B., Atwood, T.B., Auber, A., Cheung, W., Costello, C., Ferretti, F., Friedlander, A.M., Gaines, S.D., Gariño, C., Goodell, W., Halpern, B.S., Hinson, A., Kaschner, K., Kesner-Reyes, K., Leprieux, F., McGowan, J., Morgan, L.E., Mouillot, D., Palacios-Abrantes, J., Possingham, H.P., Rechberger, K.D., Worm, B., Lubchenco, J., 2021. Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate. *Nature* 592, 397–402.
- Shears, N.T., Babcock, R.C., 2003. Continuing trophic cascade effects after 25 years of no-take marine reserve protection. *Marine Ecology Progress Series* 246, 1–16.
- Stelzenmüller, V., Mamou, F., Martin, P., 2007. Spatial assessment of benefits of a coastal Mediterranean Marine Protected Area. *Biological Conservation* 136, 571–583.
- Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Folke, C., Halpern, B.S., Jackson, J.B.C., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R., Sala, E., Selkoe, K.A., Stachowicz, J.J., Watson, R., 2006. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science* 314, 787–790.

5.1.2.1.3. Étude de l'évolution des espèces-cibles pour le suivi de 2021

Les espèces cibles représentent les espèces d'intérêt commercial. Parmi ces espèces, les sparidés occupent une place prépondérante, en effet les espèces du genre *Diplodus* comme le sar à tête noire (*Diplodus vulgaris*), le sar commun (*Diplodus sargus*), le sparaillon (*Diplodus annularis*) ou encore la daurade royale (*Sparus aurata*) sont des espèces recherchées pour leur intérêt commercial. Le loup (*Dicentrarchus labrax*) et le rouget de roche (*Mullus surmuletus*) présentent un fort intérêt halieutique.

Enfin, la girelle (*Coris julis*) et le serran-chevrette (*Serranus cabrilla*) présentent des intérêts commerciaux moins importants mais ce sont des espèces dites de « soupe » très ciblées par la pêche à la palangrotte.

Les espèces cibles analysées sont les suivantes :

- La girelle (*Coris julis*) et le serran chevrette (*Serranus cabrilla*),
- Le rouget de roche (*Mullus surmuletus*),
- Les sars (*Diplodus annularis*, *Diplodus sargus* et *Diplodus vulgaris*)
- La Dorade royale (*Sparus aurata*).

La comparaison des abondances et des tailles pour le loup (*Dicentrarchus labrax*) n'a pas pu être réalisée car aucun individu n'a été identifiée lors du suivi de 2021.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021

Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Les abondances cumulées pour chaque site sont focalisées sur les espèces cibles (Figure 36). Le serran (*Serranus cabrilla*), la girelle (*Coris julis*), les sars (*Diplodus sargus*, *Diplodus vulgaris*) et la dorade (*Sparus aurata*) ont des abondances nettement supérieures sur la station de Porquières Ouest. Le pataclet (*Diplodus annularis*), a une abondance plus importante sur la station de Porquières Sud. La station de Cousanço Nord est la plus abondante pour le rouget (*Mullus surmuletus*). En revanche, très peu de spécimens sont observés sur les stations des Guérites.

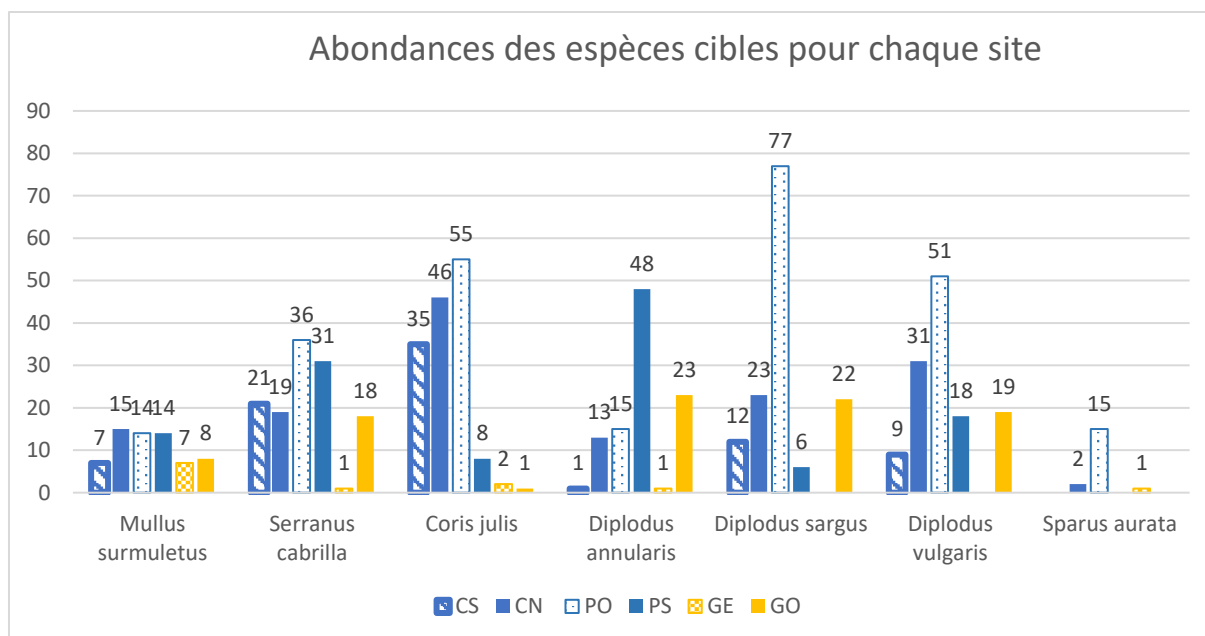


Figure 36. Abondance des espèces cibles sur les différentes stations (Cousanço Nord (CN), Cousanço Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)) de suivi en 2021.

Les tailles moyennes des espèces cibles sur les différentes stations (Figure 37) montrent des différences significatives en fonction de leur site de protection. Plus particulièrement, les moyennes de taille du sar commun (*Diplodus sargus*) et de la Dorade (*Sparus aurata*) sont supérieures sur la station de Cousanço Nord. Le sar à tête noire (*Diplodus vulgaris*) est plus grand dans la zone réglementée (Cousanço). Le serran (*Serranus cabrilla*), le rouget (*Mullus surmuletus*) et la girelle (*Coris julis*) sont de plus grande taille dans la réserve. Enfin, le sparailon ou pataclet (*Diplodus annularis*) a une taille plus élevée sur la station de Guérites Est, hors réserve.

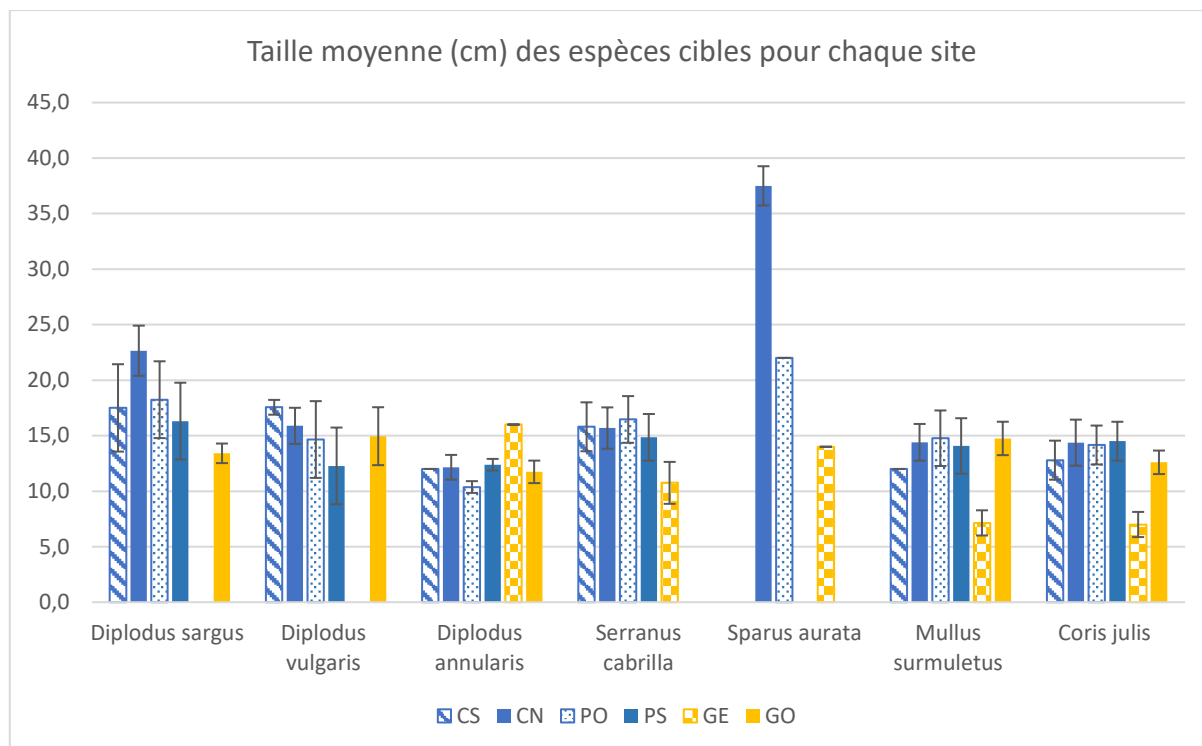


Figure 37. Étude de la taille moyenne des espèces cibles pour chaque station (Cousanço Nord (CN), Cousanço Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

En 2021, les sars (*Diplodus vulgaris* et *Diplodus sargus*), le rouget (*Mullus surmuletus*), le serran (*Serranus cabrilla*) et la girelle (*Coris julis*) sont plus abondants dans la réserve. La dorade royale (*Sparus aurata*) est davantage représentée au sein de la zone de protection renforcée.

Les tailles moyennes des espèces cibles sont généralement plus grandes dans la réserve.

5.1.2.1.4. Évolution temporelle de la taille moyenne et des abondances des espèces cibles (depuis 2016)

La distribution spatiale des abondances et l'analyse des tailles moyennes de 7 espèces cibles pour l'ensemble des suivis de 2016, 2018, 2019, 2020 et 2021 sont présentés sur Figure 38 et Figure 39.

Les tailles moyennes des espèces cibles augmentent au sein de la réserve au cours des 5 années de suivis (Figure 38) pour la daurade (*Sparus aurata*), la girelle (*Coris julis*) et le serran (*Serranus cabrilla*). La taille moyenne de *Diplodus annularis* a presque doublé entre 2016 (12,0 cm) et 2019 (22,0 cm). Seul le rouget, *Mullus surmuletus* montre une diminution de la taille au cours du temps : en moyenne 20,4 cm en 2016 et 13,8 cm en 2021.

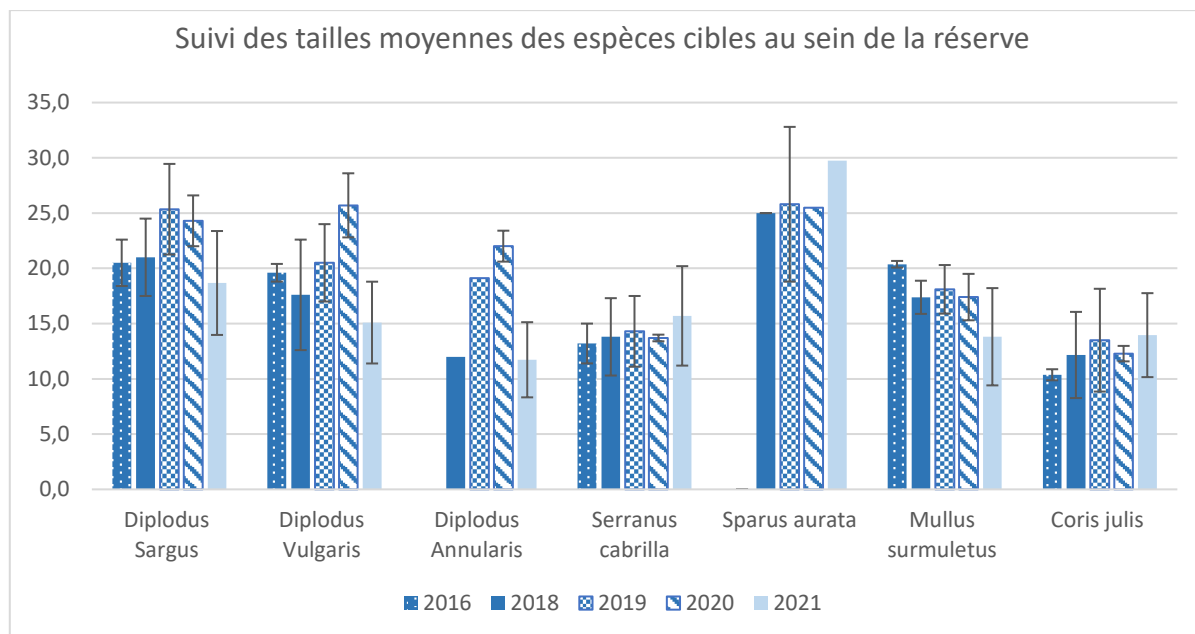


Figure 38. Évolution de la taille moyenne des espèces cibles au sein de la réserve pour les 5 années de suivi

Les abondances augmentent au cours du temps, jusqu'en 2019 ou 2020 (Figure 39). L'année 2019 plus « exceptionnelle » en termes d'abondance pour *Diplodus sargus*, *Diplodus vulgaris*, *Serranus cabrilla* et *Mullus surmuletus* témoigne des conditions environnementales très favorables de ce suivi. Les abondances moyennes de *Coris julis* ont doublé entre 2016 et 2020 soit respectivement en moyenne $13,8 \pm 10,9$ individus et $30,16 \pm 18,72$ individus. De la même façon les abondances moyennes de *Diplodus vulgaris* et *Diplodus sargus* ont augmenté avec respectivement $1,66 \pm 2,73$ et $1,33 \pm 1,33$ individus en 2016 et $40,16 \pm 31,51$ et $38,83 \pm 43,60$ en 2019. Les abondances moyennes de *Sparus aurata* sont inférieures à 10 individus par année. Les augmentations sont visibles également pour le rouget, *Mullus surmuletus* avec en moyenne $6 \pm 6,51$ individus en 2016 et $33,33 \pm 24,57$ en 2019. Du aux très mauvaises conditions de visibilité, les abondances moyennes diminuent en 2021, sauf pour *Diplodus annularis* et *Sparus aurata*.

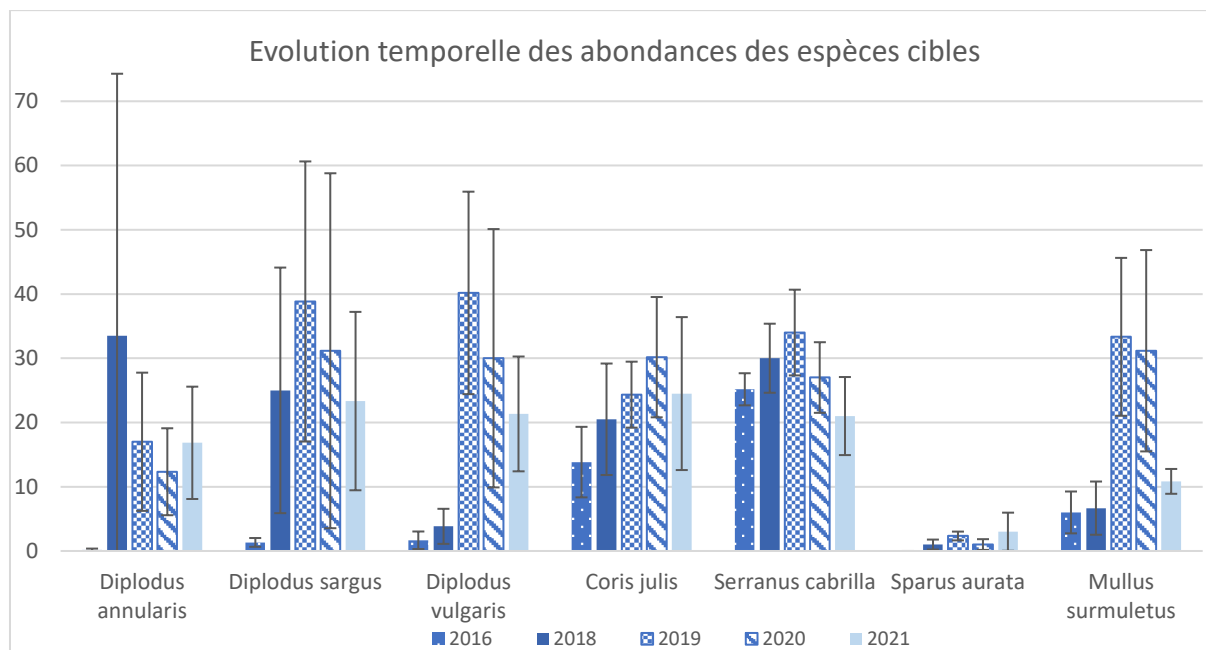


Figure 39. Évolution temporelle des abondances des espèces cibles pour les 5 années de suivi

Les abondances des espèces cibles augmentent au cours du temps, jusqu'en 2019 et 2020 avec notamment une année 2019 « exceptionnelle » en termes d'abondance pour *Diplodus sargus*, *Diplodus vulgaris*, *Serranus cabrilla* et *Mullus surmuletus*. Les faibles abondances enregistrées lors des suivis de 2021 semblent intimement corrélées aux conditions météorologiques défavorables.

La majorité des espèces cibles étudiées montrent une augmentation des tailles moyennes au cours du temps au sein de la réserve. Le rouget, *Mullus surmuletus* ne semble pas confirmer cette tendance.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

5.1.2.1.5. Suivi de la biodiversité par caméras fixes en 2021 (à l'initiative et à la charge de P2A Développement).

Le suivi des téléostéens en 2021 par caméra fixe a permis de compléter les données acquises lors des campagnes de terrain traitées précédemment. Le tableau suivant (Les comptages sur les vidéos sont influencés par les mauvaises conditions de visibilité observée en 2019).

Tableau 15) présente les valeurs d'abondance de chaque espèce observée par unité de temps (10 min) pour l'année 2021. La station Guérite Est n'a pu être traitée en raison de problèmes techniques. Les comptages sur les vidéos sont influencés par les mauvaises conditions de visibilité observée en 2019.

Tableau 15. Synthèse des abondances par zone (Cousança Nord (CN), Cousança Sud (CS), Porquières Sud (PS), Porquières Ouest (PO), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est) des vidéos des caméras fixes en 2021

Espèces par famille	CS	CN	PO	PS	GO	GE
	Zone de réglementée	Zone de protection renforcée			Hors réserve	
CARANGIDAE						
<i>Spicara maena</i>					0,39	
LABRIDAE						
<i>Coris julis</i>		17,32		0,39	0,77	
<i>Ctenolabrus rupestris</i>	3,29					
<i>Labrus veridis</i>		0,87				
<i>Symphodus melanocercus</i>	0,66	14,72	0,79	0,39	0,77	
MULLIDAE						
<i>Mullus surmuletus</i>					0,39	
POMACENTRIDAE						
<i>Chromis chromis</i>	0,66	34,63	1,59		2,80	
SERRANIDAE						
<i>Serranus cabrilla</i>	0,66		1,59	1,16	1,16	
SPARIDAE						
<i>Boops boops</i>					0,39	
<i>Diplodus annularis</i>		4,33		2,32		
<i>Diplodus puntazzo</i>		3,46		15,45		
<i>Diplodus sargus</i>	1,31	16,45	0,79	26,66	0,39	
<i>Diplodus vulgaris</i>		15,58	8,73	33,23		
<i>Pagellus erythrinus</i>						
<i>Oblada melanura</i>		4,33				
<i>Spondylusoma cantharus</i>				1,16		
Abondance totale par unité de temps	6,57	111,69	13,49	80,75	7,04	

Les stations de Cousança Nord et Porquières Sud présentent les abondances totales les plus élevées (Figure 40) avec respectivement **111,69** et **80,75** observations. Elle est 10 fois plus élevée dans les zones protégées que dans la zone hors réserve. Les espèces ne répondant pas à l'effet réserve telles que la bogue (*Boops boops*), la mendole (*Spicara maena*) ou la castagnole (*Chromis chromis*) peuvent influencer les résultats comme observé sur Cousança Sud (34,63 observations de castagnole, *Chromis chromis*).

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

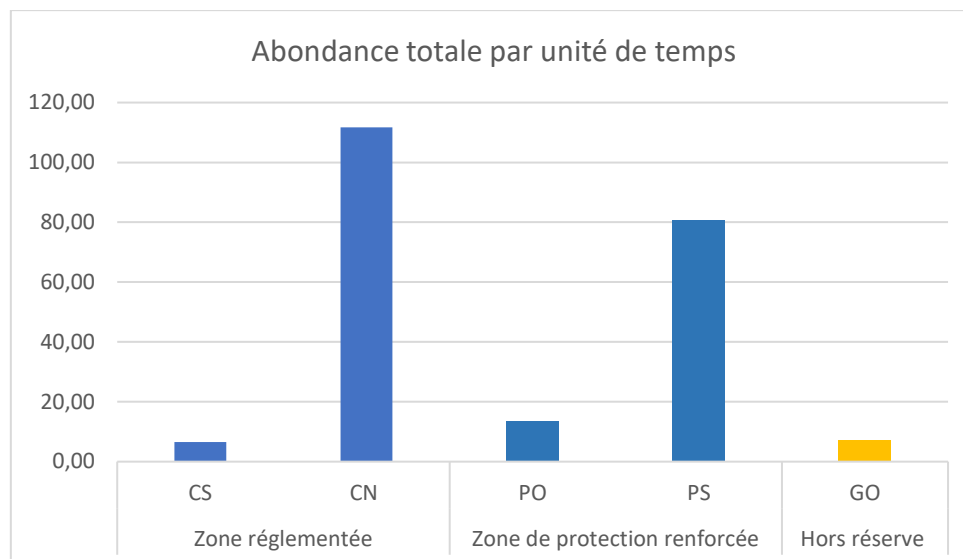


Figure 40. Variation spatiale des abondances par caméra pour chaque station (Cousanço Nord (CN), Cousanço Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

Afin de ne pas biaiser l'analyse, l'abondance totale par unité de temps est recalculée sans tenir compte des espèces non soumises à l'effet réserve cité précédemment (Figure 41). Les abondances totales par unité de temps sont toujours plus importantes sur Porquières Sud (80,75) et Cousanço Nord (77,06). La population de Porquières Sud est représentée à 98% par les sparidés (41% *Diplodus vulgaris*, 33 % *Diplodus sargus*, 1 % de *Spondyllosoma cantharus*). La population de Porquières Sud est représentée par *Coris julis* à 22 % et par les sparidés à 40 %.

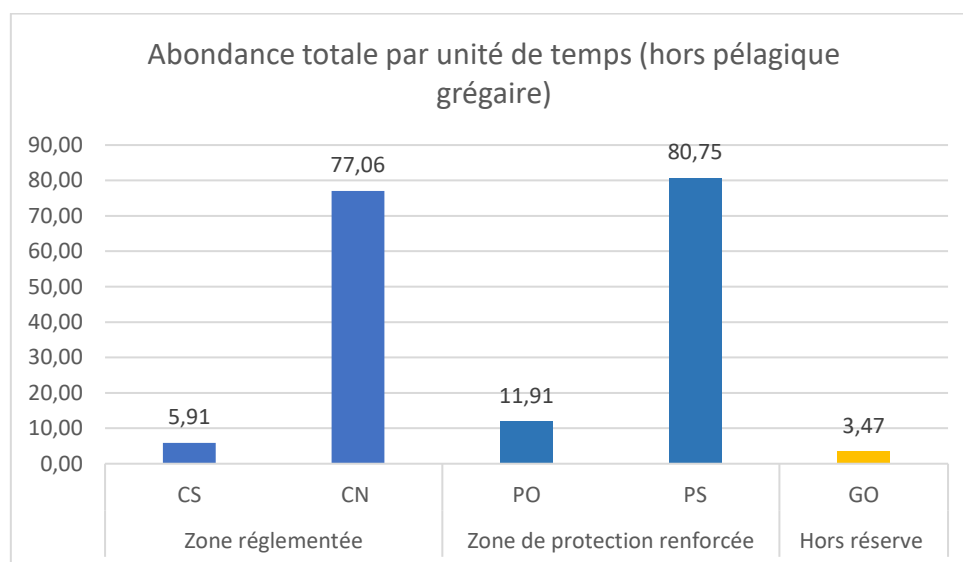


Figure 41. Variation spatiale des abondances relevées par caméra fixe sans tenir compte des bancs de pélagique grégaire (*Chromis chromis*, *Spicara maena*, *Boops boops*) par station (Cousanço Nord (CN), Cousanço Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

L'étude de la richesse spécifique pour chaque zone (Figure 42) montre une richesse spécifique plus importante pour Cousanço sud avec 9 espèces. *Symphodus melanocercus* est la seule espèce présente sur les 5 stations. 5 espèces sont communes aux 3 niveaux de protection tel que la girelle (*Coris julis*), le serran chevrette (*Serranus cabrilla*), la castagnole (*Chromis chromis*) ou encore le sar à tête noire

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

(*Diplodus vulgaris*). Ainsi, la mendole (*Spicara maena*) et la bogue (*Boops boops*) sont spécifiques à la zone hors réserve alors que des espèces plus rares telles que la daurade grise (*Spondyliosoma cantharus*) est visible seulement dans la zone de protection renforcée.

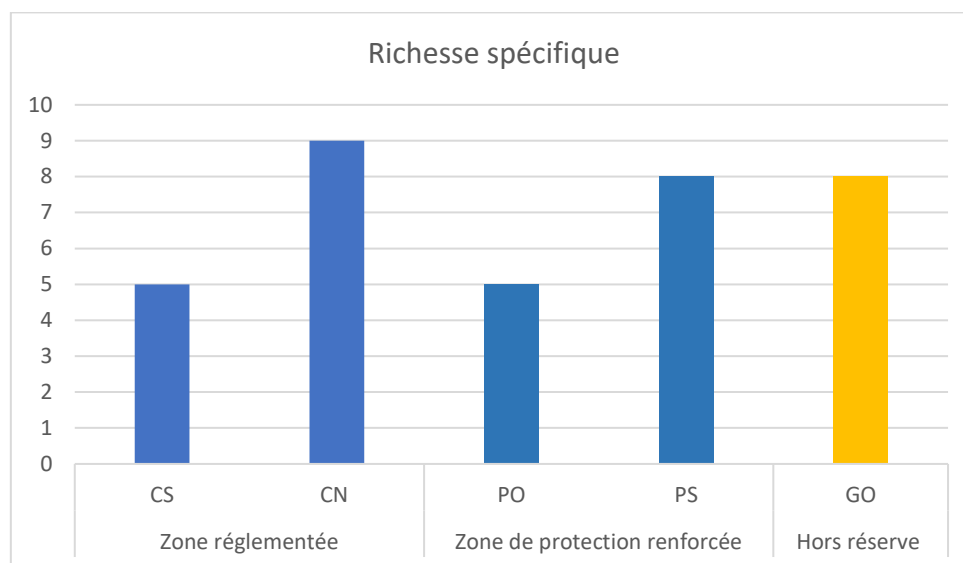


Figure 42. Étude de la richesse spécifique sur les zones suivies par caméra fixe en 2021 (Cousaça Nord (CN), Cousaça Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).

Parmi les espèces communes aux trois zones, l'abondance des individus est globalement plus importante sur les sites de Porquières Sud et Cousaça Nord (Figure 43). Par exemple, le sar à tête noire (*Diplodus vulgaris*) a une abondance plus élevée sur Porquières Sud. Le serran (*Serranus cabrilla*) montre des abondances similaires sur les stations où il est présent.

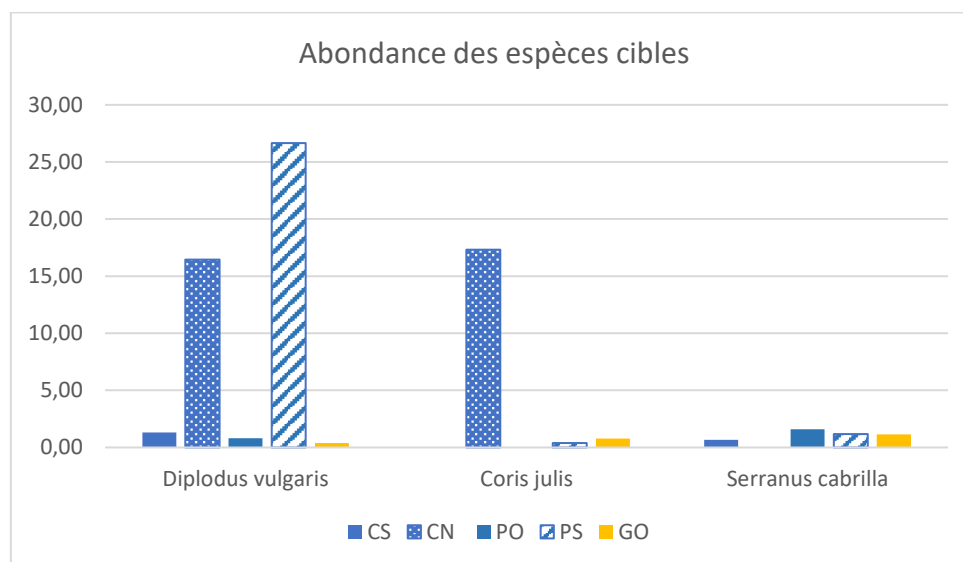


Figure 43. L'abondance des espèces cibles pour chaque station (Cousaça Nord (CN), Cousaça Sud (CS), Porquières Ouest (PO), Porquières Sud (PS), Guérites Ouest (GO) et Guérites Est (GE)).



Figure 44. Image extraite de la vidéo du suivi de 2021 par caméra fixe sur la station de Porquières Sud

Les observations par caméra fixe confirment une abondance plus élevée dans les zones protégées, notamment sur les stations de Cousaça Nord et Porquières Sud. Cousaça Nord est la station la plus riche.

Les sparidés sont prépondérants dans les zones réglementées, ils représentent 98 % de la population étudiés sur Cousaça Nord et 40 % de celle de Porquières Sud.

5.1.2.1.6. Suivi de l'évolution de la biodiversité par caméras fixes

Le suivi de la biodiversité et en particulier des espèces mobiles depuis 5 ans par caméra fixe via un protocole standardisé a permis d'appréhender les évolutions visibles depuis la mise en place de la réserve. Le tableau suivant présente les valeurs d'abondance de chaque espèce observée par unité de temps (10 min) sur l'ensemble des sites pour les 5 années de suivi.

Les abondances totales par unité de temps augmentent au cours du temps sur Cousaça Nord et Porquières Sud (Figure 45). Les stations hors réserve semblent stables, mis à part un pic d'abondance en 2019 sur la station de Guérite Est. Les abondances sont globalement plus importantes sur les stations situées dans la réserve.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Tableau 16. Synthèse des abondances par station et par années de suivi par caméra fixe

ESPECE PAR FAMILLE	NOM VERNACULAIRE	CN 2016	CN 2018	CN 2019	CN 2020	CN 2021	CS 2016	CS 2018	CS 2019	CS 2020	CS 2021	PO 2016	PO 2018	PO 2019	PO 2020	PO 2021	PS 2016	PS 2018	PS 2019	PS 2020	PS 2021	GE 2016	GE 2018	GE 2019	GE 2020	GE 2021	GO 2016	GO 2018	GO 2019	GO 2020	GO 2021
CARANGIDAE																															
<i>Spicara maena</i>	Mendole																														0,39
BLENNIDAE																															
<i>Parablennius gattorugine</i>	Cabot											0,16							0,23												
<i>Parablennius rouxi</i>	Blennie de roux			0,31										0,14					0,465						0,7						
CLUPEIDAE																															
<i>sardina pilchardus</i>	Sardine			15,63																					11,63						
CONGRIDAE																															
<i>Conger conger</i>	Congre																		0,23												
GADIDAE																															
<i>Trisopterus capellanus</i>	Capelan																								0,23						
LABRIDAE																															
<i>Coris julis</i>	Girelle commune		3,67	3,44		17,32	0,96		0,72			1,59	14,5	0,29			1,11		1,86		0,39				1,16				3,99		0,77
<i>Otenolabrus rupestris</i>											3,29																				
<i>Labrus merula</i>	Labre merle		0,41	0,63															0,93												
<i>Labrus veridis</i>	Labre vert					0,87																									
<i>Symphodus mediterraneus</i>	Orénilabre Méditerranéen		0,82	7,81					6,2					1,17	0,14				3,25						3,26						
<i>Symphodus melanocephalus</i>	Orénilabre à queue noire		0,41			14,72	2,75	1,64		0,66		3,97	4,69		0,79		1,6				0,39	7,84		0,23							0,77
MORONIDAE																															
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Loup																		0,23												
MULLIDAE																															
<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget de roche						0,69					0,16		0,57					0,7												0,39
POMACENTRIDAE																															
<i>Chromis chromis</i>	Castagnole				34,63		3,44			0,66		5,55	2,11		1,59				51,4		2,1		1,86				6,75				2,80
SCORPAENIDAE																															
<i>Scorpaena notata</i>	Petite rascasse rouge																				0,17										
<i>Scorpaena scrofa</i>	Chapon											0,16							0,23					0,23							
<i>Serranus cabrilla</i>	Serran-chèvre	17,14	1,22	1,25			0,27		1,2			0,95	2,11	0,57			4,79	0,23	1,16			0,33		2,9			0,25		1,71		
SPARIDAE																															
<i>Boops boops</i>	Bogue											1,9																			0,39
<i>Diplodus annularis</i>	Patadé					4,33															2,32										
<i>Diplodus puntazzo</i>	Sar à museau pointu					3,46															15,45				0,23						
<i>Diplodus sargus</i>	Sar commun		0,41	2,5		16,45			1,69		1,31		0,23		0,79				19,55		26,66				2,79						0,39
<i>Diplodus vulgaris</i>	Sar à tête noir		1,63	1,56		15,58			0,24				1,17		8,73				21,4		33,23				1,86						
<i>Dentex dentex</i>	denti					0,31													0,93												
<i>Oblada melanura</i>	Oblade					4,33																									
<i>Sparus aurata</i>	Daurade royale			0,3125																											
<i>Spondylusoma cantharus</i>	Daurade grise																				1,16										
SERRANIDAE																															
<i>Serranus cabrilla</i>	Serran chevrette									0,66					1,59						1,16										1,16
TRIPTYERYGIIDAE																															
<i>Tripterygion sp</i>	Tripterygion espèce						0,41																								
AUTRES																															
<i>Ophiocoma</i>	Ophiure													0,14																	
<i>Hervia costai</i>	Limace de mer													0,14																	
ESPECES Non Identifiées			3,67				2,2	2,5				3,33	3,29					2,77	0,23									0,57			
Abondance totale		17,14	12,24	34,063	0	111,69	10,31	4,55	10,05	0	6,5746	17,77	29,27	1,99	0	13,496	7,5	3	102,8	0	80,749	10,44	0	27,08	0	0	7	0,57	5,7	0	7,0428

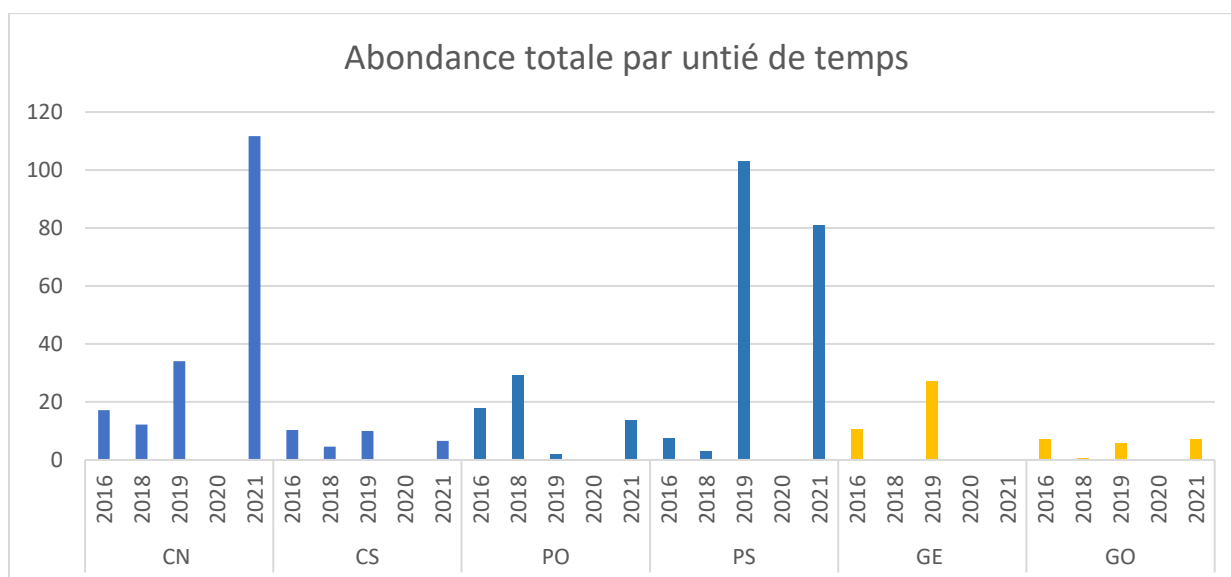


Figure 45. Variation spatiale des abondances par année de suivi par caméra fixe

L'étude de la richesse spécifique ne montre pas de tendance homogène au cours du temps (Figure 46). L'année 2019 est la plus riche pour les stations Cousanğa Nord avec 11 espèces, Porquières Sud avec 15 espèces et Guérites Est avec 12 espèces. Sur la station de Porquières Ouest, le nombre d'espèces identifiées diminue au cours du temps. Les stations sont globalement plus riches au sein de la RMCP que sur les stations témoins.

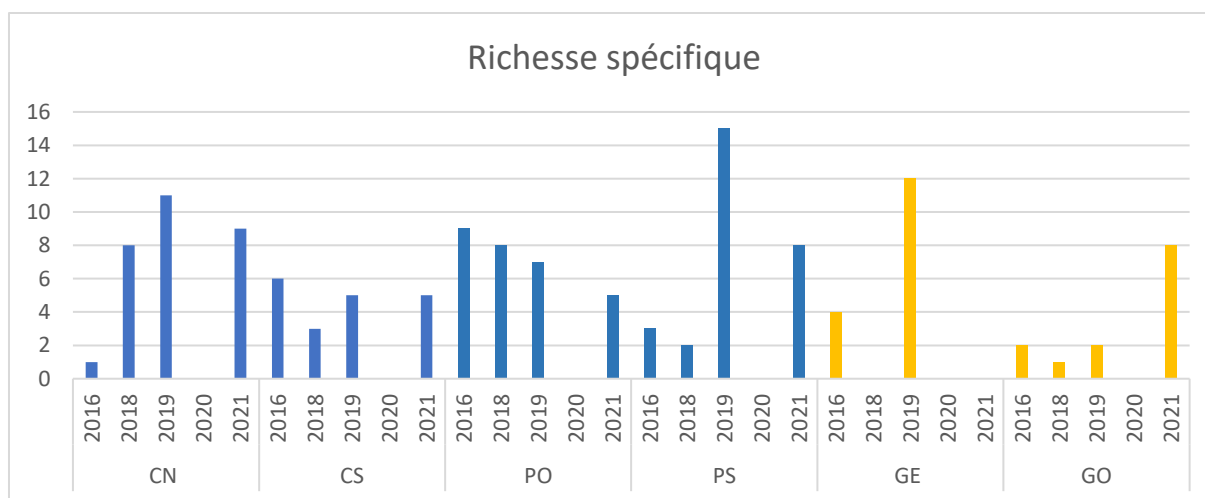


Figure 46. Évolution de la richesse spécifique sur les stations suivies par caméra fixe





Figure 47. Photos sous-marines sur la zone de Porquières, en réserve intégrale lors du suivi de 2019, conditions environnementales optimum avec une visibilité de 10m.

Les observations par caméra fixe révèlent une grande hétérogénéité entre les stations de suivis, tant au niveau spatial que temporel.

On observe néanmoins une augmentation globale tant en abondance qu'en richesse spécifique, au niveau de Porquières Sud et Cousança Nord.

5.1.2.2. Suivi sur les récifs artificiels

5.1.2.2.1. Analyse spatiale de la biodiversité ichthyologique, campagne 2021

Pour chaque récif, deux comptages ont été effectués. Les valeurs du Tableau 17 de synthèse des effectifs correspondent aux données d'un seul comptage pour chaque récif. Le suivi annuel des populations ichthyologiques sur les récifs artificiels est directement influencé par une faible visibilité. Au total, 380 individus ont été comptabilisés sur l'ensemble des récifs situés dans la réserve et hors réserve.

Les moyennes d'abondances sur les récifs de la réserve et les récifs hors réserve (Figure 48) montrent une abondance moyenne supérieure sur les récifs de la réserve (120 ± 117 individus contre 7 ± 8). Les mêmes types de structures sont prospectées dans la réserve et en dehors, pour chaque cas, deux structures de type « cube » et une structure de type « buse » ont été inventoriées. La forte valeur de l'écart-type provient en partie des bancs de pageot acarné (*Pagellus acarne*) et de bogue (*Boops boops*) observés.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Tableau 17. Synthèse des effectifs par récif pour le suivi de 2021

ESPECE PAR FAMILLE	NOM VERNACULAIRE	R1	r1	r9	HR6	HR4	HR1	Total par espèce
		Cube	Buse	Cube	Cube	Cube	Buse	
		Réserve			Hors réserve			
POISSONS								
BLENNIIDAE								
Lipophrys trigloides	Blennie trigloïdes							0
Parablennius rouxi	Blennie de roux	2			1			3
Parablennius gattorugin	Cabot	1						1
CONGRIDAE								
Conger conger	Congre							0
HAEMULIDAE								
Pomadasys incisus	Grondeur métis	40						40
LABRIDAE								
Ctenolabrus rupestris	Rouquié							0
Labrus bimaculatus	Coquette							0
Labrus merula	Labre merle			1				1
Symphodus doderleini	Crénilabre de Doderlein							0
Symphodus mediterrane	Crenilabre	2		1	5			8
Symphodus roissali	Symphodus roissali							0
Symphodus tinca	Crénilabre paon	2		3				5
Centrolabrus melanocen	Crénilabre à queue noire	2		4				6
MORONIDAE								
Dicentrarchus labrax	Loup					4		4
MULLIDAE								
Mullus surmuletus	Rouget de roche	5						5
GADIDAE								
Phycis phycis	Mostelle de roche	1		1	3			5
Trisopterus luscus	Tacaud	14						14
POMACENTRIDAE								
Chromis chromis	Castagnole	2		10				12
SCORPAENIDAE								
Scorpaena scrofa	Chapon			3				3
Scorpaena notata	Petite rascasse rouge	5	1	1				7
Scorpaena porcus	Rascasse brune	5	2	3	4			14
SERRANIDAE								
Serranus cabrilla	Serran chevrette	1	1	3	2			7
Serranus scriba	Serran écriture	2	2	2				6
SPARIDAE								
Boops boops	Bogue	10		100				110
Diplodus sargus	Sar commun			2				2
Diplodus annularis	Sparaillon	3						3
Diplodus vulgaris	Sar à tête noire			3		1		4
Diplodus puntazzo	Sar à museau pointu	2						2
Pagellus acarne	Pageot blanc	10		100				110
Sparus aurata	Daurade royale							0
Spicara maena	Mendole			2				2
CRUSTACES								
Palinurus elephas	Langouste rouge	2	1	1		1		5
Homarus gammarus	Homard européen							0
Necora puber	Etrille commune	1						1
MOLLUSQUES								
Octopus vulgaris	Pieuvre commune							0
Total par récif		112	7	240	15	6	0	380

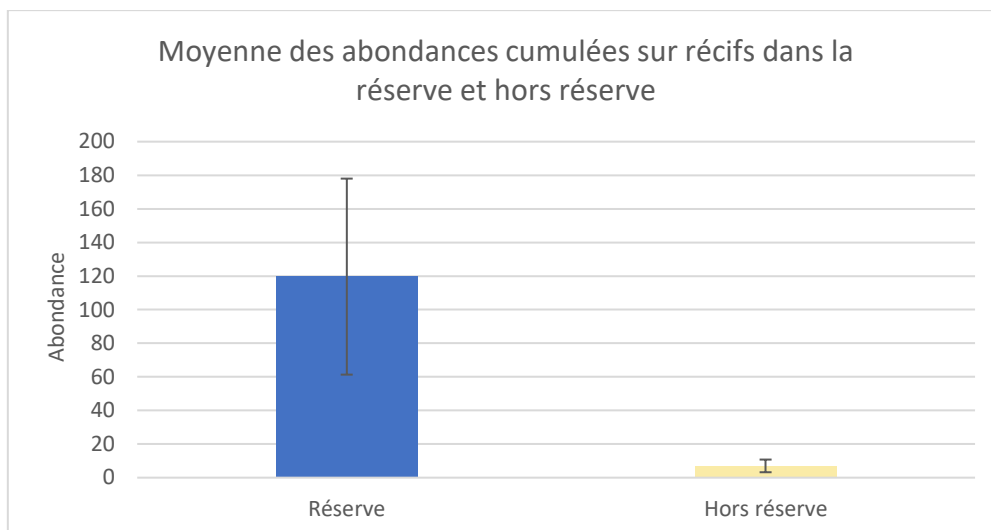


Figure 48. Moyenne d'abondance de l'ichtyofaune dans la réserve et hors réserve

L'analyse des abondances par récifs montrent en effet que le récif r9, situé dans la réserve, présente des valeurs supérieures aux autres récifs (Figure 49). Toutefois, les bancs de pageot blanc (*P. acarne*) et de bogue (*B. Boops*) semblent biaiser l'analyse, c'est pourquoi, l'abondance pour chaque récif est recalculée sans tenir compte de ces bancs (Figure 50).

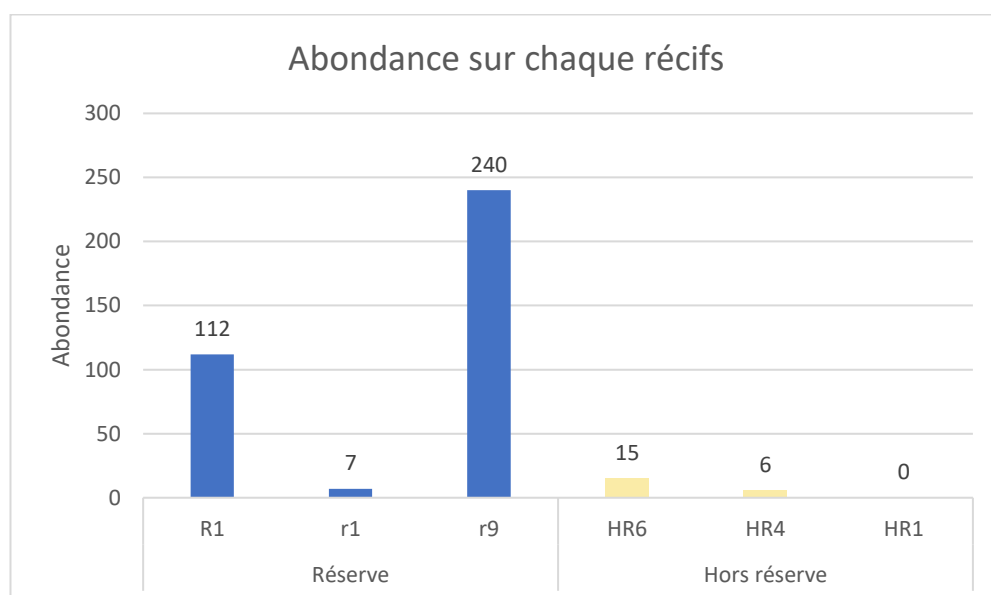


Figure 49. Abondance totale par récif situé dans la réserve (R1, r1, r9) ou en dehors de la réserve (HR6, HR4, HR1)

L'abondance est nettement plus importante sur les récifs de type « cube » R1 et r9 de la réserve (Figure 50).

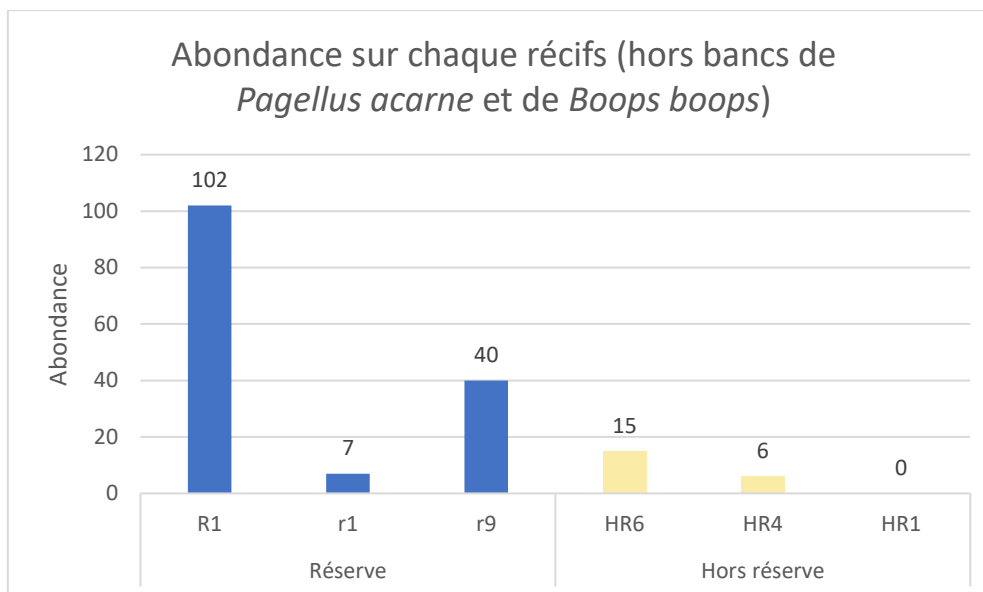


Figure 50. Abondance totale par récif situé dans la réserve (R1, r1, r9) ou en dehors de la réserve (HR6, HR4, HR1) sans tenir compte des bancs de *Pagellus acarne* et de *Boops boops*.

La richesse spécifique moyenne des récifs à l'intérieur de la réserve ($14,00 \pm 7,94$) est nettement supérieure à celle des récifs hors réserve ($2,67 \pm 2,52$) (Figure 51). De plus, les récifs r1, et HR1 de type « buse » présentent des richesses et des abondances plus faibles que les récifs de type « cube » situés dans les mêmes zones.

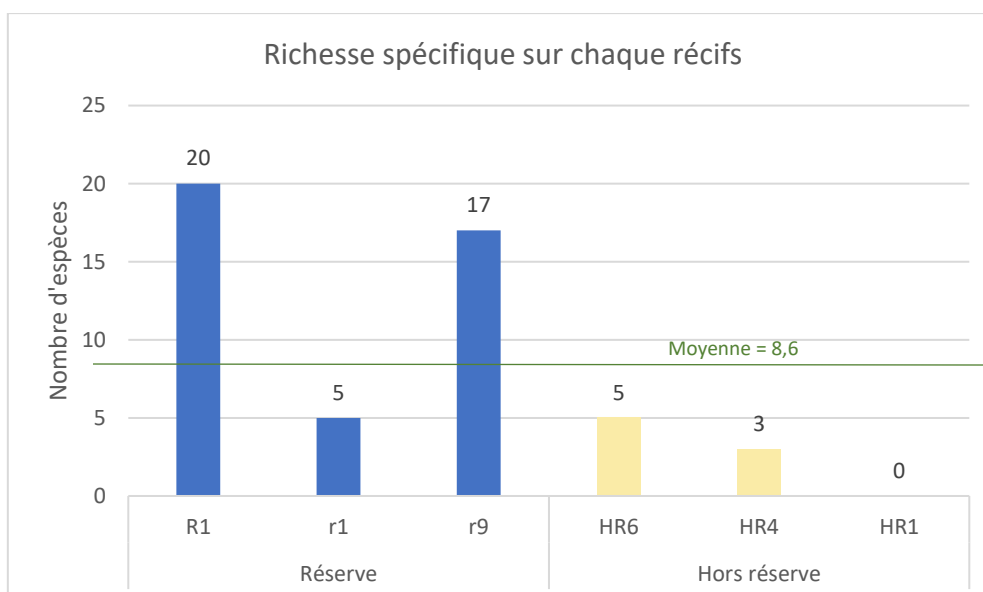


Figure 51. Richesse spécifique sur les récifs de la réserve (R1, r1 et r9) et hors réserve (HR6, HR4 et HR1) en 2019. La moyenne de la richesse spécifique des récifs situé dans la réserve est de $14,00 \pm 7,94$ et la moyenne de la richesse spécifique des récifs situé hors de la réserve est de $2,67 \pm 2,52$, la moyenne de la richesse spécifique globale est représentée par la droite verte.

Les indices de diversité (indice de Shannon) et d'équitabilité (indice de Piélou) montrent que le récif R1, situé dans de la réserve, est le plus diversifié et le plus équilibré en terme d'ichtyofaune (Figure 52). Les récifs de type « buse » situés à l'intérieur et à l'extérieur de la réserve (r9 et HR1) sont les moins diversifiés et équilibrés. Les autres récifs de type « cube » (r1, HR6 et HR4) présentent des indices de diversité et d'équitabilité similaires.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

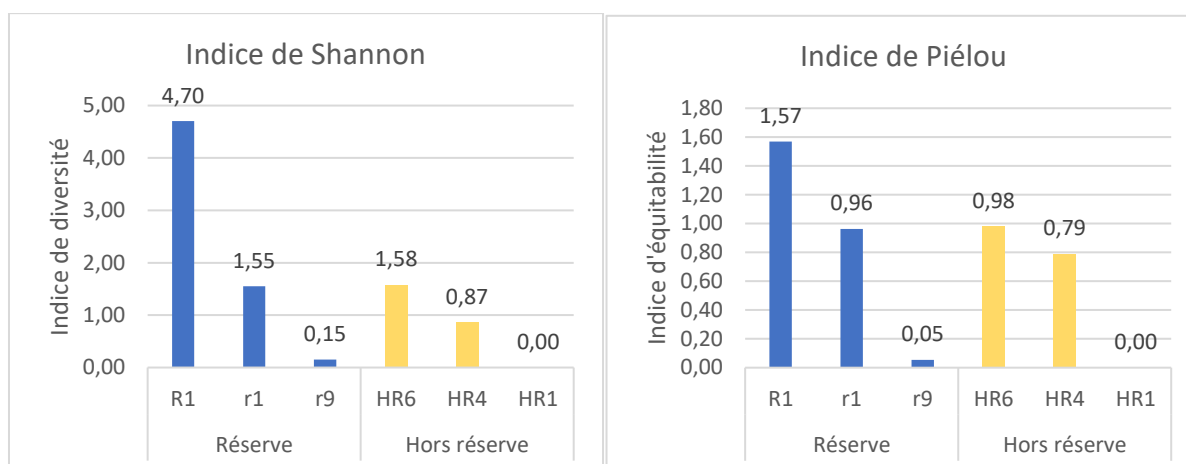


Figure 52. Indice de Shannon et de Pielou sur les récifs de la réserve (R1, r1 et r9) et hors réserve (HR6, HR4 et HR1)

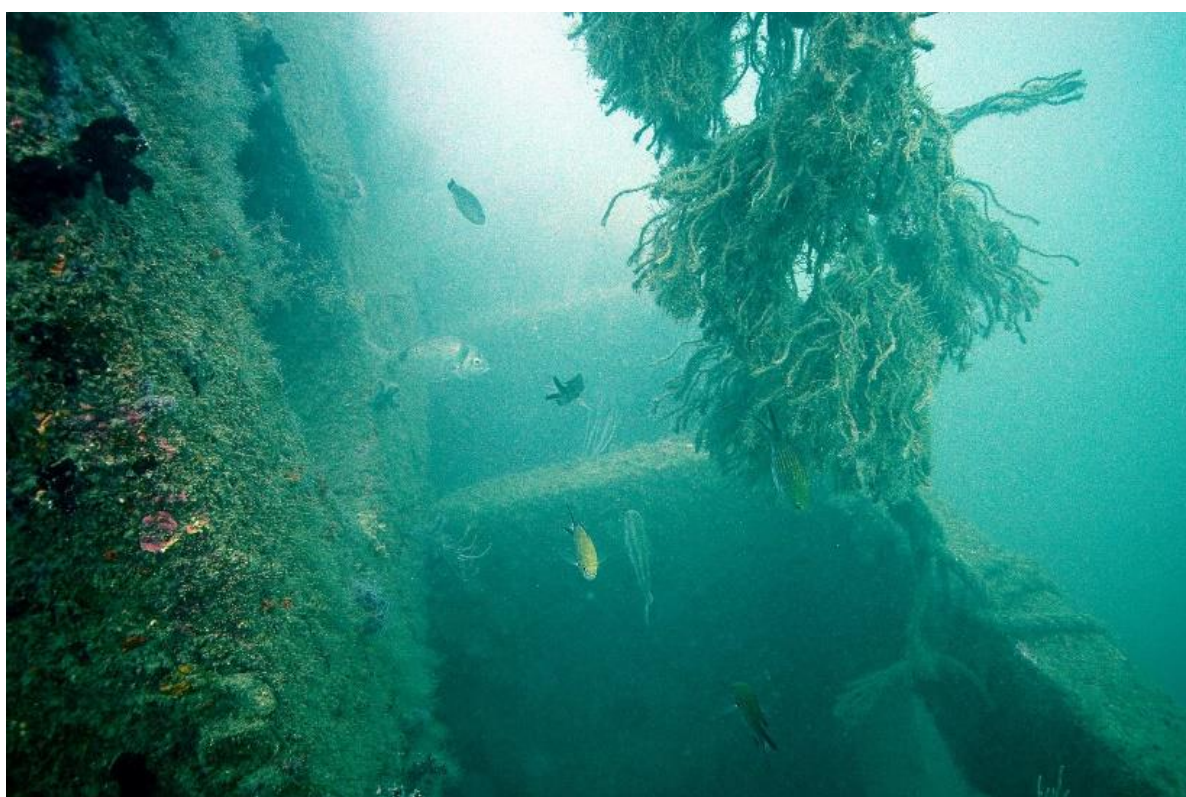


Figure 53. Sar à tête noire (*Diplodus vulgaris*) sur un le récif R1 à peine détectable en raison de la faible visibilité lors du suivi de 2021.



Figure 54. Clichés pris sur le récif R1 lors du suivi de 2021. En haut, une langouste rouge, *Palinurus elephas*, en bas à gauche, une mostelle de roche, *Phycis phycis*, cachée entre deux parois du récif, en bas à droite, une rascasse brune, *Scorpaena porcus*.

En 2021, malgré une faible visibilité, l'abondance des récifs situés dans la réserve est supérieure à ceux situés en dehors de la réserve (en moyenne, 120 ± 117 individus en réserve contre 7 ± 8 individus hors réserve). Le récif R1, situé au cœur de la réserve, présente l'abondance la plus importante parmi tous les récifs.

Les récifs de la réserve présentent une richesse spécifique supérieure à celles des récifs hors réserve (moyenne respectives $14,00 \pm 7,94$ et $2,67 \pm 2,52$ espèces).

Les récifs de type « cube » présentent des indices de diversité et d'équitabilité supérieurs aux récifs de type « buse ». Parmi eux, le récif R1 située dans la réserve est le plus équilibré et diversifié.

5.1.2.2.2. Analyse temporelle de la biodiversité ichthyologique sur les récifs depuis 2016

L'étude temporelle de la biodiversité ichthyologique sur les récifs de la réserve et en dehors de la réserve a été réalisée pour les différentes années de suivi : août 2016, 2018, 2019, 2020 et 2021. Le total des abondances par récif et par année de suivi est présenté Tableau 18.

L'analyse des évolutions temporelles de l'abondance ichthyologique sur les différents récifs est présentée en Figure 55. Les récifs R1 en 2020, du r9 en 2019 et du HR6 en 2018 présentent des abondances largement supérieures aux autres. Elles sont influencées principalement par des espèces mobiles et grégaires, comme la bogue (*Boops boops*), la castagnole (*Chromis chromis*), le pageot blanc (*Pagellus acarne*) dont la présence sur un site donné est un phénomène aléatoire. Les abondances totales sont recalculées en les excluant de chaque station (Figure 56).

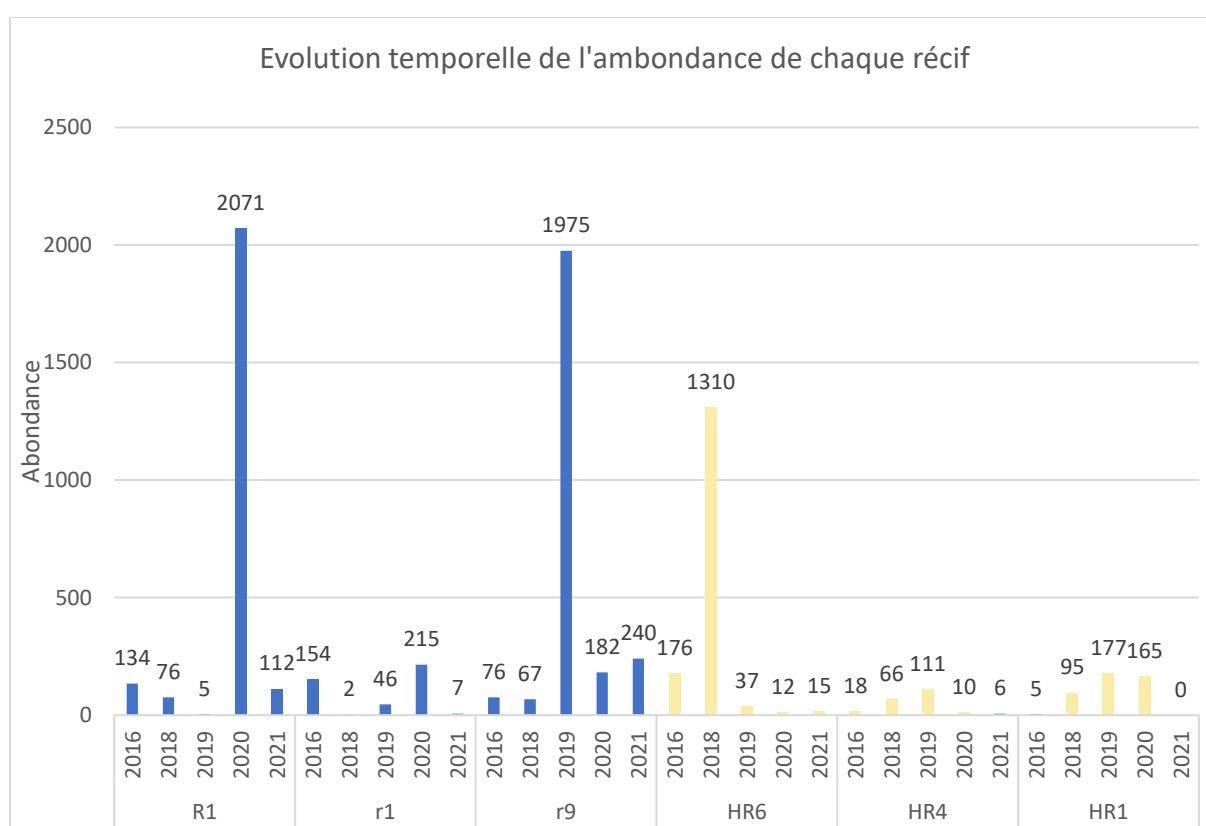


Figure 55. Évolution temporelle des abondances de chaque récif

Aucune tendance uniforme d'évolution de l'abondance n'est observable sur les récifs et ce indépendamment du fait qu'ils soient situés dans la réserve ou à l'extérieur de la réserve (Figure 56). Le récif HR6 montre une diminution des abondances totales au cours des différentes années de suivi. Les abondances du récif R1 situé au cœur de la réserve, augmentent depuis 2019, passant de 5 à 154 individus en 2019. L'année 2019, est la plus abondante pour les récifs r9, HR4 et HR1.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Tableau 18. Synthèse des effectifs sur les récifs artificiels pour les différentes années de suivi

ESPECE PAR FAMILLE	NOM VERNACULAIRE	R1					r1					r9					HR6					HR4					HR1					
		2016	2018	2019	2020	2021	2016	2018	2019	2020	2021	2016	2018	2019	2020	2021	2016	2018	2019	2020	2021	2016	2018	2019	2020	2021	2016	2018	2019	2020	2021	
POISSONS																																
BLENNIIDAE																																
Blennius ocellaris	Blennie papillon																															
Lipophrys trigloides	Blennie trigloïdes						1																									
Parablennius rouxi	Blennie de roux	2																														
Parablennius gattorugine	Cabot	1				1	2																									
HAEMULIDAE																																
Pomadasys incisus	Grondeur métis				50	40				100					10																	
CARANGIDAE																																
Trachurus mediterraneus	Chinchard													20																		
CONGRIDAE																																
Conger conger	Congre				1								1						1											1	2	2
GADIDAE																																
Trisopterus luscus	Tacaud	25	35			14																										
Phycis blennoides	Mostelle de vase																															
Phycis phycis	Mostelle de roche		3			1	1			1			1		1	1			2	2	1	3				1				3	1	
GOBIIDAE																																
Gobius cruentatus	Gobie à bouche rouge																															
Gobius minutus	Gobie des sables																		1													
Pomatoschistus sp.		100					150					50					150		50	17											100	
HAEMULIDAE																																
Pomadasys incisus	Grondeur métis	2																														
LABRIDAE																																
Labrus merula	Labre merle																															
Coris julis	Girelle											3			2	1	1															
Symphodus melanocercus	Crénilabre à queue noire											1																				
Ctenolabrus rupestris	Rouqué				2	2				1																						
Labrus bimaculatus	Labre merle																															
Symphodus doderleini	Crénilabre de Doderlein																															
Symphodus mediterraneus	Crenilabre																															
Symphodus roissali	Symphodus roissali					2																										
Symphodus tinca	Crénilabre paon					2																										
MORONIDAE																																
Dicentrarchus labrax	Loup		1		2					9				1	5				1						3	1		4		13	2	40
MULLIDAE																																
Mullus surmuletus	Rouget de roche				2	5											1												1	2		2
POMACENTRIDAE																																
Chromis chromis	Castagnole				2					15			10	5	1000	30	10															10
SCORPAENIDAE																																
Scorpaena scrofa	Chapon		1							3			2			5	3		1						1			1		5	1	7
Scorpaena natata	Petite rascasse rouge	2	2			1	5	3				1	5	3		7	1	3	2	2	2		1	1			2		1	1	1	
Scorpaena porcus	Rascasse brune			1	2	5			1			2	3	6		5	3	2		8		4			1		1		1	5		
SERRANIDAE																																
Serranus scriba	Serran écriture			4		1				4		2			2		2		4											3		
Serranus cabrilla	Serran chevrette	1			2	2			1	1	1	1	4		2	3		3	3	5	1	2		1			2	1		3		3
SPARIDAE																																
Oblada melanura	Oblade																															
Boops boops	Bogue														25																	
Diplodus sargus	Sar commun		2			10									200		100															
Diplodus annularis	Sparailon	1	25			3			1	9	72			1		300	2	1	4	50												
Diplodus vulgaris	Sar à tête noire		2								10	11				100	3			2												
Diplodus puntazzo	Sar à museau pointu												1			300	2			13							1					
Pageotus acarne	Pageot acarne																															
Sparus aurata	Daurade royale																															
Spicara maena	Mendole																															
Scombridés																																
Sarda sarda	Pélamide																															
CRUSTACES																																
Palinurus elephas	Langouste rouge		5			1	2				1		1	6	5		1	1	4	1	1			1	5	3	1	1		8	3	1
Homarus gammarus	Homard européen																														1	
Necora puber	Etrille commune					1							1		2	1		3													5	
MOLLUSQUES																																
Octopus vulgaris	Pieuvre commune																															1
Total par récif et par année		134	76	5	2071	112	154	2	46	215	7	76	67	1975	182	240	176	1310	37	12	15		18	66	111	10	6	5	95	177	165	0

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

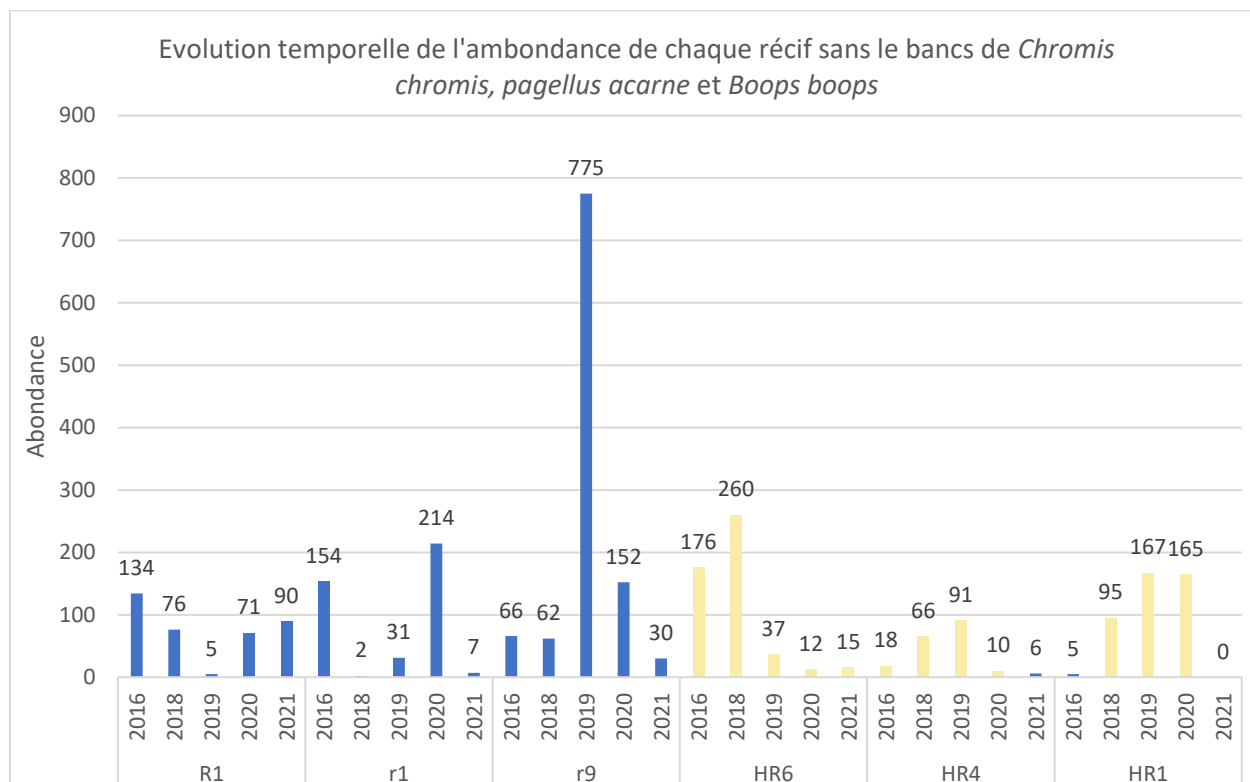


Figure 56. Évolution temporelle des abondances de chaque récif sans les bancs de *Chromis chromis*, *Boops boops* et *Pagellus acarne*.

L'évolution temporelle des abondances cumulées dans la réserve (Figure 57) montrent une abondance maximale en 2019, due à l'augmentation importante constatée sur le récif r9. Sur l'ensemble des récifs hors réserve, on observe l'abondance maximale lors des comptages de 2018, due à la présence d'un banc de plus de 1000 pageots acarne (*Pagellus acarne*) sur le récif HR6. Aussi, à partir de 2019, les abondances cumulées des récifs situés dans la réserve sont plus abondantes que celles des récifs hors réserve. Enfin, les abondances de l'année 2021 sont les plus faibles. Elles sont directement influencées par une mauvaise visibilité lors des comptages dans et en dehors de la réserve.

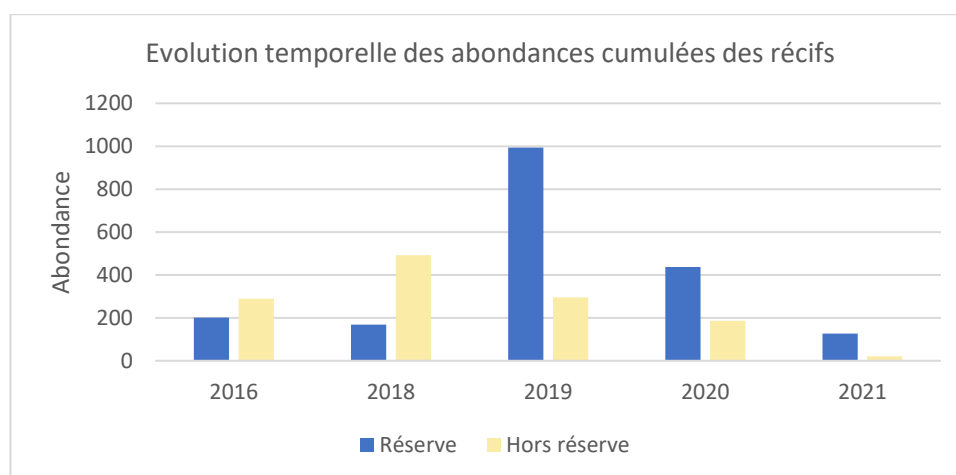


Figure 57. Évolution temporelle de l'abondance totale des récifs de la réserve et hors réserve

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

La richesse spécifique des récifs artificiels tend globalement à augmenter au cours du temps, sauf pour le récif HR6 (Figure 58). Au sein de la réserve, la richesse du récif R1 augmente de 16 espèces sur les 5 années de suivis et celle du récif r1 est multiplié par 6 entre 2016 et 2020. Le nombre d'espèce présente sur les récifs HR1 et HR4, situés à l'extérieur de la réserve, tend à augmenter jusqu'en 2020. Seule la richesse spécifique du récif HR6 situé à l'extérieur de la réserve tend à diminuer avec un maximum atteint de 17 espèces en 2018, contre 5 en 2021.

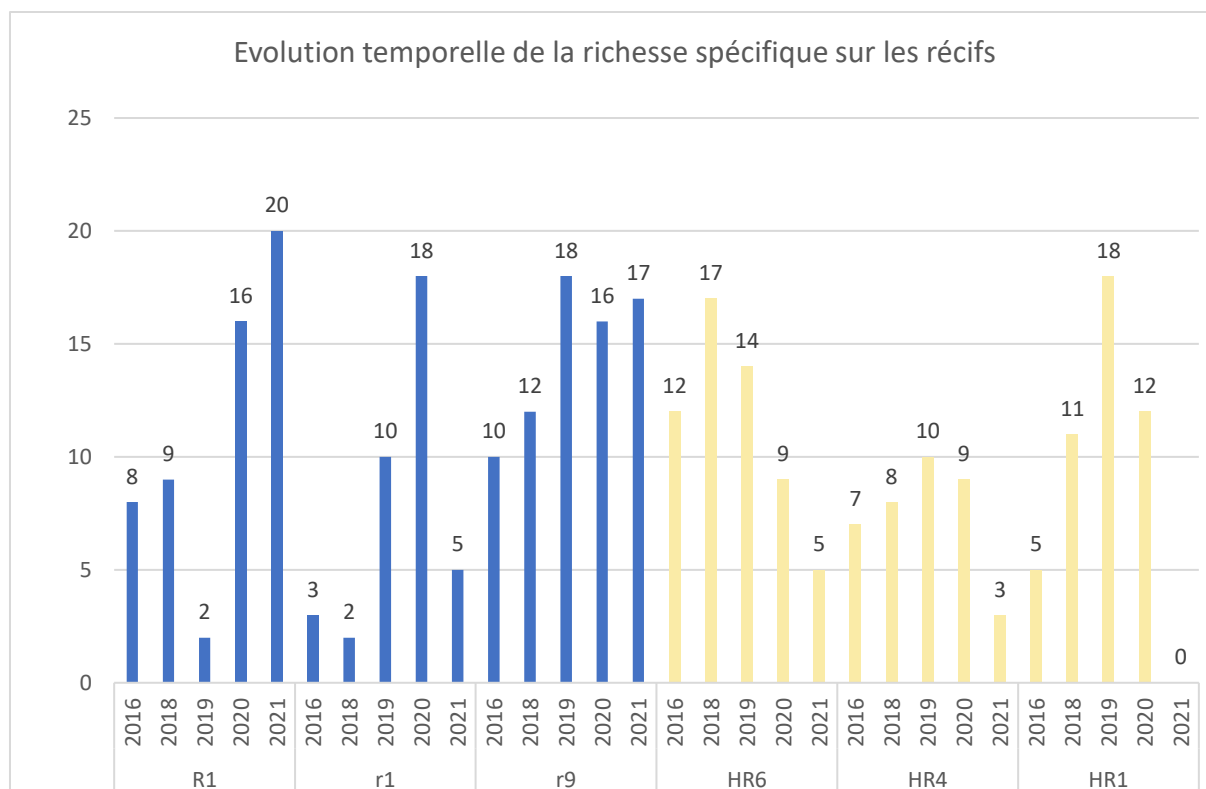


Figure 58. Richesse spécifique des récifs artificiels de la réserve et hors réserve pour les 3 années de suivi

Le calcul des indices de diversité de Shannon sur les récifs artificiels pour les 5 années de suivi ne présentent aucune tendance uniforme (Figure 59). Les indices des récifs r1 et r9, situés au sein de la réserve présentent un optimum en 2018 et 2019 puis se stabilisent. L'indice de diversité de Shannon sur les récifs R1 et HR4 semblent augmenter au cours du temps. Enfin, l'indice du récif HR6, situé hors réserve, croît jusqu'à atteindre un optimum en 2019 puis diminue.

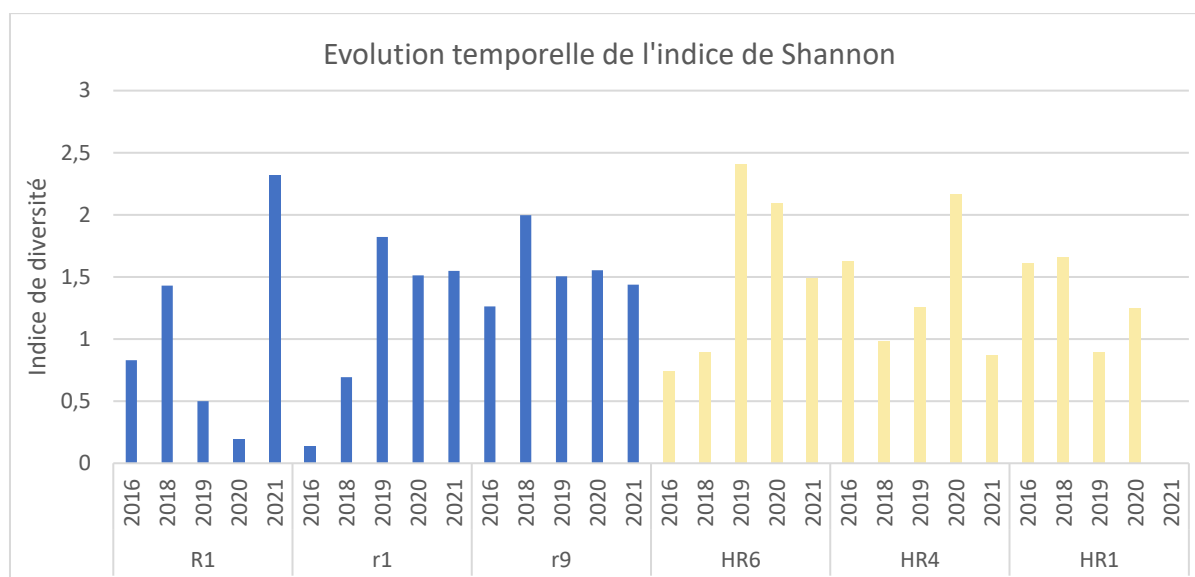


Figure 59. Indice de Shannon (diversité) des récifs artificiels depuis 2016

Les calculs des indices d'équitabilité de Piélou sur les récifs artificiels pour les 5 années de suivi ne montrent pas les mêmes tendances selon les récifs (Figure 60). Les indices des récifs R1 et HR4 augmentent au cours du temps. En revanche, le récif HR1, situé en dehors de la réserve présente une diminution de l'indice d'équitabilité au cours du temps. Enfin, les indices du récif r9 situé dans la réserve et du récif HR6 situé en dehors de la réserve sont stables depuis 2019.

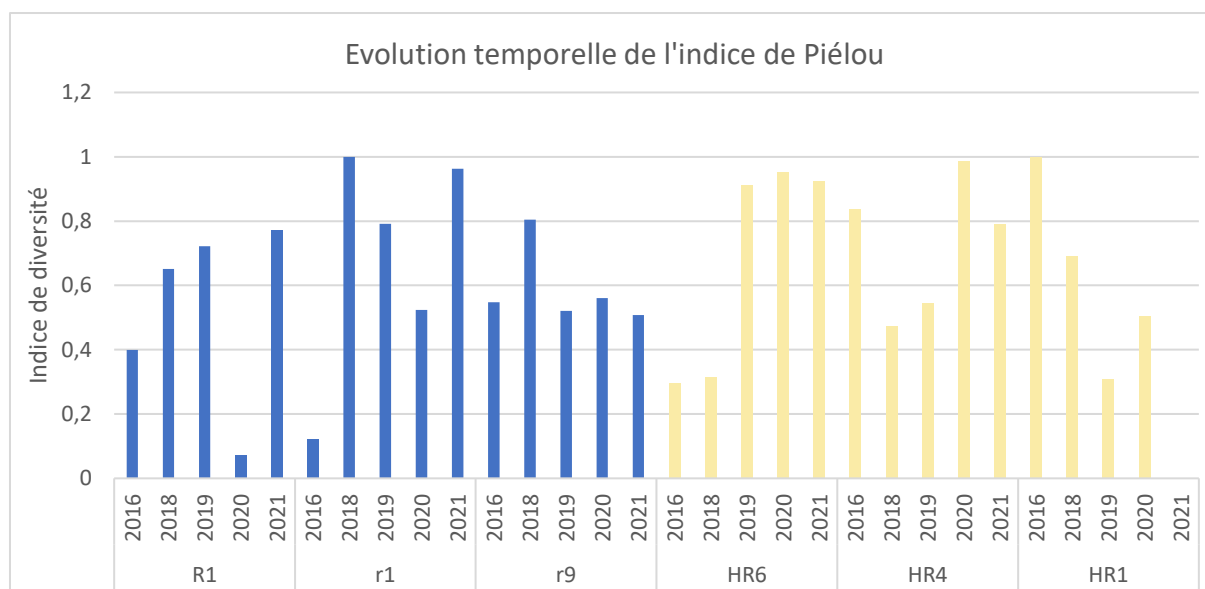


Figure 60. Indice de Piélou (équitabilité) des récifs artificiels depuis 2016

Un dendrogramme des populations ichtyologiques sur les récifs pour chaque année de suivi (2016, 2018, 2019, 2020, 2021) a été réalisé. Il permet de visualiser les similitudes dans les assemblages d'espèces entre les différents récifs et lors des différentes années de suivi. Trois groupes sont clairement distincts :

- Un groupe constitué des récifs R1 lors du suivi de 2019 et r1 lors du suivi de 2018,
- Un groupe constitué uniquement des récifs suivis en 2016,

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

- Un troisième groupe très hétérogène constitué de tous types de récif (cube ou buse), de toutes années de suivi (2016, 2018 ou 2019) et situé dans la réserve ou en dehors.

Ce résultat suggère que la répartition des populations ichthyologiques n'est pas dépendante d'un type de récif ou d'une localisation (réserve, hors réserve). En revanche, on observe un clivage temporel entre le suivi de 2016 et les suivis de 2018 et 2019, suggérant une évolution dans la distribution des peuplements ichthyologiques entre l'état zéro avant la mise en place de la réserve et les suivis de 2018 et 2019 après la mise en place de la réserve.

Les études spatiales et temporelles des populations ichthyologiques sur les récifs artificiels depuis 5 ans confirment les résultats observés depuis le début des suivis de la RMCP, à savoir des abondances et une diversité supérieure sur les récifs situés dans la réserve. Le dernier suivi, en 2021 ne permet pas de confirmer l'évolution temporelle observée depuis le début du suivi en raison des conditions environnementales défavorables (visibilité).

5.1.2.3. Suivi des fonds meubles par caméra tractée

La campagne de suivi des fonds meubles par caméra tractée a débuté en novembre 2021. En raison de très mauvaises conditions météorologiques et dans un souci d'obtenir des rendus vidéo interprétables, nous avons souhaité refaire une campagne de suivi des fonds meubles en décembre 2021.

A cette occasion, une croche a endommagé notre système dès le début de la campagne ce qui a contraint les équipes à renoncer à cette seconde tentative.

De ce fait, les résultats ne sont pas présentés dans le présent rapport mais seront présentés dans un rapport ultérieur faisant l'objet d'un compte rendu supplémentaire dédié à l'étude des fonds meubles.

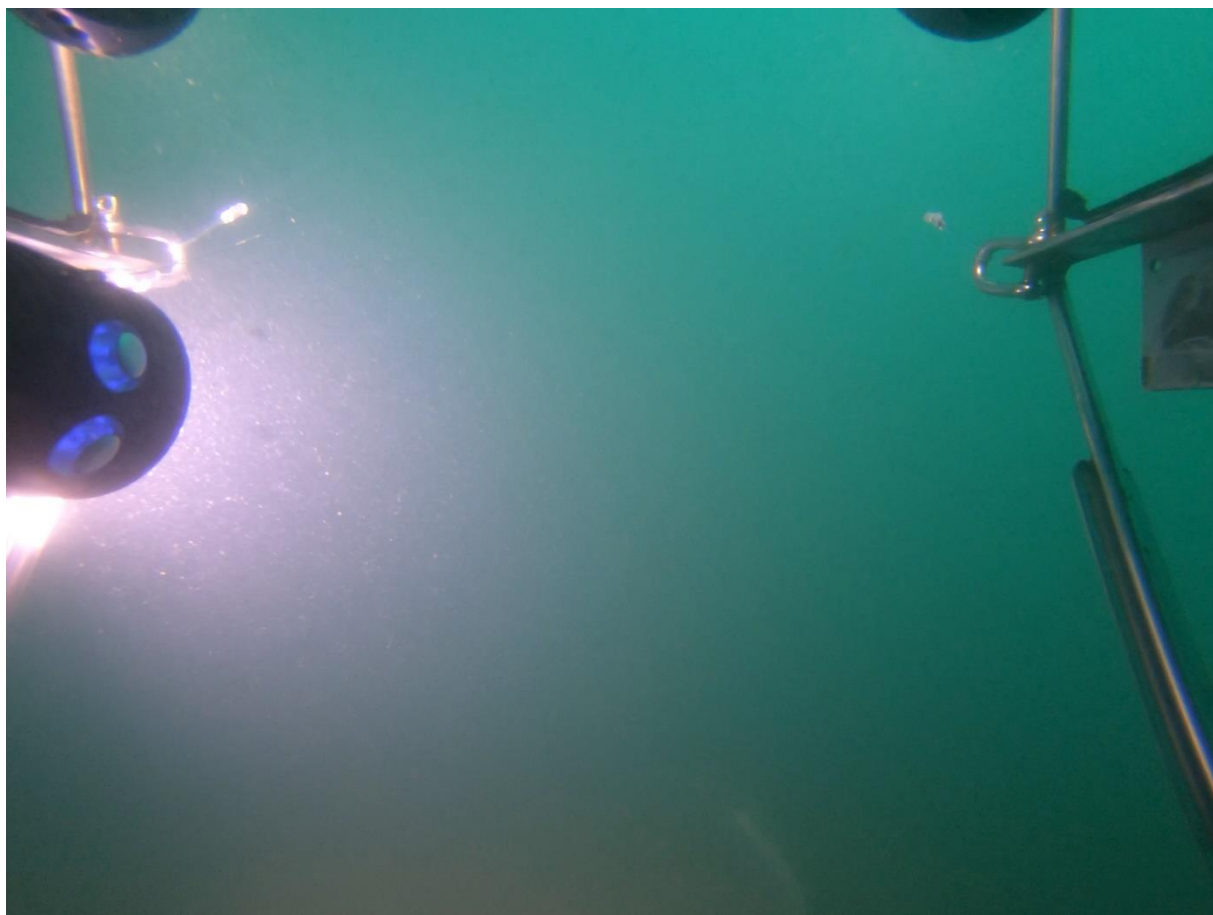


Figure 61. Image très turbide et ininterprétable lors de la campagne de suivi des fonds meubles par caméra tractée en novembre 2021.

5.2. Suivi complémentaire (programme de science participative de la commission biologie FFESSM)

5.2.1.1. Résultats

Les indices d'abondance des familles benthiques pour le suivi de 2021 sont présentés ci-dessous. La famille la plus abondante est celle des Echinodermes. Pour les végétaux, ce sont les codium en boule qui sont les plus observés.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

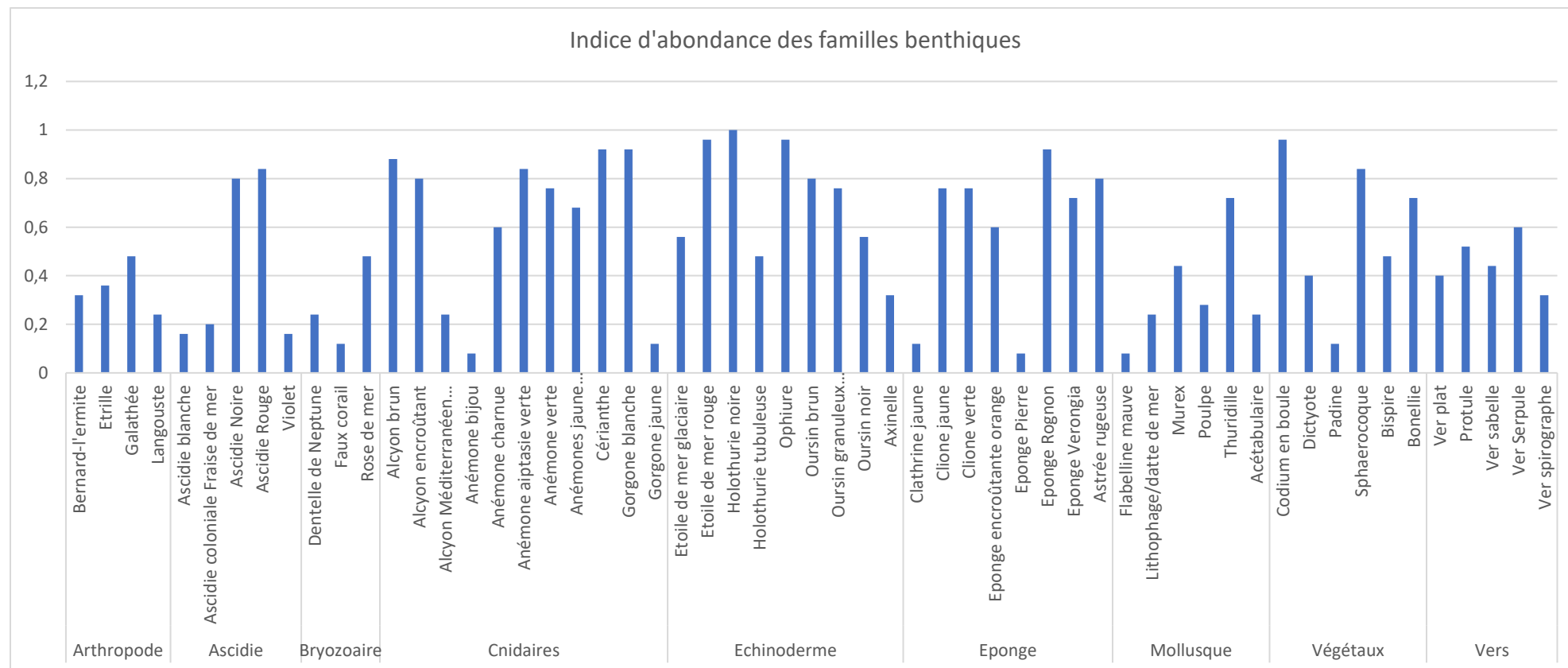


Figure 62. Indices d'abondance des familles benthiques calculés à partir des observations de présence/absences des espèces lors des suivis en plongée de la commission bio de la FFESSM

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasiennne

Les indices d'abondance des espèces de téléostéens sont présentés ci-dessous. Les espèces les plus observées pour le suivi de 2021 sont les castagnoles, les petites rascasses et les serrans chevrette.

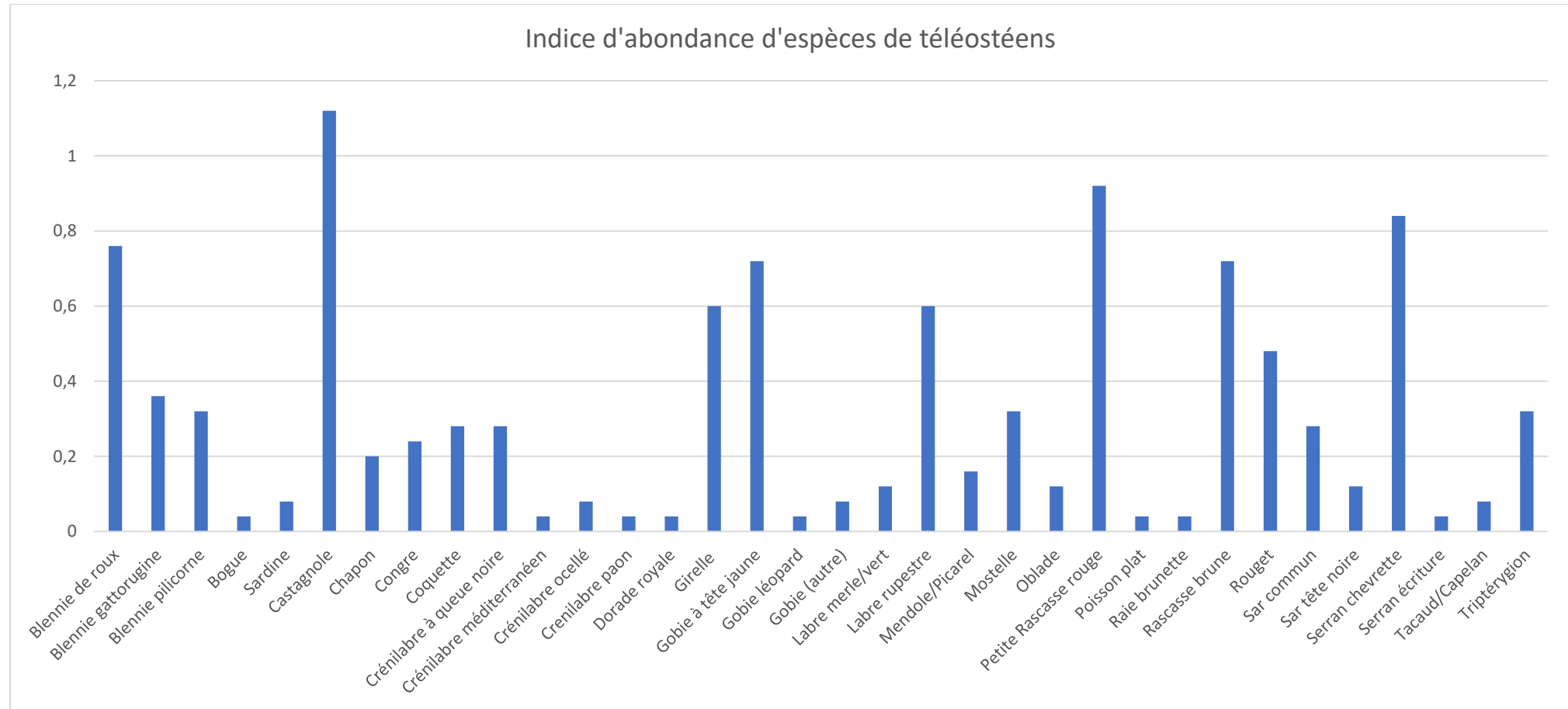


Figure 63. Indices d'abondance des familles ichthyologiques calculés à partir des observations de présence/absence des espèces lors des suivis en plongée de la commission bio de la FFESSM.

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Les synthèses des inventaires des différentes espèces ichthyologiques pour chaque année de suivi sont présentées dans le tableau et le graphe ci-dessous

Tableau 19. Synthèse des occurrences des différentes espèces de poisson pour chaque année de suivi en plongée

	2016	2018	2019	2020	2021
Apogon	0,13	0,00	0,00	0,00	0
Blennie de roux	0,00	0,00	0,59	0,00	0
Blennie gattorugine	0,74	0,64	0,45	0,50	0,76
Blennie pilicorne	0,39	0,68	0,00	0,55	0,36
Bogue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32
Chinchard	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Castagnole	0,96	0,95	0,90	1,68	0,08
Chapon	0,26	0,27	0,10	0,14	1,12
Congre	0,17	0,23	0,31	0,27	0,2
Coquette	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
Corb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28
Crénilabre à queue noire	0,04	0,00	0,00	0,00	0
Crénilabre méditerranéen	0,09	0,09	0,14	0,00	0,28
Crénilabre ocellé	0,17	0,05	0,00	0,05	0,04
Crenilabre paon	0,00	0,05	0,07	0,00	0,08
Denti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Dorade grise	0,09	0,18	0,00	0,00	0
Dorade royale	0,00	0,14	0,00	0,00	0
Girelle	0,57	0,68	0,66	0,73	0,04
Gobie	0,20	0,20	0,18	0,29	0,45
Hippocampe	0,04	0,00	0,00	0,00	0,08
Labre merle/vert	0,17	0,32	0,14	0,05	0
Labre nettoyeur	0,26	0,14	0,10	0,18	0,12
Labre rupestre ou Rouquié	0,65	0,77	0,72	0,50	0,6
Marbré	0,04	0,05	0,00	0,00	0
Mendole/Picarel	0,09	0,14	0,03	0,09	0,16
Mérou	0,04	0,00	0,00	0,00	0
Mostelle	0,35	0,14	0,24	0,14	0,32
Mulet	0,04	0,00	0,00	0,00	0
Murène	0,00	0,00	0,03	0,00	0
Oblade	0,17	0,14	0,21	0,23	0,12
Petite Rascasse rouge	0,70	0,95	0,76	0,86	0,92
Poisson plat	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Raie brunette	0,09	0,00	0,00	0,00	0,04
Raie torpille	0,04	0,00	0,00	0,00	0
Rascasse brune	0,74	0,91	0,72	0,68	0,72
Rouget	0,30	0,27	0,00	0,50	0,48
Sar commun	0,43	0,59	0,17	0,23	0,28
Sar tête noire	0,09	0,32	0,17	0,14	0,12
Saupe	0,13	0,09	0,00	0,00	0
Serran chevrette	0,87	0,95	1,00	0,95	0,84
Serran écriture	0,04	0,05	0,03	0,00	0,04
Tacaud/Capelan	0,39	0,36	0,28	0,14	0,08
Triptérygion	0,30	0,00	0,00	0,00	0,32
Moyenne	0,22	0,23	0,18	0,20	0,22

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

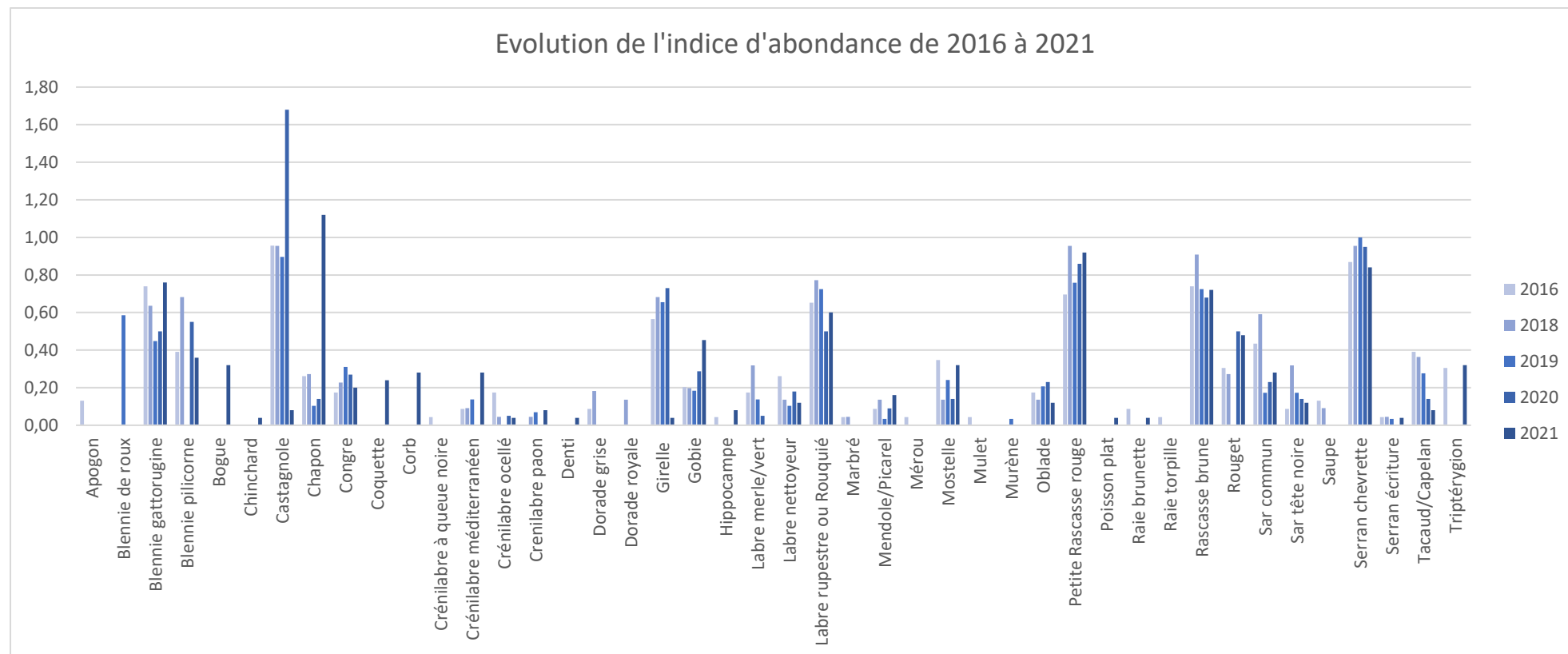


Figure 64. Evolution de l'indice d'abondance des espèces ichthyologiques 2016 à 2021.

Les observations remarquables sont une forte augmentation des indices d'abondance du chapon et des castagnoles pour les deux dernières années de suivi (2020 et 2021). Les autres espèces ichthyologiques ne montrent pas de variations très importantes entre les suivis de 2016 et de 2021.

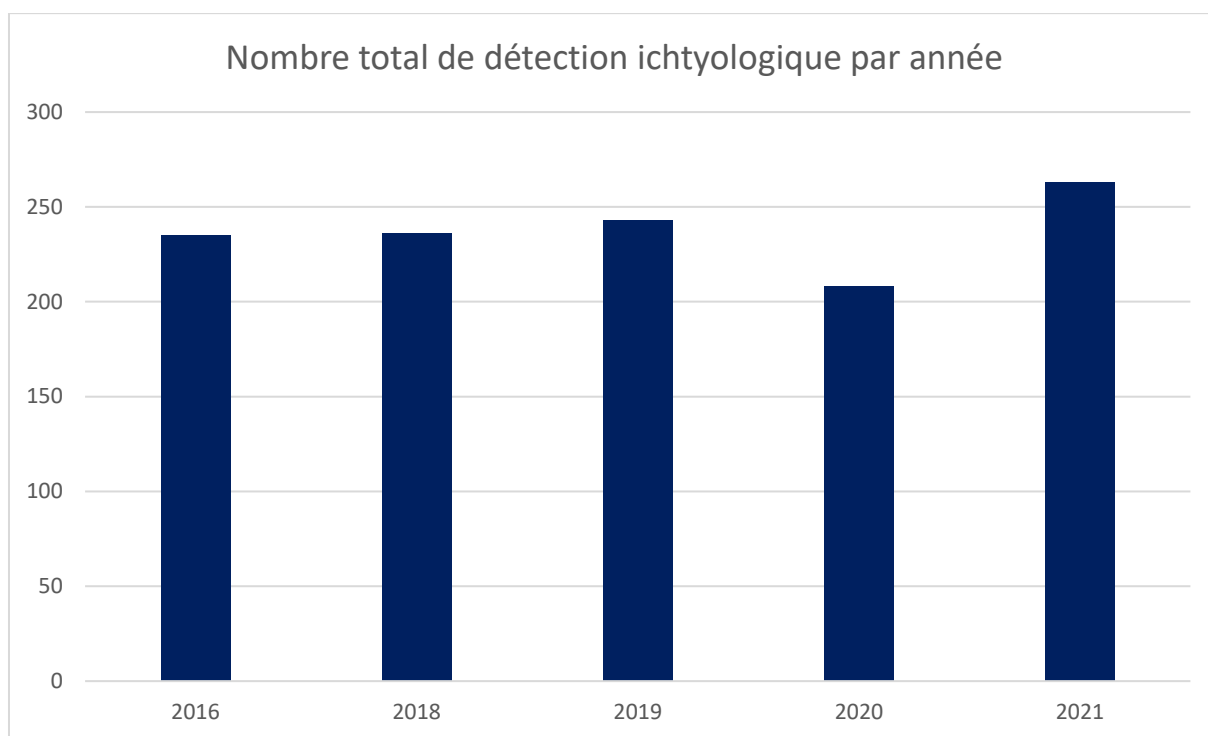


Figure 65. Evolution temporelle du nombre total de détection ichtyologique lors des inventaires en plongée de la FFESSM.

L'évolution temporelle du nombre total de détection ichtyologique lors des inventaires en plongée de la commission bio de la FFESSM montre une légère augmentation lors de la dernière année d'inventaire en 2021. Ces observations sont intéressantes car elles viennent confirmer les impacts des conditions météorologiques défavorables sur les comptages réalisés lors du suivi scientifique de 2021. L'augmentation des détections lors de la dernière année de suivi par la commission bio est encourageante et en accord avec les résultats obtenus par les suivis scientifiques.

Les résultats des suivis complémentaires réalisés par la commission biologique de la FFSSM permettent d'obtenir des tendances d'évolution temporelle de la présence des espèces benthiques et ichtyologique dans la zone de Porquières (zone de protection intégrale).

Ces résultats ont ainsi permis de compléter les données scientifiques tout au long des campagnes de suivi de la RMCP depuis le début du suivi.

6. Discussion

6.1. Suivi Comparatif de la biodiversité

6.1.1. Suivi sur les récifs artificiels

Les premiers récifs, immergés en 1999 puis plus tard en 2006 sur les fonds marins Palavasiens ont fait l'objet de plusieurs études sur le peuplement ichtyologique de récifs artificiels et leur rôle « colonisateur et attracteur » de biodiversité (Tessier, Francour & Lenfant ; 2015). La création de la RMCP comprenant 3 récifs artificiels dont 2 récifs de type cube et 1 récif de type buse a rendu possible l'étude de la potentialisation des effets de la mise en réserve de la zone sur les récifs de la réserve. Après 5 années d'étude et malgré des conditions environnementales souvent défavorables, les résultats témoignent de concentration ichtyologique supérieure sur les récifs de la réserve avec des diversités plus élevées également. Les résultats de ces suivis sont encourageants et méritent d'être poursuivis. Ils permettraient notamment des études plus engagées sur l'effet de potentialisation des récifs dans une zone de mise en réserve, comparé à des récifs de même type, immergés en même temps, sur des fonds identiques dans une zone témoin hors réserve.

6.1.2. Suivi sur le substrat rocheux

L'étude des suivis ichtyologiques sur les différentes stations de substrat rocheux depuis 2016 montrent une nette augmentation des abondances en 2019 et 2020 avec une année particulièrement exceptionnelle en 2019 en raison de conditions environnementales très favorables. Les études spatiales témoignent de zones plus abondantes et plus riches au sein de la réserve marine. Les effets de la réserve semblent particulièrement visibles sur les populations de sparidés mais pas seulement.

En 2021, malgré des conditions d'observation défavorables, les sars (*Diplodus vulgaris* et *Diplodus sargus*), le rouget (*Mullus surmuletus*), le serran (*Serranus cabrilla*) et la girelle (*Coris julis*) sont plus abondants dans la réserve. La dorade royale (*Sparus aurata*) est également plus représentée au sein de la zone de protection renforcée.

L'étude des tailles moyennes des espèces cibles, d'intérêt commerciales sont supérieures au sein de la réserve.

Les limites liées à la méthodologie de suivi ichtyologique sur transect en plongée sont connues (espèces effarouchées, espèces cavernicoles non détectées, problèmes de détection en cas de faible visibilité). C'est pourquoi les observations par caméra fixe sur les stations rocheuses de la réserve et sur les sites témoins depuis le début des suivis scientifiques ont été réalisées. Les analyses issues des prises vidéos ont permis de confirmer les observations faites en plongée. Les abondances en ichtyofaune sont supérieures dans les zones protégées, notamment sur les stations de Cousança Nord et Porquières Sud. Les résultats montrent également la prépondérance des sparidés dans les zones règlementées.

La valorisation scientifique des suivis réalisés depuis la création de la RMCP par un article de rang A en cours de soumission témoigne de l'intérêt de cette jeune réserve et de ces effets précoces sur les populations ichtyologiques.

Fort de son contexte initial de création, en relation privilégiée avec les pêcheurs professionnels de Palavas, la réserve marine est devenue un symbole de leur volonté à préserver les ressources halieutiques et la biodiversité de manière plus générale.

6.1.3. Suivi des espèces épibenthiques fixes

Concernant les espèces épibenthiques fixes, les 5 années de suivi scientifiques nous ont permis de constater la prépondérance de l'espèce *Eunicella singularis*, la gorgone blanche sur l'ensemble des stations inventoriées. Les stations les plus abondantes sont situées dans la réserve, ces observations sont en accord avec des effets positifs précoces de la mise en réserve sur des espèces benthiques caractéristiques des fonds de roche à coralligène du secteur d'étude telle que la gorgone blanche.

6.2. Évaluation de l'état de l'habitat dans la zone de plongée de Cousanço

L'étude de l'espèce indicatrice *Eunicella singularis* sur la zone autorisée à la plongée (site de Cousanço) et la zone sanctuaire (Porquières) a permis de mettre en évidence un phénomène de nécrose des individus par l'alcyon *Alcyonium acaule*, plus important sur le site fréquenté par les plongeurs.

Les suivis sur le site de Cousanço depuis le début de la mise en réserve et sur le site de la zone sanctuaire de Porquières depuis 2019 montrent des proportions de juvénile similaires sur les deux zones, inférieures à 30%. Le taux moyen de nécrose par spécimens adultes (supérieur à 10cm) est relativement faible pour les deux sites, inférieur à 10% pour Cousanço Sud et presque nul, 0,32, à Porquières Ouest.

Lors du dernier de 2021, les résultats ne montrent pas de différences des tailles des individus entre les deux sites.

Les études temporelles des populations de gorgones blanches (*Eunicella singularis*) sur le site de Cousanço Sud montrent une diminution de l'abondance (225 à 156 individus entre le suivi de 2016 et celui de 2021). Le maximum d'abondance est atteint en 2020 où la moitié de la population est représentée par des individus juvéniles. Ces résultats ne sont pas suffisants pour conclure quant à un quelconque effet de l'activité anthropique sur le site fréquenté par les plongeurs.

En revanche, l'étude sur le site témoin dans la zone sanctuaire de Porquières depuis 2019 semble conforter l'hypothèse selon laquelle les activités de plongée pourraient avoir un impact sur les populations de gorgones blanches. En effet, en 2019 et 2020, les individus étaient en moyenne plus grands sur la station sanctuaire de Porquières. Le taux de nécrose par individu était également supérieur sur le site de Cousanço. Ces tendances n'ont pas été confirmées lors du suivi de 2021.

6.3. Récapitulatif méthodologique

L'analyse globale des données scientifiques et complémentaires sur ces 5 dernières années ont permis de mettre en évidence des effets positifs sur la biodiversité benthique et ichtyologique de la Réserve Marine de la Côte Palavasienne. S'il s'agit de résultats précoces ils sont en tous les cas prometteurs et ils démontrent la qualité de la productivité naturelle des peuplements en place et des habitats naturels et artificiels auxquels ils sont associés.

Aussi, la **poursuite des suivis scientifiques et complémentaires** semble indispensable pour connaître l'évolution de cette jeune réserve et pouvoir confirmer les tendances observées sur les premières années de suivi surtout étant donné la variabilité induite par des conditions environnementales très irrégulières qui peuvent masquer une réalité bien plus favorable.

Ce suivi mené sur 5 années était très complet car, il incluait un « point zéro » et il a pu permettre d'appréhender l'ensemble des compartiments biotiques qu'ils soient directement exploités ou impactés par les activités anthropiques ou non :

- Peuplements ichtyologiques incluant les espèces à haute valeur commerciale (espèces cibles) des substrats naturels et artificiels,
- Peuplements méga-benthiques épigés de substrats durs (éponges, gorgones, oursins, etc...)
- Peuplements méga-benthiques épigés de substrats meubles (vérétilles, pennatules, sabelles,...)
- Espèces indicatrices d'érosions de substrats durs (gorgones blanches)
- Espèces indicatrices d'érosions de substrats meubles (vérétilles, pennatules, etc...)

Un panel de méthodes pertinentes, éprouvées ou en pointe, a été déployé pour ce suivi exemplaire :

- Comptages visuels en plongées sur habitats naturels et artificiels (poissons et mégafaune épigée),
- Quadrat permanents pour l'impact des ancrages sur habitats rocheux,
- Caméras fixes géoréférencées sur habitats rocheux,
- Caméras tractées géoréférencées pour les habitats de fonds meubles alentours,

Ce suivi de la RMCP a en outre encore permis en 2021, malgré le contexte de la crise sanitaire, d'impliquer des étudiants universitaires de niveaux bac+4 et bac+5 pour participer aux activités d'observations scientifiques de la RMCP. Cette interface RMCP, université et recherche scientifique, y compris publication scientifique, a pu être initiée grâce à la volonté et au réseau relationnel de P2A Développement. Ceci constitue un **levier important pour asseoir la crédibilité** de la RMCP, de ses gestionnaires avec la Prud'homie de pêche de Palavas-les-Flots.

7. Conclusion

Au regard des résultats obtenus depuis le premier suivi de 2016 et jusqu'au suivi à 5 ans de 2021 dans des conditions météorologiques difficiles et une visibilité très faible pour cette dernière année de suivi, La réserve marine de la côte palavasienne semble présenter des impacts positifs sur l'augmentation de la biodiversité.

Les conditions de visibilité exceptionnelle pour cette zone d'étude, soumise à une forte concentration de particules en suspension due au rejet du Rhône, lors du suivi de 2019, montre un biais important de l'évaluation de la biodiversité par les comptages en plongée dans des conditions de visibilité restreinte. Les résultats du suivi de 2019 sont très encourageants et témoignent d'une sous-estimation des comptages ichtyologiques réalisés lors des suivis de 2020 et 2021 en raison de la visibilité réduite.

L'indicateur « gorgone » montre pour la seconde année consécutive un impact du mouillage dans la zone de protection réglementée de Cousançà. Cet impact est visible dans les résultats mais peu décelable en observation en plongée. Ceci permet donc de démontrer l'utilité de tels indicateurs très sensibles et d'anticiper une éventuelle dégradation dans le futur. Ceci appelle peut-être une réflexion sur des dispositifs adaptés à l'ancrage des bateaux dédiés à l'activité plongée dans la zone.

Plusieurs solutions techniques sont à l'étude à P2A Développement fort des résultats obtenus pour le pilote REDIMAR (à l'initiative et à la charge de P2A Développement) qui a montré sa pertinence en termes de support à la biodiversité (poissons et crustacés). P2A encourage la concrétisation de cette expérimentation en un véritable démonstrateur en mesure de mettre en exergue les très importantes potentialités de ces équipements sur les récifs artificiels existants.

La RMCP est un site atelier sur lequel il serait possible d'étudier finement les impacts de la mise en réserve sur les récifs artificiels et de pouvoir comparer avec les autres récifs, d'architectures identiques et présents en dehors de celle-ci. C'est une configuration assez rare qui représente un intérêt important en termes de recherche scientifique fondamentale.

Le benthos semble plus abondant dans la RMCP, peut-être un biais par une taille moyenne plus grande car moins d'abrasion d'origines anthropiques, alors que la richesse spécifique (nombre d'espèces) ne montre pas de différences notables.

Pour les espèces de poissons, les abondances des espèces cibles sont en augmentation, les tailles moyennes de ces dernières également. Ce sont 2 indices forts d'une évolution en maturité de la zone.

Des résultats et des analyses sont en préparation, telles que les résultats obtenus auprès des pêcheurs professionnels amis aussi les observations de caméra tractées sur le benthos épigé de la RMCP et de ses alentours exposés aux activités.

Enfin, une publication scientifique de rang A va très prochainement être soumise sur les résultats observés sur l'évolution des espèces dites « cibles » donc exploitées ou recherchées dans le cadre de la pêche de loisir, c'est un élément très important à faire valoir dans le cadre à la participation à des réseaux spécialisé de type MEDPAN, pour les échanges avec les autorités maritimes, et pour l'implication des professionnels de la pêche .

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

La réserve marine de Palavas est une réserve jeune, pour autant les 5 années de suivis scientifique qui ont été engagés afin de suivre l'évolution de la biodiversité ont permis de montrer que les effets sont précoces. Malgré des difficultés au niveau des conditions météorologiques et de visibilité du site lié à sa géomorphologie, les résultats sont quand même encourageants et poussent bien évidemment à continuer le suivi de la mise en réserve de ce site. Par ailleurs, la poursuite des différents suivis scientifiques engagés depuis 5 ans semblent essentiels sur une période plus longue afin d'asseoir les résultats sur l'augmentation de la biodiversité. Par ailleurs, la mise en cantonnement de ce site est aussi d'intérêt halieutique puisqu'il permet au bout d'un certain nombre d'année de reconstituer le stock de poisson. Il sera très intéressant de réaliser des pêches scientifiques en parallèle afin de savoir si les stocks ont été reconstitués à l'intérieur de la réserve mais ces suivis permettraient également de connaître le périmètre d'influence du repeuplement en poisson autour de la réserve.

8. Bibliographie :

- Buisson B. Les activités rythmiques comportementales de la colonie de *veretillum cynomorium* (cnidaire pennatulidae) (I). Cahiers de Biologie Marine Tome XII. 1971. P. 11-48
- Charbonnel E, Serre C, Ruitton S, Harmelin J-G, Jensen A. Effects of increased habitat complexity on fish assemblages associated with large artificial reef units (French Mediterranean coast). ICES Journal of Marine Science. 2002;59:208-13.
- Francour P, Lenfant P, Louisy P. Approche de "l'effet Réserve" sur les poissons et de son évolution à long terme dans la Réserve Marine de Cerbère-Banyuls : comparaison 1997 - 2011. 2011.
- Grall J, Coïc N. Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier. 2006. p. 91.
- Halpern B, Warner R. Marine Reserves Have Rapid and Lasting Effects. Ecology Letters. 2002;5:361-6.
- Harmelin J-G, Garcia F, Bachet F. Mediterranean Marine reserves : Fish Indices as tests of Protection Efficiency. Marine Ecology. 1995.
- Harmelin-Vivien M, Harmelin J-G, Chauvet C, Duval C, Galzin R, Lejeune P, Barnabé G, Blanc F, Chevalier R, Duclerc J, Lasserre G. Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons méthodes et problèmes. 1985.
- Harmelin-Vivien M, Harmelin J-G. L'inventaire des richesses faunistiques et floristiques des parcs nationaux est une des tâches essentielles incombant aux naturalistes appelés à travailler dans ces zones protégées. 1975 p. 6.
- Hereu Fina B, Capdevila Lanzaco P, Aspillaga Cuevas E, Casado C, Canals E, Linares Prats C. Indicateurs espèces thermophobes : État des populations de la gorgone blanche *Eunicella singularis* dans le Parc national de Port-Cros. 2013.
- Jouvenel J-Y. Ichtyofaune de la côte rocheuse des Alberes, These de doctorat Paris, EPHE; 1997
- Katell G. Roc Connect : Connectivité des populations d'invertébrés benthiques de l'habitat rocheux du Golfe du Lion. Rapport final. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. 2016.
- Lester SE, Halpern BS, Grorud-Colvert K, Lubchenco J, Ruttenberg BI, Gaines SD, Airamé S, Warner R. Biological effects within no-take marine reserves: a global synthesis. Marine Ecology Progress Series. 2009;384:33-46.
- Linares C, Coma R, Garrabou J, Diaz D, Zabala M. Size distribution, density and disturbance in two Mediterranean gorgonians: *Paramuricea clavata* and *Eunicella singularis*. 2007
- Parc Marin de la Côte Bleu (PMCB). CR mission calanques, Groupe d'Étude du Mérrou. 2010.
- Parc Marin de la Côte Bleue (PMCB), Reconduction des Zones Marines Protégées de la Côte Bleue, Dossier de présentation et demande de renouvellement. 2013 p .80

Suivi scientifique de la RMCP – Rapport Provisoire 2021
Réserve Marine de la Côte Palavasienne

Perez-Ruzafa A, González-Wangüemert M, Lenfant P, Marcos C, García-Charton J. Effects of fishing protection on the genetic structure of fish populations. *Biological Conservation*. 2006;129:244-55.

Roberts C, Hawkins JP, WWF Endangered Seas Campaign. Fully-protected marine reserves: a guide. Washington, DC: WWF Endangered Seas Campaign. 2000.

Rouanet E, Belloni B, Astruch P, De Monbrison D, Goujard A, Leteurtois M, Berthier L. Etat des connaissances des activités de plongée subaquatiques sur la façade méditerranéenne et appui à l'élaboration d'une stratégie de gestion durable des sites de plongée. Contrat d'étude Agence Française pour la Biodiversité –Direction Interrégionale de la Mer Méditerranée & GIS Posidonie – BRL ingénierie, GIS Posidonie ; 2010 p. 184.

Russ G, Alcala A. Do marine reserves export adult fish biomass? Evidence from Apo Island, central Philippines. *Marine Ecology Progress Series*. 1996;132:1-9.

Shears NT, Babcock RC. Continuing trophic cascade effects after 25 years of no-take marine reserve protection. *Marine Ecology Progress Series*. 2003;246:1-16.

Tsallis C. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. *Journal of Statistical Physics*. 1988;52:479-87.

Wickel J, Nicet J-B, Bigot L, Chabanet P, Cauvin b, Pothin k, Quod j-p, Sere m, Malfait G. Point 1 du suivi de « l'effet réserve » sur les communautés ichtyologiques et benthiques récifales de la Réserve Naturelle Marine de la Réunion. 2016.

Worm B, Barbier E, Beaumont N, Duffy JE, Folke C, Halpern B, Jackson J, Lotze H, Micheli F, Palumbi S, Sala E, Selkoe K, Stachowicz J, Watson R Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science*. 2006;314:787-90.