Département Océanographie et Dynamisme des Ecosystèmes ï Unité « Littoral »
Laboratoire Environnement Ressources Provence Azur Corse

Stéphane SARTORETTO

Mars 2019

Etude de l'état de conservation du coralligène basée sur des indicateurs biologiques au sein de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls.

Campagne 2018

Coralligène du Cap Rédéris *© Benoist De Vogüe*

Fiche documentaire

Titre du rapport : Etude de l'état de conservation du coralligène basée sur des indicateurs biologiques au sein de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls - campagne 2018.	
Référence interne : RST/ODE/UL/LER/LER-PAC/19-06 **Diffusion :** ☒ libre (internet)	**Date de publication :** 26.03.2019 **Version :** 1 **Langue(s) :** FR
Résumé/ Abstract : Les fonds coralligène constituent un habitat marin remarquable largement distribué dans la Réserve Naturelle de Cerbère-Banyuls. En 2015, un premier travail d'évaluation de l'état de conservation du coralligène a été réalisé par la méthode INDEX-COR. Les résultats ont montré notamment, la nécessité d'adapter les valeurs de références au contexte environnementale de la région de Banyuls, en prenant en compte notamment une plus grande diversité de stations et de faciès. Fort de ce constat, une nouvelle campagne d'acquisition a été réalisée en novembre 2018. Cette campagne avait un double objectif : (i) l'évaluation par l'indice INDEX-COR de l'état de conservation des formations coralligène dans la RNMCB et le suivi de son évolution sur le long terme et (ii) la proposition de mesures de gestion permettant de garantir et/ou d'améliorer la conservation de ces formations. Lors des campagnes de terrain, l'acquisition de données pour la caractérisation des compartiments 1, 3, 4 et 10 de l'indice EBQI a également été réalisée. 8 stations distribuées entre 28-35m ont été prises en compte. Elles présentaient des niveaux de pression variables : nulle (réserve intégrale), pression de pêche, plongée sous-marine et rejet de station d'épuration.	
Mots-clés/ Key words : Etat de conservation, coralligène, AMP, INDEX-COR, EBQI	
Commanditaire du rapport : Réserve Naturelle Cerbère-Banyuls	
Auteur(s) / adresse mail	**Affiliation / Direction / Service, laboratoire**
Stéphane Sartoretto / stephane.sartoretto@ifremer.fr	ODE/UL/LER-PAC
Encadrement :	
Validé par :	

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 6

2. METHODOLOGIE 8

2.1. ACQUISITION DES DONNEES POUR LE CALCUL DES METRIQUES INDEX-COR 8
2.2. ACQUISITION DES DONNEES POUR LES COMPARTIMENTS DE L'EBQI 10
2.3. SITES D'ETUDES : CAMPAGNES 2015 ET 2018 12
2.4. TRAITEMENT DES DONNEES ET EVALUATION DE L'ETAT DE CONSERVATION 13

3. RESULTATS 16

3.1. VALEURS DES METRIQUES INDEX-COR 16
3.2. INDICE GLOBAL INDEX-COR ET ETAT DE CONSERVATION 18
3.3. VALEURS DES METRIQUES EBQI 20
3.4. BLANCHIMENTS DES CORALLINACEES 21

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES 23

4.1. INTERPRETATION DES VALEURS D'INDEX-COR ET VALEURS DE REFERENCES 23
4.2. METRIQUES DES COMPARTIMENTS DE L'EBQI 24
4.3. ETAT DE CONSERVATION ET MESURES DE CONSERVATION ..... **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**
4.4. PERSPECTIVES ..... **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 27

1. Introduction

Le coralligène désigne classiquement des fonds concrétionnés caractéristiques des substrats durs méditerranéens de l'étage circalittoral (Laborel, 1987). Le terme fut attribué pour la première fois par A.F. Marion (1883), afin de désigner les fonds durs existant entre 30 et 70m de profondeur et appelés *broundo* par les pêcheurs marseillais. Peu de temps après, Pruvot (1894, 1895) repris ce terme pour décrire des habitats similaires le long du littoral des Pyrénées Orientale. Durant la première partie du XXème siècle, l'étude de ces structures permis à Feldmann (1937) d'identifier les principales espèces responsables de la construction et de l'érosion de ces biohermes.

D'un point de vue fonctionnel, les fonds coralligène forment un abri pour de nombreuses espèces. Après les herbiers de Posidonie, ils constituent le second pôle de biodiversité en Méditerranée et abritent des espèces protégées ou à haute valeur patrimoniale (Ballesteros, 2006). Le travail de Laubier (1966), réalisé pour partie dans la zone actuelle de la Réserve Naturelle de Cerbère-Banyuls (RNMCB), a ainsi permis d'identifier près de 530 espèces d'invertébrés liés à cet habitat. Les paysages sous-marins et les peuplements de poissons associés aux fonds coralligène attirent de nombreux plongeurs et pêcheurs dans la Réserve Naturelle Marine de Cerbères-Banyuls. En outre, les communautés benthiques des bancs coralligène sont pour partie constituées par des espèces longévives sensibles aux perturbations d'origine anthropique comme la pêche, le mouillage mais également le changement climatique

Plusieurs indices permettant d'évaluer l'état de conservation des fonds coralligène ont été testés en France et en Italie : CAI, ESCA, COARSE, ESCA-TA (Deter et al., 2012; Cecchi et al., 2014; Gatti et al., 2015; Piazzi et al., 2017). Une autre méthode d'évaluation issue d'un programme commun Agence des Aires Marines Protégées et IFREMER (2010-2015) a été définie sur des jeux de données acquis en région PACA et en Corse: la méthode INDEX-COR (Sartoretto *et al.*, 2017). Enfin, sur la base de ces différents indices, une nouvelle approche intégrée a été proposée, la méthode STAR (Piazzi et al., 2019). La comparaison de la réponse apportée par ces différents indices a été engagée ces dernières années (Gatti et al., 2016; Piazzi et al., 2017). Elle tend à montrer la nécessité de s'orienter vers une approche écosystémique dans l'évaluation de l'état de conservation des habitats coralligène. Une nouvelle approche (L'EBQI) a ainsi été testée sur différents habitats benthiques de la zone côtière en Méditerranée (herbiers de Posidonie, grottes sous-marines, peuplements d'algues photophiles de la roche littorale) (Personnic et al., 2014; Rastogeff et al., 2015; Thibaut et al., 2017). Elle a également fait l'objet de premières applications sur les habitats coralligène en région PACA. La définition du modèle conceptuel, des métriques et de la méthodologie relative à leur acquisition a été présentée dans un guide méthodologique par Ruitton et al. (2017).

La Réserve Naturelle Marine de Cerbères-Banyuls (RNMCB) a engagé un plan de gestion pour la période 2015-2019 ayant notamment pour objectif le maintien du bon état de conservation et du rôle fonctionnel des fonds coralligène. Dans ce cadre, la RNMCB a engagé une première campagne de terrain en 2015 au niveau de 3 stations situées entre 18 et 30m de profondeur (Sec Rédéris, Troc et Cap Abeille) (Sartoretto, 2015).

Fort de ces premiers résultats, la RNMCB a souhaité poursuivre le monitoring des habitats coralligène. Une nouvelle campagne a donc été organisée fin 2018 afin de compléter l'effort d'échantillonnage par 5 nouvelles stations permettant d'appliquer la méthode INDEX-COR sur des faciès différents de ceux pris en compte lors de la campagne 2015. Dans le cadre de cette nouvelle étude, deux objectifs ont été définis :

- **<u>Objectif 1</u> : l'évaluation de l'état de conservation des formations coralligènes dans la RNMCB et le suivi de son évolution sur le long terme.** Cette évaluation devait s'appuyer sur : (i) le calcul de métriques basées sur des espèces indicatrices permettant de mesurer l'état de conservation des formations coralligènes dans la RNMCB sur le long terme et (ii) la comparaison des valeurs obtenues pour ces métriques avec celles de la campagne 2015.
  Enfin, un premier jeu de données concernant 4 compartiments du modèle conceptuel de l'EBQI coralligène a également été acquis.

- **<u>Objectif 2</u> : la proposition de mesures de gestion permettant de garantir et/ou d'améliorer la conservation des formations coralligène dans le Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls.**

Ce rapport présente les résultats et synthèses relatifs à ces deux objectifs.

2. Méthodologie

2.1. Acquisition des données pour le calcul des métriques INDEX-COR

La méthode INDEX-COR est une méthode non-destructive inspirée de celle du "Reef Check" mise au point pour le monitoring des récifs coralliens (Hill & Wilkinson, 2004; Dumas et al., 2009). Cependant, contrairement à cette méthode, seul l'habitat est pris en compte pour l'évaluation de l'état de conservation des fonds coralligène (Sartoretto et al., 2017). Le compartiment "poissons" n'est pas considéré dans le calcul de l'indice. Une équipe technique composée de deux plongeurs a été chargée de l'acquisition des données *in situ* :

(i) un plongeur-observateur (Stéphane Sartoretto, IFREMER - classe IIIB)

(ii) et un plongeur photographe (Benoist De Vögue, IFREMER - classe IIB)

Les moyens nautiques mis en oeuvre ont été ceux de la Réserve Naturelle Marine de Cerbères-Banyuls. L'échantillonnage a été réalisé le long de deux transects de 15m de long (surface totale : 60 m²) mis en place par le plongeur-observateur de façon aléatoire, à la même profondeur, orientation et dans le même type de faciès. Sur chacun des transects, au moins 15 photos ont été réalisées par le plongeur "photographe" à l'aide d'un caisson photographique (caisson NAUTICAM) adapté pour un appareil NEX-5 avec objectif Sony 2.8-16. Ce caisson était fixé à un quadrat de 40x60cm (surface d'échantillonnage: 0,24cm²), adapté à l'optique de l'ensemble caisson-appareil. L'éclairage était assuré par 4 lampes SOLA 1200 fixées aux angles supérieurs du quadrat (Fig. 1).

Figure 1. Quadrat photographique utilisé pour l'acquisition des images dans le cadre du programme INDEX-COR.

Pendant la même plongée, le plongeur "observateur" a relevé le long des transects, quatre types de données (Fig 2) :

(i) les paramètres généraux (profondeur, orientation, profil, type de faciès en place, présence de macro-déchets) ;

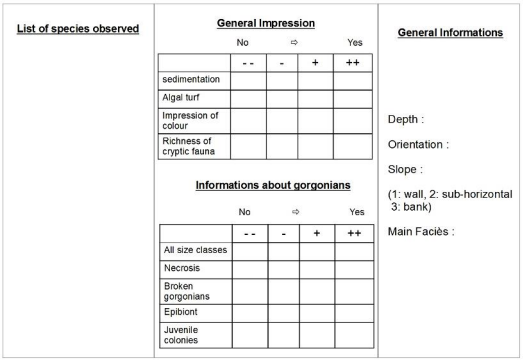
(ii) les informations qualitatives relatives à la perception du milieu (couleur, sédimentation, richesse de la faune cryptique, état des peuplements de gorgones) ;

(iii) les taxons macro-benthiques observables le long des transects (reconnaissables au niveau du genre sans prélèvement);

(iv) le taux de recouvrement des grandes espèces benthiques érigées (gorgones et éponges) en considérant 5 classes (0: absent, 1: colonies ou individus isolés, 2: recouvrement compris entre 10 et 25%, 3: recouvrement compris entre 25 et 50%, 4: recouvrement compris entre 50 et 75%, 5: recouvrement supérieur à 75%). Pour la constitution de l'indice, cette valeur est minorée d'une classe dans le cas ou plus de 50% des colonies ou individus sont nécrosées sur plus de 10% de leur surface.

La prise de note a été réalisée sur une plaque immergeable comportant deux tableaux permettant d'apprécier (Fig. 3) : (i) la perception générale du site, (ii) évaluation générale de l'état des peuplements de gorgones (distribution, recrutement, taux de nécrose,...).

Figure 2. Relevé des informations par le plongeur "observateur", le long d'un transect matérialisé par un ruban gradué.



List of species observed

General Impression

No ⇨ Yes

	- -	-	+	++
sedimentation				
Algal turf				
Impression of colour				
Richness of cryptic fauna				

Informations about gorgonians

No ⇨ Yes

	- -	-	+	++
All size classes				
Necrosis				
Broken gorgonians				
Epibiont				
Juvenile colonies				

General Informations

Depth :

Orientation :

Slope :

(1: wall, 2: sub-horizontal 3: bank)

Main Faciès :

Figure 3. Organisation de la plaque utilisée par le plongeur-observateur pour noter les informations générales et les taxons observés *in situ*.

2.2. Acquisition des données pour les compartiments de l'EBQI

L'indice EBQI coralligène s'appuie sur un modèle conceptuel comportant 10 compartiments (Ruitton et al., 2017) (Fig. 4). Ces compartiments sont plus ou moins sensibles aux variations saisonnières et chacun d'eux fait l'objet d'une pondération entrant en ligne de compte dans le calcul de l'indice (Tab. 1).

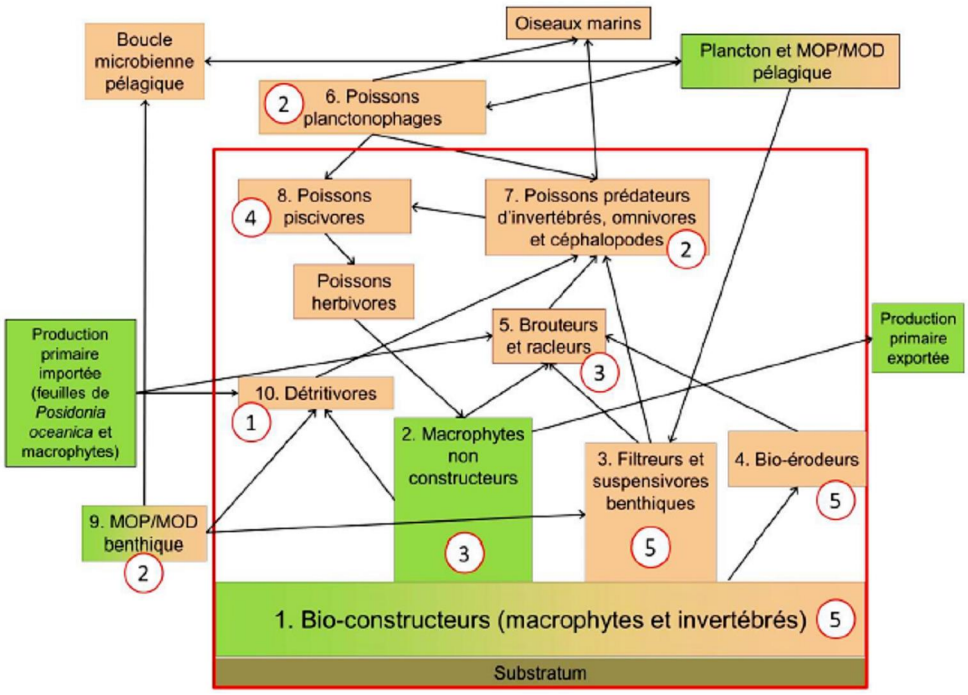


Figure 4. Modèle conceptuel utilisé dans la définition de l'EBQI pour l'habitat coralligène (*in* Ruitton et al., 2017). A chaque compartiment est attribué une pondération notée de 1 à 5.

Compartiment	Sensibilité aux variations saisonnières
1- Bio-constructeurs (macrophytes et invertébrés)	0
2- Macrophytes non constructeurs	3
3- Filtreurs et suspensivores benthiques	0
4- Bio-érodeurs	0
5- Racleurs et brouteurs	2
6- Poissons planctonophages	
7- Poissons prédateurs, omnivores, céphalopodes	3
8- Poissons piscivores	
9- Matière organique benthique	2
10- Détrivores benthiques	0

Tableau 1. Sensibilité des compartiments de l'EBQI vis-à-vis des variations saisonnières. 0 : pas sensible, 1 : peu sensible, 2 : moyennement sensible, 3 : très sensibles (*in* Ruitton et al., 2017).

Compte tenu de cette sensibilité, quatre compartiments ont été abordés lors du travail de terrain en 2018 : les compartiments 1, 3, 4 et 10. Les autres compartiments seront évalués à une autre saison durant l'année 2019.

➢ **<u>Compartiment 1</u> : Bio-constructeurs**

L'évaluation de ce compartiment a pris en compte le recensement des espèces bioconstructrices de macroalgues et d'invertébrés, parmi les 32 espèces définies par Ruitton *et al.* (2017). Un deuxième paramètre a également été considéré : la détermination du nombre de strates participant à la bio-construction. Trois strates ont été déterminées en fonction de la hauteur de la construction au-dessus du substrat : la strate basale (entre 0 à 1 cm), la strate intermédiaire (entre 1 et 10 cm) et la strate supérieure (hauteur supérieure à 10 cm).

Paramètres retenus pour l'évaluation du compartiment 1 : nombre d'espèces bio-constructrices et nombre et recouvrement des strates des bio-constructeurs.

Mesure des paramètres : observations *in situ* le long des transects pour l'acquisition des métriques INDEX-COR et sur les 30 photoquadrats.

➢ **<u>Compartiment 3</u> : filtreurs et suspensivores benthiques**

Ce compartiment a été évalué à partir : (i) du recensement des espèces d'invertébrés filtreurs et suspensivores parmi 48 espèces; (ii) du recouvrement de ces invertébrés.

Paramètres retenus pour l'évaluation du compartiment 3 : pourcentage de recouvrement des filtreurs et des suspensivores benthiques et nombre d'espèces.

Mesure des paramètres : observations *in situ* et sur les 30 photoquadrats pris le long des deux transects considérés pour l'indice INDEX-COR (transects étendus à 20m).

➢ **<u>Compartiment 4</u> : Bio-érodeurs**

Ce compartiment a été évalué à partir de la présence des éponges perforantes de la famille des Clionidae (*Cliona viridis* principalement). Ces éponges se présentent sous trois formes différentes : la forme alpha, la forme bêta ou encroûtante; et enfin la forme gamma ou massive. Ce compartiment a également été évalué à partir de la présence des oursins violets *Sphaerechinus granularis*, principal brouteur des Corallinacées à la base du bioconcrétionnement (Sartoretto & Francour, 1997).

Paramètres retenus pour l'évaluation du compartiment 4 : recouvrement des éponges perforantes (Clionidae) et densité de *Sphaerechinus granularis*.

Mesure des paramètres : évaluation sur les 30 photoquadrats et comptages de *Sphaerechinus granularis* le long des transects installés *in situ* sur une largeur de 1m de part et d'autre (nombre d'individus.25 m²) (transects étendus à 125 m, mesure par segment de 12,5m).

➢ **<u>Compartiment 10</u> : détritivores benthiques**

Ce dernier compartiment a été évalué à partir de la densité des détritivores repérésentés par les holothuries (*Holothuria* spp.) et les bonellies vertes (*Bonellia viridis*). L'abondance des détritivores a été mesurée sur les mêmes transects que ceux utilisés pour l'estimation de la densité de *Sphaerechinus granularis*.

Paramètres retenus pour l'évaluation du compartiment 10 : densité de détritivores benthiques (nombre d'individus.25 m²).

Mesure des paramètres : comptages d'*Holothuria spp*. et de *Bonellia viridis* le long des transects, simultanément aux comptages de *Sphaerechinus granularis*, sur une largeur de 1 m de part et d'autre.

2.3. Sites d'études : campagnes 2015 et 2018

Lors de la première campagne de terrain en 2015, trois stations avaient été échantillonnés entre 18 et 30m de profondeur (tab. 2, Fig. 5) : Sec Rédéris, Cap l'Abeille, Le Troc. En 2018, ces mêmes sites ont été ré-échantillonnés à des profondeurs différentes au niveau de faciès à gorgonaires (*Eunicella singularis*, *Paramuricea clavata*). Lors de cette nouvelle campagne de terrain, deux autres stations situées hors réserve (Béar et Cerbère), ont également été prises en compte pour l'application de la méthode INDEX-COR et l'évaluation des compartiments 1, 3, 4 et 10 de l'indice EBQI.

Année	Date	Station	Profondeur	Statut	Usages pratiqués	Métriques
2015	12-13 octobre	Sec Rédéris	26m	Zone de protection renforcée	Aucune activité autorisée	INDEX-COR
		Cap l'Abeille	20m	Zone de protection partielle	Plongée sous-marine Pêche professionnelle	INDEX-COR
		Le Troc	20m	Zone de protection partielle	STEP/Plongée/Pêche	INDEX-COR
2018	12-15 novembre	Sec Rédéris	29-30m	Zone de protection renforcée	Aucune activité autorisée	INDEX-COR/EBQI
		Cap l'Abeille	29m	Zone de protection partielle	Plongée sous-marine Pêche professionnelle	INDEX-COR/EBQI
		Le Troc	28-32m	Zone de protection partielle	Station d'Epuration Plongée sous-marine Pêche professionnelle	INDEX-COR/EBQI
		Béar	33-38m	Hors Réserve	Plongée sous-marine Pêche professionnelle	INDEX-COR/EBQI
		Cerbère	34m	Hors Réserve	Plongée sous-marine Pêche professionnelle	INDEX-COR/EBQI

Tableau 2. Stations échantillonnés au cours des campagnes de 2015 et 2018.

En novembre 2018, les conditions météorologiques ont globalement été médiocres (courant parfois fort et manque de visibilité), notamment au niveau du Cap Béar où elles étaient limites pour une acquisition correcte des données par photoquadrats et l'identification des espèces benthiques associées aux concrétionnements coralligène.

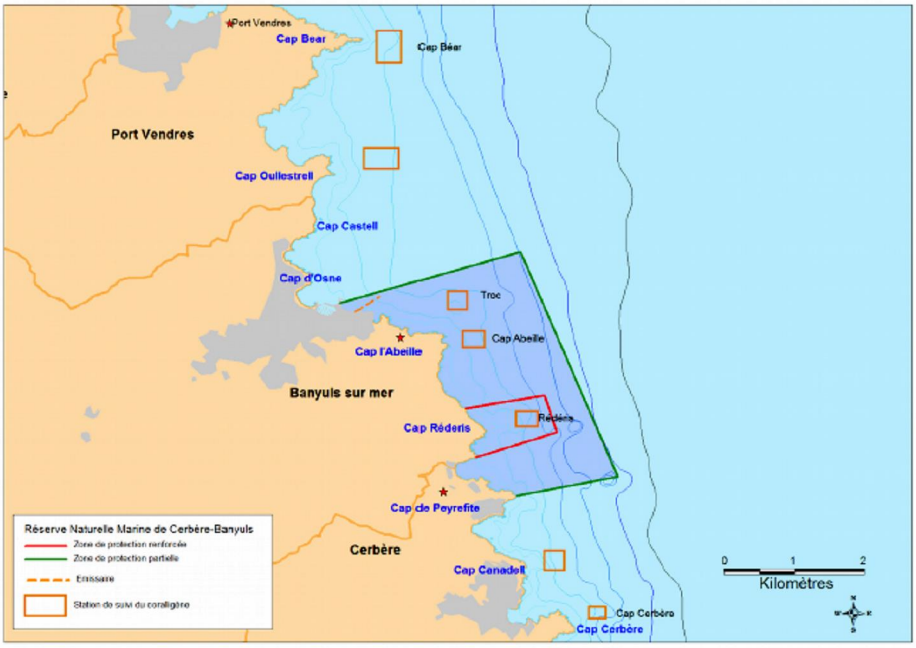


Figure 5. Localisation des stations échantillonnés en 2015 et 2018.

2.4. Traitement des données et évaluation de l'état de conservation

L'indice INDEX-COR repose sur trois métriques mesurées à partir (i) des observations *in situ* (taxons et recouvrement de la strate élevée notés par le plongeur-observateurs) et (ii) du traitements des images prises le long des transects installés *in situ* :

- **<u>Métrique 1</u> :** Sensibilité taxonomique vis à vis de l'apport en sédiment et matière organique (ST),

- **<u>Métrique 2</u> :** Richesse taxonomique observable (RTO),

- **<u>Métrique 3</u> :** Complexité structurale (CS).

Le calcul de la première métrique s'appuie sur la proportion d'espèces appartenant à 4 groupes de sensibilité différentes vis à vis de l'apport en matière organique et l'hypersédimentation (particules fines) dans le milieu (espèces sensibles, opportunistes, tolérantes et indifférentes). La deuxième métrique correspond au nombre de taxons (au niveau du genre a minima) observés in situ et sur les images. Enfin, la troisième métrique prend en compte la caractérisation de l'état de conservation de 3 strates : (i) une strate basale composée d'organismes encroûtants (0 à 5 cm d'épaisseur), (ii) une strate

intermédiaire composée d'organismes buissonnants (5 à 15 cm de haut) et (iii) une strate élevée composée d'espèces benthiques érigées de plus de 15 cm de haut (gorgones, éponges). Le détail des espèces prises en comptes pour les métriques ST et RTO ainsi que les calculs retenus pour la définition de la valeur de la métrique SC sont précisés dans les annexes 1 et 2.
Pour le calcul de la métrique 1 (ST), les images acquises le long des deux transects ont été analysées à l'aide du logiciel PhotoQuad (V 1.0) développé par l'Université de l'Egée (Trygonis & Sini, 2012). Ce logiciel en libre accès (http://www.mar.aegean.gr/sonarlab/photoquad) a été spécialement développé pour l'étude des peuplements benthiques associés aux fonds coralligènes. Pour chaque site, l'analyse a porté sur les 30 photographies réalisées sur chaque site, en appliquant 100 points de façon uniforme, chaque point a ensuite été caractérisé par une catégorie définie dans la librairie associée à PhotoQuad (taxons, ombres/trous, macrodéchets, taxon) (fig. 5).

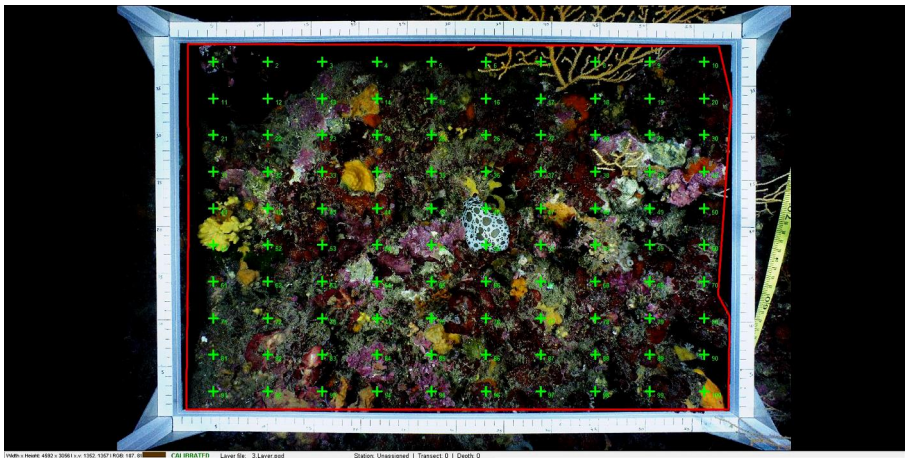


Figure 6. Exemple de traitement des images sous PhotoQuad (100 points uniformément répartis sur une surface d'échantillonnage préalablement définie (en rouge)).

Le traitement des données issues de la campagne 2015 s'était appuyé sur le rapport de Sartoretto & Schohn (2015) dans lequel étaient présentées les équations de calcul des métriques 1 et 3 ainsi que de l'indice global INDEX-COR. Un nouveau travail d'analyse de données a permis de préciser ces équations et a donné lieu à leur publication (Sartoretto et al., 2017). Dans le cadre de ce nouveau programme, nous nous sommes donc appuyés sur cette publication et nous avons utilisé l'équation suivante définissant l'indice global :

$$IC : 0,62 \times ST + 0,6 \times RTO + 1,7\ CS$$

où ST: sensibilité taxonomique , RTO : richesse taxonomique observable, CS : complexité structurale.

et (ii) les évaluations de l'état de conservation définies en région PACA :

IC< 20 : **mauvais état de l'habitat**
20≤ IC < 40 : **état médiocre**

40≤ IC < 60 : **état moyen**
60≤ IC < 80 : **bon état**
IC ≥ 80 : **très bon état**

Dans ce rapport, nous avons également repris les données de la campagne 2015 afin de recalculer les valeur d'indice global de chaque station et de les comparer à celle de 2018.

3. Résultats

Lors du traitement des images, la mise en oeuvre de la méthode INDEX-COR nécessite de s'assurer que la surface de bioconcrétionnement échantillonnée au sein des photoquadrats soit suffisant, c'est à dire >70% de la surface totale (Sartoretto et al., 2017). Le tableau 3 récapitule les valeurs pour les 30 photographies prises au sein de chaque station en 2018. Quelques valeurs sont inférieures mais proches de ce seuil. C'est notamment le cas des stations de Béar et de Cerbère, en raison des conditions de visibilité particulièrement mauvaise lors des interventions de terrain. Néanmoins, compte tenu des valeurs totale échantillonnées sur l'ensemble de chaque station, nous les avons conserver pour le calcul d'INDEX-COR.

	Abeille		**Béar**		**Rédéris**		**Troc**		**Cerbère**	
	29m		33-38m		29-30m		28-32m		34m	
Image	**T1**	**T2**	**T1**	**T2**	**T1**	**T2**	**T1**	**T2**	**T1**	**T2**
1	79%	86%	79%	81%	80%	83%	83%	74%	79%	77%
2	86%	81%	84%	76%	81%	71%	85%	83%	79%	71%
3	74%	83%	73%	80%	54%	76%	83%	81%	74%	63%
4	83%	88%	78%	64%	77%	85%	83%	82%	79%	70%
5	76%	80%	78%	73%	80%	87%	79%	78%	78%	63%
6	81%	77%	85%	59%	83%	81%	81%	74%	67%	64%
7	84%	84%	83%	76%	78%	82%	77%	75%	73%	61%
8	82%	64%	79%	70%	82%	80%	77%	85%	74%	72%
9	87%	83%	77%	75%	75%	85%	77%	81%	82%	69%
10	81%	84%	76%	78%	72%	78%	82%	77%	78%	79%
11	86%	76%	80%	61%	79%	80%	83%	82%	65%	69%
12	88%	87%	76%	52%	86%	81%	83%	85%	73%	68%
13	84%	75%	76%	70%	71%	82%	87%	86%	73%	63%
14	76%	81%	67%	73%	74%	76%	86%	88%	73%	61%
15	90%	78%	69%	74%	80%	76%	81%	83%	67%	67%

Tableau 3. Surface échantillonnée pour chaque image acquise en 2018. Surface exprimée en pourcentage de la surface maximale théorique (surface du quadrat : 2400cm²).

3.1. Valeurs des métriques INDEX-COR

Concernant les métriques 1, 2 et l'indice global, les données issues de la campagne 2015 avaient été analysées suivant les équations définies dans le rapport final du programme INDEX-COR (Sartoretto & Schohn, 2015). Dans le cadre de la rédaction de la publication de la méthode INDEX-COR (Sartoretto *et al.*, 2017), ces trois équations ont été reformulées afin de proposer une meilleure évaluation de l'état de conservation de

l'habitat. Nous avons donc traité l'ensemble des données de terrain (2015 et 2018) en nous appuyant sur ce travail. Le tableau suivant (Tab. 4) présente les valeurs au sein des 5 stations échantillonnées entre 20 et 40m :

	Abeille		Troc		Rédéris		Béar	Cerbère
Prof.	20m	29m	20m	28-32m	26m	29-30m	33-38m	34m
Année	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2018	2018
ST	**22,65**	**43,75**	**36,87**	**18,26**	**23,30**	**25,48**	**10,00**	**25,98**
Grpe I	19%	19%	14,8%	41,83%	42,43%	39,4%	26,63	33,63%
Grpe II	4,3%	1,27%	0,53%	1,73%	2,07%	1,6%	3,50	1,40%
Grpe III	15,5%	37,3%	32,57%	5,33%	10,03%	14,23%	0,33	15,47%
Grpe IV	0,1%	0,53%	0,17%	0,80%	0,8%	0,3%	0,63	0,70%
RTO	**39**	**45**	**36**	**50**	**54**	**52**	**34**	**40**
CS	**1,21**	**1,34**	**0,38**	**2,96**	**1,41**	**1,18**	**2,9**	**2,52**
SB	0,93%	3,93%	0,3%	7,73%	5,86%	1,7%	0,53%	9,06%
SI	6,73%	4,17%	2,17%	5,73%	5,13%	4,83%	7,77%	7,53%
SE	0	10%	0	75%	0	25%	50%	25%

Tableau 4. Valeur des métriques de l'indice INDEX-COR obtenues pour les campagnes 2015 et 2018. ST: sensibilité taxonomique , RTO : richesse taxonomique observable, CS : complexité structurale. Grpe I, Grpe II, Grpe III, Grpe IV : pourcentage de chaque groupe de sensibilité (cf. Sartoretto *et al.*, 2017). SB : strate basale, SI : strate intermédiaire, SE : strate élevée.

Les valeurs de sensibilité taxonomique (ST) sont faibles à moyenne et oscillent entre 10 (Béar, -33/-38m) à 43,75 (Abeille, 29m). Elles reflètent la prédominance des espèces (i) de Groupe I (espèces indifférentes à l'apport de matière organique et l'hypersédimentation), notamment de l'éponge perforante *Cliona viridis* et (ii) de Groupe II (espèces tolérantes), cohérente avec le contexte global environnemental. Elles sont proches des stations étudiés en région PACA entre le Golfe de Fos et la rade nord de Marseille (Sartoretto *et al.*, 2017).

La richesse taxonomique observable (RTO) est moyenne, variant de 34 (Béar, -33/-38m) à 54 (Rédéris, -26m). Ces valeurs correspondent en région PACA, à des stations présentant des fonds coralligène ayant un état de conservation modéré à bon.

Enfin, les valeurs de complexité structurale (CS) sont faibles à moyennes et varient entre 0,38 (Troc, -20m) et 2,96 (Troc, -28/-32m). Elles caractérisent globalement une strate intermédiaire et élevée peu développée, même si les valeurs les plus élevées correspondent à des stations présentant des peuplements à *Eunicella singularis* et *Paramuricea clavata*. Dans ces stations, malgré la présence de Gorgonaires, les valeurs de strate basale mais surtout de strate intermédiaire restent faibles.

3.2. Indice global INDEX-COR et état de conservation

Pour les sites échantillonnés en 2015 et 2018, les valeurs d'INDEX-COR sont présentées dans le tableau 5.

	Abeille		Troc		Rédéris		Béar	Cerbère
Prof.	20m	29m	20m	28-32m	26m	29-30m	33-38m	34m
Année	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2018	2018
IC	39,5	56,4	45,10	46,35	49,38	48,62	31,53	44,39

Tableau 5. Valeurs de l'indice INDEX-COR (IC) pour les années 2015 et 2018.

Les valeurs d'INDEX-COR pour les années 2015 et 2018 varient de 31,53 (Béar, -33/-38m) à 56,4 (Abeille, -29m) (tab. 5). En utilisant l'échelle de classification établie en région PACA, ces valeurs correspondent à un état de conservation médiocre (Béar) à moyen (Fig. 7), celle du cap l'Abeille à 29m (2018) se situant proche de celle caractérisant le bon état (60≤ IC). Le calcul de cet indice s'appuie sur une valeur de sensibilité taxonomique intégrant les Peyssonneliacées dans le groupe GIII qui distinguent mal les différentes stations en fonction du statut de protection et donc du niveau de pression anthropique (Sartoretto, 2015) (tab. 2).

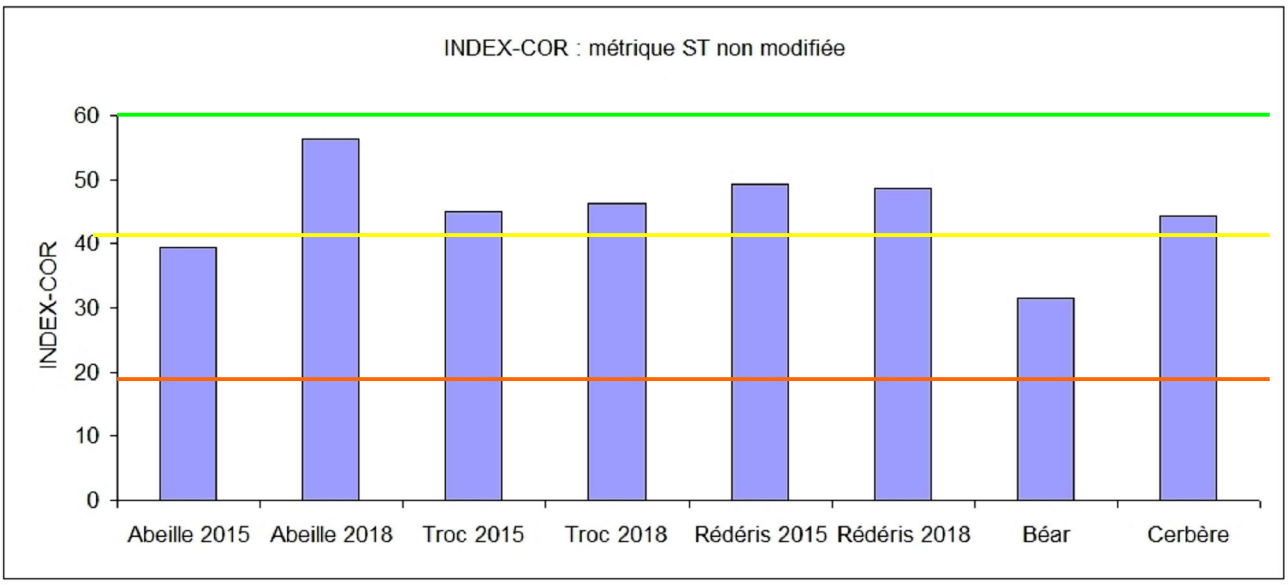


Figure 7. Valeurs d'INDEX-COR calculées avec une métrique 1 non modifiée (avec les Peyssonnéliacées). Matérialisation des limites de classes définies en région PACA (Sartoretto et al., 2017). Ligne orange : état de conservation médiocre; Ligne jaune : état de conservation moyen; Ligne verte : bon état de conservation.

Suite à la mission 2015, l'indice INDEX-COR paraissait plus discriminant en ne considérant pas les Peyssonnéliacées dans la métrique 1. En reprenant la formule de cette métrique définie par Sartoretto *et al.* (2017) et en excluant ces Rhodophyceae, les valeurs d'INDEX-COR déclassent l'évaluation de l'état de conservation des fonds coralligène, la majorité des stations étant classées dans un état de conservation médiocre (tab. 6, Fig. 8). Cependant, cette exclusion des Peyssonnéliacées permet de mieux discriminer les différents sites. Les valeurs les plus élevées (>40) correspondent au sec Rédéris (-26 et -30m) et à la station profonde du Troc échantillonnée en 2018 (-28/-32m). Les valeurs les plus faibles correspondent respectivement à la station du Troc à -20m (27,17) et à celle du cap Béar (31,47).

	Abeille		**Troc**		**Rédéris**		**Béar**	**Cerbère**
Prof.	20m	29m	20m	28-32m	26m	29-30m	33-38m	34m
Année	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2018	2018
ST-M	11,38	6,75	7,94	13,86	15,21	11,38	9,9	10,98
IC	32,51	33,46	27,17	43,63	44,23	40,26	31,47	35,09

Tableau 6. Valeurs de l'indice INDEX-COR (IC) et de la métrique sensibilité taxonomique modifiée et excluant les Peyssonnéliacées (ST-M).

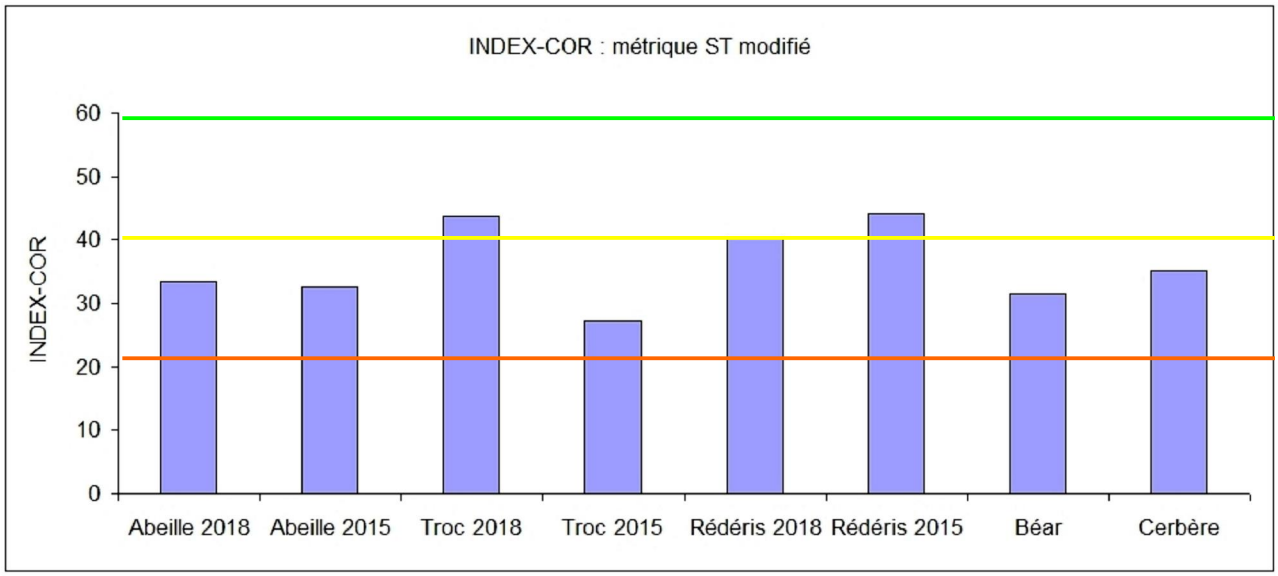


Figure 8. Valeurs d'INDEX-COR calculées avec une métrique 1 modifiée (sans les Peysonnéliacées). Matérialisation des limites de classes définies en région PACA (Sartoretto et al., 2017). Ligne orange : état de conservation médiocre; Ligne jaune : état de conservation moyen; Ligne verte : bon état de conservation.

3.3. Valeurs des métriques EBQI

Pour les quatre compartiments échantillonnés en 2018, chaque métrique est évaluée par une valeur allant de 0 à 4. Pour chacune de ces métriques et compartiments, les interprétations de chaque valeur ont été définies par Ruitton *et al.* (2017). Elles sont présentées dans le tableau suivant (tab. 7) :

Statut/Notes	4	3	2	1	0
Compartiment 1					
Nombre d'espèces (32 listés)	≥ 25	15 à 24	10 à 14	6 à 9	≤ 5
Nombre de strates (basale, intermédiaire, supérieure)	3 strates (st. sup. >50% couverture)	3 strates (st. sup. <50% couverture)	2 strates	1 strate	0 strate
Compartiment 3					
Pourcentage de recouvrement	>50%	>30 à 50%	>10 à 30%	>0 à 10%	0%
Nombre d'espèces (48 listées)	≥ 30	20 à 29	12 à 19	6 à 11	≤ 5
Compartiment 4					
Eponges perforantes (Clionidae)	Papilles rares	Quelques papilles	Papilles peu abondantes	Papilles abondantes	Spécimens encroûtant
Densité de Sphaerechinus granularis *(nb individus/25m²)*	<1,0	1,0 à 3,0	3,1 à 8,0	8,1 à 12,0	>12,0
Compartiment 10					
Densité de Bonnelia *viridis et* Holothuria spp. *(nb individus/25m²)*	<1,0	1,0 à 3,0	3,1 à 8,0	8,1 à 12,0	>12,0

Tableau 7. Interprétation des valeurs des métriques intégrées dans les compartiments 1, 3, 4 et 10 de l'indice EBQI coralligène (*in* Ruitton *et al.*, 2017).

Les valeurs obtenues pour les 5 stations échantillonnées en novembre 2018 sont présentées dans le tableau suivant (tab. 8) :

	Abeille	**Troc**	**Rédéris**	**Béar**	**Cerbère**
	29m	28-32m	29-30m	33-38m	34m
Compartiment 1 (bio-constructeurs)					
Nombre d'espèces bio-constructrices	2	3	3	2	2
Nombre de strates : basale (h: 0-1cm), intermédiaire (1-10cm), supérieure (>10cm)	3	4	3	3	3
Compartiment 3 (filtreurs et suspensivores benthiques)					
Pourcentage de recouvrement	1	2	3	3	3
Nombre d'espèces	4	4	4	3	4
Compartiment 4 (bio-érodeurs)					
Eponges perforantes (Clionidae)	3	2	2	2	3
Densité de Sphaerechinus granularis	3	3	3	4	4
Compartiment 10 (détritivores benthiques)					
Densité de Bonnelia *viridis et* Holothuria spp.	2	2	1	2	4

Tableau 8. Valeurs des métriques composant les 4 compartiments de l'EBQI coralligène (campagne 2018).

➢ Compartiment 1 (bio-constructeurs) : Le nombre d'espèce bio-constructrices est inférieur à 24 (10 à 14 pour Abeille, Béar, Cerbère et 15 à 24 pour le Troc et Rédéris). Ces valeurs concordent avec les valeurs de richesse taxonomique observable inclue dans l'indice INDEX-COR. Le nombre de strate (3 pour l'ensemble des stations) et le taux de recouvrement de la strate élevée reflète également les valeurs de la complexité structurale prise en compte dans cet indice. L'indice de confiance d'évaluation de ce compartiment pris en compte pour le calcul de l'EBQI coralligène est maximal (4 selon les critères définis par Ruitton *et al.*, 2017).

➢ Compartiment 3 (filtreurs et suspensivores benthiques) : le nombre d'espèces de filtreurs et suspensivores benthiques est maximal pour l'ensemble des sites d'étude (≥ 30) et leur taux de recouvrement est moyen (10 à 30% pour le Troc) à élevé (>30%) pour les autres stations. Ces valeurs correspondent aux conditions environnementales générales en Roussillon et aux caractéristiques de l'habitat coralligène. L'indice de confiance pour l'évaluation de ce compartiment est de 4.

➢ Compartiment 4 (bio-érodeurs) : les valeurs concernant les Clionidae illustrent la présence importante de *Cliona viridis* sous des formes ɓ et ɔ. Les densités de *Sphaerechinus granularis* montrent des valeurs faibles (<3 individus/25m²). Ces faibles valeurs peuvent être liés à deux paramètres : (i) les conditions de visibilité généralement médiocre sur l'ensemble des sites gênant l'évaluation de la densité le long des transects, (ii) la forte variabilité annuelle et inter-annuelle de la densité de ce bio-érodeur vagile au sein des fonds coralligène (Sartoretto *et al.*, 2017). L'indice de confiance d'évaluation du compartiment 4 peut néanmoins être estimé à 4.

➢ Compartiment 10 (détritivores benthiques) : La densité de détritivores benthiques (holothuries et bonnelies) varient fortement d'un site à l'autre. Elle est très faible (<1,0 ind.25m^{-2}) pour la station de Cerbère alors qu'elle est moyenne à élevée pour les autres stations. Cette variabilité ne peut être attribuée à une variation des conditions environnementales (enrichissement en matière organique du milieu différent entre les station) mais plutôt à la forte turbidité et la faible luminosité *in situ* lors des comptages le long des transects. De ce fait, l'indice de confiance attribué à l'évaluation de ce compartiment peut être pondéré à 3. Ce chiffre correspond selon Ruitton *et al.* (2017) à l'acquisition de données de terrain récentes complétées par du "dire d'expert".

3.4. Blanchiments des Corallinacées

Dans le bassin occidental, les Corallinacées à l'origine du bioconcrétionnement formant le coralligène sont atteintes, depuis plusieurs années, de blanchiment (Hereu & Kersting, 2016). Ces blanchiments se caractérisent par la perte de la matière vivante au niveau du thalle (taches blanches). Trois principales formes peuvent être observées : (i) les CWPD (Coralline White Patch Disease) se présentant sous la forme de taches blanches plus ou moins circulaires à la surface du thalle, (ii) les CWBD (Coralline White Band Syndrome) caractérisés par une bande blanche semi-circulaire progressant à la surface du thalle et (iii) CTP (Coralline Target Phenomena) se présentant sous la forme de larges bandes

blanches semi-circulaires parallèles les unes aux autres à la surface des thalles de Corallinacées. Observées en Méditerranée, ces trois formes ont tout d'abord été décrites en zones tropicales sur les Corallinacées au sein des récifs coralliens (Quéré, 2015). L'origine de ces blanchiments touchant de nombreuses zones du globe, n'est pour l'instant pas clairement élucidé. L'acidification croissante de l'océan mondial, l'augmentation de la température des eaux et les modifications des communautés bactériennes associées aux Corallinacées ont été avancés (Martin & Gattuso, 2009; Quéré, 2015). Il semblerait également que le couplage lumière-température soit également particulièrement important dans l'apparition de ces blanchiments (Rodriguez-Pietro, 2016). Au sein des fonds coralligène de la région de Banyuls, seul des CWPD (Coralline White Patch Disease) ont été observés sur les Corallinacées. Durant la campagne de 2015, quelques CWPD, peu abondants, avait été observés en octobre à 20m de profondeur, au sein de la station du cap l'Abeille (Tab. 7). En 2018, ce type de blanchiment a été observé sur l'ensemble des stations, entre 28 et 34m de profondeur, à l'exception du cap Béar (Tab. 7). Deux stations, Rédéris et Cerbères, présentaient des CWPD abondantes sur les Corallinacées encroûtantes (Tab. 9, Fig. 9), malgré une température basse *in situ* (14°C).

	Abeille		**Troc**		**Rédéris**		**Béar**	**Cerbère**
Prof.	20m	29m	20m	28-32m	26m	29-30m	33-38m	34m
Année	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2018	2018
Date	12-13 Oct.	12-15 Nov.	12-13 Oct.	12-15 Nov.	12-13 Oct.	12-15 Nov.	12-15 Nov.	12-15 Nov.
Blanchiment	CWPD peu abondant	CWPD peu abondant	-	CWPD peu abondant	-	CWPD abondante	-	CWPD importante

Tableau 9. Blanchiments des Corallinacées observés au niveau des stations échantillonnés en 2015 et 2018. Observations réalisées sur les 2 transects installés *in* situ. CWPD : Coralline White Patch Disease.

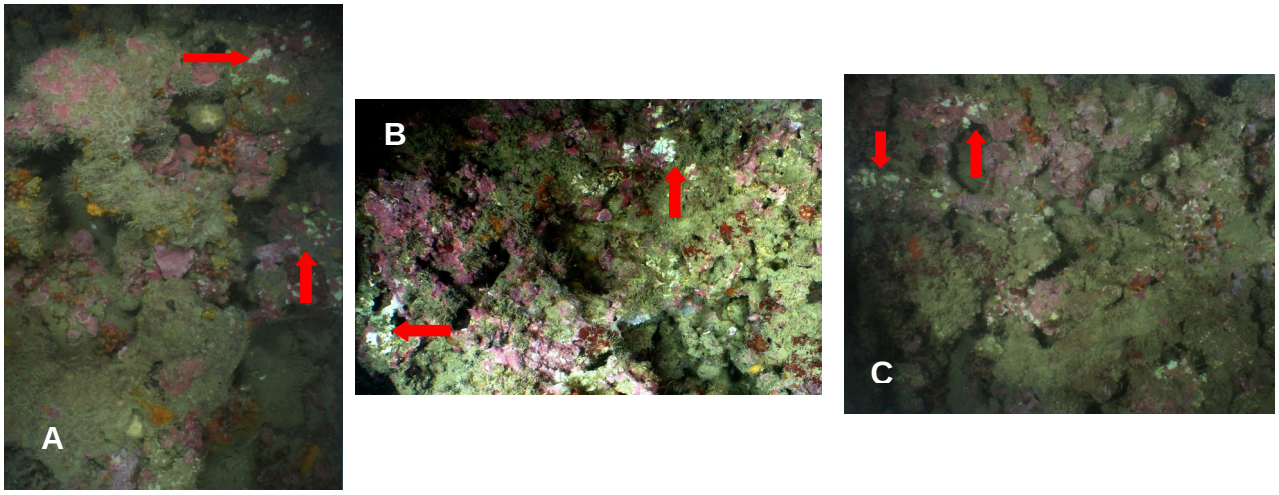


Figure 9. Blanchiments observés en 2018 au niveaux de la station de Rédéris (29-30m) et de Cerbère (34m) et pouvant être identifiés comme une forme de CWPD (Coralline White Patch Disease) (Quéré, 2015).

4. Conclusion et perspectives

4.1. Interprétation des valeurs d'INDEX-COR et valeurs de références

Le protocole INDEX-COR s'appuie sur le suivi des espèces pérennes, non soumises aux variations saisonnières. La période d'échantillonnage a donc été fixée durant l'hiver (Sartoretto *et al.*, 2017). Durant la campagne 2018, l'échantillonnage des sites les plus profonds (en-dessous de 30m de profondeur) a été gêné par les conditions météorologiques, notamment la visibilité médiocre sur le fond. Durant la fin de l'année, la campagne a d'ailleurs été décalée, à plusieurs reprises, en raison de ces mêmes conditions météorologiques. Compte tenu des spécificités environnementales de la région de Banyuls, il est possible d'envisager, pour les stations situées les plus profondes (<-30m), un échantillonnage durant la saison estivale, plus propice aux interventions de terrain et sans que cela n'affecte la variabilité saisonnière des trois métriques de l'indice INDEX-COR. En revanche, pour les stations les moins profondes (entre 20 et 30m de profondeur), la période d'échantillonnage devrait être conservée durant la saison froide. En effet, dans cette tranche bathymétriques la variabilité inter-saisonnière de la composition des communautés algales associées aux fonds coralligène est susceptible d'entraîner également une trop grande variabilité des valeurs des métriques d'INDEX-COR. De plus, ces dernières années plusieurs épisodes de mucilage durant la saison chaude, ont affecté les peuplements d'*Eunicella singularis* de la Réserve Marine de Cerbère Banyuls, aux alentours de 20m de profondeur. Le présence de ces mucilages, non prévisible, est un obstacle majeur à l'évaluation de l'état de conservation des fonds coralligène par technique photographiques.

Le calcul des valeurs d'INDEX-COR, basé sur l'intégration des Peysonneliacées dans le calcul de la métrique 1 (sensibilité taxonomique), classe la majorité des sites dans un état moyen de conservation en utilisant l'échelle d'évaluation définie en région PACA (Sartoretto *et al*., 2017). Les valeurs de la métrique 1 et d'INDEX-COR discriminent mal les sites d'étude en fonction du niveau d'impacts des activités humaines, déterminées *a priori* (tab. 2). Le calcul d'INDEX-COR établie en tenant compte d'une valeur de métrique 1 modifiée (sans Peysonnéliacées) déclasse l'évaluation de l'état de conservation de l'ensemble des sites mais permet une meilleure discrimination en fonction de l'impact des usages pratiqués, les plus faibles valeurs s'observant au niveau des stations du Troc 2015 (-20m) et du cap Béar. De plus, cette valeur de métrique 1 modifiée permet une meilleure comparaison des séries 2015 et 2018. Les valeurs d'INDEX-COR ne sont pas significativement différentes pour les stations du cap l'Abeille et du sec Rédéris. En revanche, concernant le Troc, elles diffèrent fortement entre 2015 (IC : 27,17) et 2018 (IC : 43,63). Cette différence s'explique par la différence de profondeur et le type de faciès rencontrées dans ces deux stations, la station 2018 (sec à Yvan) étant caractérisée par un peuplement à gorgones (*Eunicella singularis* et *Paramuricea clavata*) dense. Le retrait des Peyssonnéliacées du groupe III de la métrique 1 peut s'expliquer par le fait que ce

groupe paraît particulièrement abondant dans les environnements caractérisés par une sédimentation importante (Sartoretto, 1996; Ballesteros, 2006). En Roussillon, ces algues calcaires ne constituent donc pas un groupe suffisamment discriminant dans le cadre de l'évaluation de l'état de conservation en fonction des pressions anthropiques. Ce résultat confirme les conclusions avancées dans le rapport de l'année 2015. Pour l'application de l'indice INDEX-COR en Roussillon, les Peyssonneliacées doivent donc être exclues dans le calcul du pourcentage de taxon du groupe III. En revanche, le test d'exclusion des Cliones (*Cliona* spp.) dans le calcul du pourcentage de taxon du groupe I ne montre pas de différence significative. Ce taxon peut donc être intégré dans le calcul de la valeur de la métrique 1.

Enfin, concernant le calcul de la valeur de référence permettant d'adapter l'échelle d'évaluation, le nombre de stations prises en compte en 2015 et 2018 (5 sites) n'est toujours pas suffisant pour définir une valeur en Roussillon. En effet, quelque soit le niveau de pression, l'ensemble du littoral est soumis à un fort niveau de sédimentation. Ce paramètre environnemental conditionne les assemblages de substrat durs avec la prédominance des espèces encroûtantes notamment (Balata *et al.*, 2005). Il entraîne une similarité accrue de la composition des peuplements à petite et large échelle, prédominant sur le complexité structurale de l'habitat (Balata *et al.*, 2007). Il en résulte que la définition d'une valeur de référence de l'indice INDEX-COR en région Roussillon, doit être basée pour l'instant sur la notion de valeur relative (à un instant T0) comme préconisé en conclusion de l'année 2015. Cette valeur correspond alors à la valeur seuil de départ qu'il convient de ne pas voir se dégrader. Dans un deuxième temps, un échantillonnage plus important de station à l'échelle de la région paraît nécessaire pour une adaptation du calcul de l'indice. En effet, la formule d'INDEX-COR définie à partir d'un jeux de données acquis en région PACA donne un poids plus important à la première métrique (sensibilité taxonomique). Compte tenu du contexte environnemental en région Roussillon, il convient très certainement de revoir cette pondération par rapport aux deux autres métriques.

4.2. Métriques des compartiments de l'EBQI

Le calcul de l'indice EBQI sur l'habitat coralligène de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère Banyuls nécessitera d'acquérir entre le printemps et l'automne, des données sur les compartiments non échantillonnés en 2018. Les valeurs obtenus pour les compartiments 1, 3, 4 et 10 sont cohérentes avec les conditions environnementales générales de la région. Elles ne montrent pas a priori de variabilité pouvant être reliées au niveau de pression. L'indice de confiance des valeurs est maximal pour les trois premiers compartiments. Ces valeurs peuvent être directement intégré dans le calcul de l'EBQI. En revanche, concernant le compartiment 10, il serait nécessaire de refaire un comptage des détritivores lors l'acquisition des données pour les compartiments manquants afin de qualifier les valeurs avec un indice de confiance maximal. A l'instar d'INDEX-COR, compte tenu des conditions environnementales dans la région de Banyuls, il est peut être également judicieux de reconsidérer la pondération dans le calcul de l'EBQI, des compartiments 3 (filtreurs et suspensivores benthique) et 10 (détritivores benthiques). Ce point pourra être tranché après le calcul de la valeur de l'EBQI pour les cinq stations échantillonnés en 2018.

4.3. Suivi des blanchiments des Corallinacées

Les blanchiments affectant les Corallinacées paraissent affecter de nombreuses zones en Méditerranée occidentale mais également dans certains secteurs du bassin oriental (Turquie). L'origine de ces blanchiments sont encore mal connues. Il semblerait néanmoins que dans de nombreux cas, les anomalies thermiques observées dans les eaux côtières et à l'origine de mortalité massives de gorgonaires, soient également impliquées dans l'apparition des blanchiments de Corallinacées. Dans la réserve de Banyuls, ces blanchiments ont été observés très localement (Cap Abeille) en 2015. En 2018, d'autres stations ont été affectées par ce phénomène (Troc, Rédéris et Cerbère). Compte tenu de la période d'intervention (novembre 2018) et de la température de l'eau de mer (15°C), la température ne paraît pas être un facteur de déclenchant. Il convient de poursuivre le suivi de ce phénomène dans l'ensemble de la Réserve Naturelle, d'un point de vue (i) qualitatif (date d'observation, présence/absence de blanchiments, type de blanchiments observés (CWBD, CTP,...), importance estimée du phénomène) et (ii) quantitatif (mise en place d'un monitoring sur quelques sites à l'aide de quadrats photographiques).

4.4. Conclusion

Les résultats de la campagne 2018 et la comparaison avec les résultats 2015 ont mis en évidence les points suivants :

- Concernant la méthode INDEX-COR, compte tenu des contraintes saisonnières dans la région de Banyuls, la période d'échantillonnage peut être proposé en hiver pour les petits fonds (zone des 20m) et en été pour les fonds coralligène à partir de 30m.

- Le calcul de la métrique 1 d'INDEX-COR ne doit pas prendre en compte le groupe des Peyssonneliacées contrairement à la région PACA.

- Compte de la pondération des trois métriques dans la formulation de l'indice, en Roussillon, INDEX-COR ne paraît pas suffisamment discriminant concernant les impacts liés aux apports de matières organiques et/ou de particules fines (ex: rejet de STEP). En revanche, il paraît adapté vis à vis de l'évaluation des impacts physiques (ex: plongée, pêche,...).

- La classification de l'état de conservation adopté en région PACA, ne l'ai pas en Roussillon, compte tenu de la difficulté à définir une valeur de référence. L'évolution de l'état de conservation des habitats coralligène doit donc être abordé pour le moment, à partir d'un référentiel relatif (état à l'instant T0 (2015)).

- La mise en place de l'EBQI pose des questions similaire sur la pondération de deux compartiments (3 et 10). Une adaptation de cette pondération dans le calcul de l'EBQI devra être tranchée à l'issue de l'acquisition des données pour l'ensemble des compartiments.

➢ Enfin, l'apparition de blanchiments des Corallinacées associées aux fonds coralligène dans les eaux de la Réserve de Cerbère Banyuls s'inscrit dans la dynamique actuelle observée à l'échelle du bassin nord-occidental de la Méditerranée. Ce phénomène doit être suivi d'un point de vue qualitatif et quantitatif au niveau de la Réserve

Dans ce cadre, en perspective il peut être proposer :

➢ d'étendre la méthode INDEX-COR à un plus grand nombre de stations afin de disposer d'un jeu de données suffisant pour adapter statistiquement l'équation définissant l'indice INDEX-COR (pondération de la métrique 1 par rapport aux deux autres pour la région Roussillon) et ainsi définir une valeur de référence absolue.

➢ D'appliquer la méthode EBQI à l'ensemble de ce jeu de données afin de définir si une adaptation des pondérations de chaque compartiment (modèle conceptuel) doit être envisagé afin de tenir des caractéristiques éco-régionales.

➢ Appliquer un protocole simple de recensement des blanchiments de Corallinacées en plongée et de mettre en place un monitoring de quelques sites (transects ou quadrats permanents et suivi par photoquadrats) afin de disposer de données quantitatives.

5. Références bibliographiques

Balata D., Piazzi L., Cecchi E., Cinelli F., 2005. Variability of Mediterranean coralligenous assemblages subject to local variation in sediment deposition. *Mar. Envir. Res.*, 60: 403-421.

Balata D., Piazzi L., Benedetti-Cecchi L., 2007. Sediment disturbance and loss of beta diversity on subtidal rocky reefs. *Ecology*, 88(10) : 2455ï 2461.

Ballesteros E., 2006. Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. Oceanogr. *Mar. Biol. Annu. Rev*., 44: 123ï 195.

Cecchi E., Gennaro P., Piazzi L., Ricevuto E., Serena F., 2014. Development of a new biotic index for ecological status assessment of Italian coastal waters based on coralligenous macroalgal assemblages. *Eur. J. Phycol.*, 49: 298ï 312.

Deter J., Descamp P. Ballesta L., Boissery P., Holon F., 2012. A preliminary study toward an index based on coralligenous assemblages for the ecological status assessment of Mediterranean French coastal waters. *Ecol. Ind.*, 20 : 345-352.

Dumas P., Bertaud A., Peignon C.,Léopold M., Pelletier D., 2009. A "quick and clean" photographic method for the description of coral reef habitats. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 368: 161-168.

Feldmann J., 1937. *Recherches sur la Végétation Marine de la Méditerranée: la Côte des Albères*. Rouen: Wolf.

Gatti G., Bianchi C.N., Morri C., Montefalcone M., Sartoretto S., 2015. Coralligenous reefs state along anthropized coasts: Application and validation of the COARSE index, based on a rapid visual assessment (RVA) approach. *Ecol. Ind.*, 52 : 567-576.

Gatti G., Piazzi L., Schon T., David R., Montefalcone M., Féral J.-P., Sartoretto S., 2016. *A comparison among coralligenous-based indices for the assessment of the marine ecological quality*. 51st European Marine Biology Symposium, EMBS, Rhodes, Greece, 26-30 September 2016

Hereu B., Kersting D.K., 2016. Diseases of coralline algae in the Mediterranean Sea. *Coral Reefs*, 35(2): 713-713.

Hill J., Wilkinson C., 2004. *Methods for ecological monitoring of coral reefs*. Australian Institute of Marine Science, Townsville.

Laubier, L., 1966. Le coralligène des Albères : monographie biocénotique. *Ann. Inst. Océanogr. Monaco*, 43 : 139-316.

Marion A.F., 1883. Esquisse d'une topographie zoologique du Golfe de Marseille. Annales Musée d'Histoire Naturelle Marseille, 1: 1-108.

Martin S., Gattuso J.P., 2009. Response of Mediterranean coralline algae to ocean acidification and elevated temperature. *Global Change Biology*, 15: 2089ï 2100.

Personnic S., Boudouresque C.F., Astruch P., Ballesteros E., Bellan-Santini D., Bonhomme P., Feunteun E., Harmelin-Vivien M., Pergent G., Pergent-Martini C., Pastor J., Poggiale J.C., Renaud F., Thibaut T., Ruitton S., 2014. An ecosystem-based approach to evaluate the status of a Mediterranean ecosystem, the *Posidonia oceanica* seagrass meadow. *Plos ONE*, 9(6): e98994.

Piazzi L., Gennaro P., Cecchi E., Serena F., Bianchi C.N., Morri C., Montefalcone M., 2017. Integration of ESCA index through the use of sessile invertebrates. *Sci. Mar.*, 81: 283-290.

Piazzi L., Bianchi C.N., Cecchi E., Gatti G., Guala I., Morri C., Sartoretto S., Serena F., Montefalcone M., 2017. What's in an index? Comparing the ecological information provided by two indices to assess the status of coralligenous reefs in the NW Mediterranean Sea. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 1: 1-10

Piazzi L., Gennaro P., Montefalcone M., Bianchi C.N., Cecchi E., Morri C., Serena F., 2019. STAR: An integrated and standardized procedure to evaluate the ecological status of coralligenous reefs. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst*., 29: 189-201.

Pruvot G. 1894. Sur les fonds sous-marins de la region de Banyuls et du cap de Creus. *C. R. Acad. Sci.*, 118 : 203ï 206.

Pruvot G. 1895. Coup d′oeil sur la distribution générale des invertébrés dans la region de Banyuls (Golfe du Lion). *Arch. Zool. Exp. Gen.*, 3 : 629ï 658.

Quéré G., 2015. *Ecology of disease affecting Crustose Coralline Algae - Characteristics Environmental, Drivers and Effects on Coral Recruitment*. PhD, Université de Brème, 113pp.

Rastogeff P.A., Bellan-Santini D., Bianchi C.N., Bussotti S., Chevaldonné P., Guidettl P., Harmelin J.G., Montefalcone M., Morri C., Pérez T., Ruitton S., Vacelet J., Personnic S., 2015. An ecosystem-based approach to evaluate the ecological quality of Mediterranean undersea caves. *Ecol. Ind.*, 54: 137-152.

Rodríguez-Prieto C., 2017. Light and temperature requirements for survival, growth and reproduction of the crustose coralline *Lithophyllum stictaeforme* from the Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, 59(2-3): 95-104.

Ruitton S., Boudouresque C.F., Thibaut T., Rastorgeff P.A., Personnic S., Boissery P., Daniel B., 2017. *Guide méthodologique pour l'évaluation écosystémique des habitats marins*. MIO Publ., 161p.

Sartoretto S., Francour P., 1997. Quantification of bioérosion by *Sphaerechinus granularis* on 'coralliène' concretions of the western Mediterranean. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 77: 565-568.

Sartoretto S., Schohn T., 2015. *Mise au point d'un indice global d'évaluation de l'état de conservation des formations coralligènes ï Rapport de phase 3*. Rapport IFREMER/AAMP, 66p.

Sartoretto S., 1996. Vitesse de croissance et de bioérosion des concrétionnements 'coralligène' de Méditerranée nord-occidentale. Rapport avec lesvairations holocène du niveau marin. Thèse de doctorat d'Ecologie, Université d'Aix-Marseille II, 194pp.

Sartoretto S., Francour P., 1997. Quantification of bioerosion by *Sphaerechinus granularis* on 'coralligene' concretions of the western Mediterranean. *J.M.B.A. UK*, 77: 565-568.

Sartoretto S., 2015. *Etude de l'état de conservation du coralligène basé sur des indicateurs biologiques au sein de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls*. Contrat RNM Cerbère-Banyuls/IFREMER, 25p.

Sartoretto S., Schohn T., Bianchi C.N., Morri C., Garrabou J., Ballesteros E., Ruitton S., Verlaque M., Daniel B., Charbonnel E., Blouet S., David R., Feral J.P., Gatti G., 2017. An integrated method to evaluate and monitor the conservation state of coralligenous habitats: The INDEX-COR approach. *Mar. Pollut. Bull.*, 120(1-2): 222-231.

Thibaut T., Blanfuné A., Boudouresque C.F., Personnic S., Ruitton S., Ballesteros E., Bellan-Santini D., Bianchi C.N., Bussotti S., Cebrian E., Cheminée A., Culioli J.M., Derrien S., Guidetti P., Harmelin-Vivien M., Hereu B., Morri C., Poggiale J.C., Verlaque M., 2017. An ecosystem-based approach to assess the status of mediterranean shallow algae-dominated rocky reefs. *Mar. Pollut. Bull.*, 117: 311-329.

Trygonis V., Sini M., 2012. PhotoQuad: A dedicated seabed image processing software, and a comparative error analysis of four photoquadrat methods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 424ï 425: 99ï 108.

Annexe I : Taxons pris en compte dans le calcul de la métrique 1 (sensibilité taxonomique) (*in* Sartoretto *et al.*, 2017).

Taxon	Groupe de sensibilité	Taxon	Groupe de sensibilité
Corallinacée encroûtante	GI	*Crambe crambe*	GIII
Zanardinia typus	GI	*Petrosia ficiformis*	GIII
Cacospongia spp.	GI	*Scalarispongia/Sarcotragus*	GIII
Chondrosia reniformis	GI	*Spirastrella cunctatrix*	GIII
Cliona viridis	GI	*Leptogorgia sarmentosa*	GIII
Dysidea spp.	GI	*Hoplangia durotrix*	GIII
Cliona (rouge) sp1	GI	*Leptopsammia pruvoti*	GIII
Cliona sp.	GI	*Codium effusum*	GIV
Cliona schmidti	GI	*Codium coralloides*	GIV
Cliona celata	GI	*Acanthella acuta*	GIV
Parazoanthus axinellae	GI	*Aplysilla sulfurea*	GIV
Eunicella singularis	GI	*Aplysina cavernicola*	GIV
Frondipora verrucosa	GI	*Crella pulvinar*	GIV
Myriapora truncata	GI	*Haliclona mucosa*	GIV
Halimeda tuna	GII	*Hexadella racovitzai*	GIV
Axinella verrucosa	GII	*Ircinia* spp.	GIV
Haliclona fulva	GII	*Oscarella tuberculata*	GIV
Hemimycale columella	GII	*Pleraplysilla spinifera*	GIV
Phorbas tenacior	GII	*Dentiporella sardonica*	GIV
Alcyonium spp.	GII	*Adeonella calveti*	GIV
Corallium rubrum	GII	*Smittina cervicornis*	GIV
Eunicella cavolini	GII	*Aplidium undulatum*	GIV
Paramuricea clavata	GII	*Aplidium* spp.	GIV
Caryophyllia inornata	GII	*Clavelina* spp.	GIV
Rhynchozoon neapolitanum	GII	*Halocynthia papillosa*	GIV
Reteporella grimaldii	GII	*Polycitor crystallinus*	GIV
Schizomavella spp.	GII	*Polyclinum aurantium*	GIV
Flabellia petiolata	GIII	*Pycnoclavella* spp.	GIV
Palmophyllum crassum	GIII		
Peyssonnelia foliacée	GIII		
Peyssonnelia encroûtant	GIII		
Mesophyllum foliacés	GIII		
Lithophyllum spp. Foliacées	GIII		
Agelas oroides	GIII		
Axinella damicornis	GIII		

Annexe II : Taxons pris en compte dans le calcul de la métrique 3 (complexité structurale) (*in* Sartoretto *et al.*, 2017).

Taxon	Strate	Taxon	Strate	Taxon	Strate
Acanthella acuta	Basale	*Petrosia ficiformis*	Basale	*Axinella damicornis*	Intermediaire
Aplidium spp.	Basale	*Phorbas tenacior*	Basale	*Axinella vaceleti*	Intermediaire
Aplysilla sulfurea	Basale	*Phyllangia mouchezii*	Basale	*Bispira volutacornis*	Intermediaire
Balanophyllia europaea	Basale	*Pleraplysilla spinifera*	Basale	*Cellaria* spp.	Intermediaire
Cacospongia spp.	Basale	*Polysyncraton* spp.	Basale	*Chondrosia reniformis*	Intermediaire
Caryophyllia inornata	Basale	*Raspaciona aculeata*	Basale	*Chrysymenia ventricosa*	Intermediaire
Clavelina spp.	Basale	*Rhynchozoon neapolitanum*	Basale	*Cladocora caespitosa*	Intermediaire
Codium effusum	Basale	*Schizomavella* spp.	Basale	*Clathrina* spp.	Intermediaire
Corticium candelabrum	Basale	*Scrupocellaria* sp.	Basale	*Codium bursa*	Intermediaire
Corynactis viridis	Basale	*Spirastrella cunctatrix*	Basale	*Codium fragile*	Intermediaire
Crambe crambe	Basale	Stolonifères	Basale	*Corallium rubrum*	Intermediaire
Crella pulvinar	Basale	*Valonia macrophysa*	Basale	*Cystodytes dellechiajei*	Intermediaire
Dentiporella sardonica	Basale	*Zanardinia typus*	Basale	*Cystoseira zosteroides*	Intermediaire
Dictyonella sp.	Basale	Didemnidae	Basale	*Cystoseira* spp.	Intermediaire
Didemnum drachi	Basale	*Codium coralloides*	Basale	*Diazona violacea*	Intermediaire
Diporula verrucosa	Basale	*Hexadella* spp.	Basale	*Dictyopteris polypodioides*	Intermediaire
Dysidea spp.	Basale	*Polycitor crystallinus*	Basale	*Dictyota dichotoma*	Intermediaire
Frondipora verrucosa	Basale	*Didemnum* sp.	Basale	*Dictyota fasciola*	Intermediaire
Gregarinidra gregaria	Basale	*Phorbas* sp1	Basale	*Eudendrium* spp.	Intermediaire
Haliclona fulva	Basale	*Haliclona* spp.	Basale	*Flabellia petiolata*	Intermediaire
Haliclona mucosa	Basale	*Chondrilla* sp.	Basale	*Gloiocladia repens*	Intermediaire
Hemimycale columella	Basale	*Diplosoma spongiforme*	Basale	*Haliclona mediterranea*	Intermediaire
Hexadella pruvoti	Basale	*Paracyathus pulchellus*	Basale	*Halimeda tuna*	Intermediaire
Hexadella racovitzai	Basale	*Polyclinum aurantium*	Basale	*Halocynthia papillosa*	Intermediaire
Hoplangia durotrix	Basale	*Aplysilla rosea*	Basale	*Halopteris filicina*	Intermediaire
Hornera lichenoides	Basale	*Chondrilla nucula*	Basale	*Halymenia elongata*	Intermediaire
Ircinia spp.	Basale	*Pycnoclavella* spp.	Basale	*Idmidronea* sp.	Intermediaire
Leptopsammia pruvoti	Basale	*Erylus deficiens*	Basale	*Myriapora truncata*	Intermediaire
Madracis pharensis	Basale	*Clavelina lepadiformis*	Basale	*Oscarella lobularis*	Intermediaire
Madréporaires coloniaux	Basale	*Ircinia variabilis*	Basale	*Oscarella tuberculata*	Intermediaire
Mesophyllum foliacés	Basale	*Adeonella calveti*	Intermediaire	*Oscarella* spp.	Intermediaire
Lithophyllum spp. Foliacées	Basale	*Agelas oroides*	Intermediaire	*Osmundaria volubilis*	Intermediaire
Miniacina miniacea	Basale	*Alcyonium* spp.	Intermediaire	*Padina pavonica*	Intermediaire
Palmophyllum crassum	Basale	*Aplidium undulatum*	Intermediaire	*Pentapora fascialis*	Intermediaire

Parazoanthus axinellae	Basale	*Aplysina cavernicola*	Intermediaire	*Phallusia fumigata*	Intermediaire
Taxon	**Strate**	**Taxon**	**Strate**	**Taxon**	**Strate**
Phallusia mammillata	Intermediaire	*Axinella polypoides*	Elevée		
Phyllariopsis brevipes	Intermediaire	*Eunicella cavolini*	Elevée		
Reteporella grimaldii	Intermediaire	*Eunicella singularis*	Elevée		
Sabella pavonina	Intermediaire	*Eunicella verrucosa*	Elevée		
Sabella spallanzanii	Intermediaire	*Leptogorgia sarmentosa*	Elevée		
Scalarispongia/Sarcotragus	Intermediaire	*Paramuricea clavata*	Elevée		
Schizotheca serratimargo	Intermediaire	*Spongia lamella*	Elevée		
Smittina cervicornis	Intermediaire				
Sphaerococcus coronopifolius	Intermediaire				
Spongia sp.	Intermediaire				
Spongia/Hippospongia spp.	Intermediaire				
Suberites sp.	Intermediaire				
Tethya aurantium	Intermediaire				