

Mémoire

Auteur : Titri, Lucinda

Promoteur(s) : Hubert, Aurelia

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en océanographie, à finalité approfondie

Année académique : 2022-2023

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/18594>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Comité du jury : Jean-Marie BECKERS, Loïc MICHEL, Stéphane ROBERTY

Promotrice du mémoire : Aurélia HUBERT-FERRARI

Spécificités des coraux d'eaux profondes du détroit de Rion-Antirion (Grèce),
de leurs habitats et hydrodynamisme, par rapport aux coraux d'eaux profondes
en Méditerranée

Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade de Master en
Océanographie, par Lucinda TITRI

Année académique 2022-2023

“Conformément aux règles imposées à la rédaction, ce mémoire ne doit pas dépasser 50 pages, rédigées en Times 12 ou équivalent”.

Résumé

Le développement des coraux d'eaux froides (ou coraux d'eaux profondes ; CWC) est principalement contrôlé par les conditions physiques et la géologie d'un habitat propice à leur croissance. En Méditerranée, les études sur ces coraux portent principalement sur la description des espèces et étudient peu les processus océanographiques qui régissent leurs habitats. L'objectif principal est d'identifier quels processus sont responsables de la distribution de ces coraux en Méditerranée, en se focalisant sur la zone du détroit de Rion-Antirion (Grèce). Pour cela, une synthèse bibliographique a été réalisée sur ces diverses provinces des CWC en Méditerranée, ce qui permet d'obtenir une vision globale de la distribution des espèces et sur les conditions nécessaires à leur développement (habitats avec grande surface eau-sédiments favorisés et fort hydrodynamisme). Cette synthèse a mis en évidence que les coraux sont distribués selon des provinces, en lien avec des courants intermédiaires et profonds. Dans le détroit, des données récoltées lors de deux campagnes océanographiques, en 2019 et 2023 (acquisitions, cartographie de la topographie, mesures de courant et données d'un modèle océanographique), permettent de décrire les espèces présentes pour chaque méga-habitat identifié. Les habitats les plus propices au développement des CWC présentent une topographie complexe et des courants de fond relativement forts (>15 cm/s), permettant un apport nutritif et la dispersion larvaire. Au niveau du détroit de Rion-Antirion, les coraux montrent une spéciation selon le type d'habitat et la force des courants. Leur distribution est liée, en premier lieu, aux fortes variations hydrodynamiques de cette zone, les courants les plus forts étant un facteur limitant, et, en second lieu, à des méso-macro-habitats (monticules, parois de chenaux) les protégeant du fort hydrodynamisme et facilitant l'ancrage larvaire. L'effet négatif d'un trop fort hydrodynamisme sur les communautés de CWC et leur biodiversité est clairement mis en évidence pour la première fois dans ce mémoire.

Mots-clés : coraux d'eaux froides, coraux d'eaux profondes, *Corallium Rubrum*, cartographie des habitats, Détroit de Rion-Antirion

Abstract

The development of cold-water corals (or deep-water corals; CWC) is mainly controlled by the physical conditions and the geology that lead to a suitable habitat for their growth. In the Mediterranean Sea, studies of these corals focus mainly on describing the species but with poor research on the oceanographic processes governing their habitats. The main objective is to identify the processes responsible for the distribution of these corals in the Mediterranean Sea, focusing on the Rion-Antirion Strait (Greece). To this end, a literature review has been carried out on the various CWC provinces in the Mediterranean Sea, providing an overall view of the species distribution and the required conditions for their development (habitats with a large water-sediment surface area and strong hydrodynamics). This synthesis evidenced that corals are distributed according to provinces, linked to intermediate and deep currents. In the Rion-Antirion Strait, data collected during two oceanographic surveys, in 2019 and 2023 (video acquisitions, topography mapping, current measurements and data from an oceanographic model), will be used to describe the species present in each mega-habitat identified. The most suitable habitats for the development of CWCs have a complex topography and relatively strong bottom currents (>15 cm/s), providing nutrients and allowing larval dispersion. In the Rion-Antirion Strait, the corals show speciation depending on the type of habitat and the strength of the currents. Their distribution is linked, firstly, to the strong hydrodynamic variations in the area, the strongest currents being a limiting factor, and, secondly, to the meso-macro-habitats (mounds, channel walls) that protect the CWC from the strong hydrodynamics and facilitate larval anchorage. The negative effect of excessive hydrodynamics on CWC communities and their biodiversity is clearly demonstrated for the first time in this master thesis.

Keywords: cold-water-corals, deep-water-corals, *Corallium Rubrum*, habitat mapping, Rion-Antirion Strait

Remerciements

Je tiens à remercier très sincèrement ma promotrice Aurélia HUBERT-FERRARI pour toute ta bienveillance et tes conseils avisés pendant l'année. Merci de m'avoir aiguillé et d'avoir su répondre à tous mes questionnements, parfois confus. Merci de m'avoir proposé un sujet ambitieux tout en me laissant assez d'autonomie tout au long de ce projet. Je tiens à remercier très sincèrement Basile CATERINA pour toute ton aide, ta bienveillance et tes conseils précieux, plus qu'utiles. Merci à tous les deux pour toute votre aide et votre temps ! Merci à tous les deux pour tous les moments passés ensemble, à Liège ou à Patras. Sans vous, la rédaction et la finalisation de ce projet n'auraient pas pu être possible. Je tiens à remercier Marthe LEFÈVRE pour tous tes conseils avisés, pour les moments passés ensemble sur le terrain où on a finalement pu trouver des traces dans le Golfe de Patras. Je tiens à remercier Meriem Lina MOULANA pour ton accueil au département et ta bienveillance tout au long de l'année. Je tiens à remercier Maria GERAGA et George PAPATHEODOROU pour leur accueil chaleureux, ainsi que toute l'équipe du laboratoire OCEANUS-Lab (Université de Patras), pour leur accueil et leur gentillesse à mon égard durant tout le projet. Ευχαριστώ πολύ !

Je tiens à remercier mes collègues et amis océanos, Bastien, Mathilde et Jeanne, pour votre soutien en toutes circonstances et toute votre bienveillance. Merci pour tous les fous rires aux larmes et joyeux tout court ! Je tiens à remercier Nihal pour ta gentillesse et ton soutien sans failles plus qu'important pendant ces deux dernières années. Je tiens à remercier mes amis de longue date, qui se reconnaîtront dans ces quelques lignes. Merci à vous tous pour votre soutien pendant toutes mes années d'études, malgré la distance. Je tiens à remercier sincèrement mes parents et ma famille proche sans qui l'aboutissement de ces études n'aurait jamais eu lieu. Merci d'avoir cru en moi pendant toutes ces années, vous savez déjà tout. Enfin, et surtout, avec ce travail, je tiens à rendre hommage à ceux qui m'ont toujours soutenu et encouragé, mais qui n'ont malheureusement pas su voir l'aboutissement de ce Master.

Tables des matières

Résumé	iii
Abstract	iv
Remerciements	v
Tables des matières	vi
Abréviations	ix
1 Introduction et question de recherche	1
2 État de l’art	2
2.1 Biologie et Écologie : croissance et distribution des CWC	2
2.1.1 Écophysiologie des CWC.....	3
2.1.2 Croissance des CWC, à l’échelle de l’organisme : reproduction et survie	5
2.1.3 Croissance des CWC, à l’échelle de la colonie : écologie	6
2.1.4 Distribution des provinces de CWC en Méditerranée.....	8
2.2 CWC et hydrodynamisme	9
2.2.1 Processus hydrodynamiques sur de grandes échelles de temps et d’espace	9
2.2.2 Processus hydrodynamiques sur de petites échelles de temps et d’espace	12
2.3 Géologie, habitat et géomorphologie	14
2.3.1 Cartographie et caractéristiques des habitats.....	15
2.3.2 Méga-habitats (de l’ordre du km).....	16
2.3.3 Méso-habitats (de l’ordre de 100 m)	17
2.3.4 Macro- et micro-habitats (de l’ordre inférieur à 10 m).....	17
2.4 Histoire géologique du bassin Méditerranéen : impact de la Crise Messinienne sur la mise en place des CWC dans le bassin	18
2.5 Impacts du changement climatique actuel et des activités anthropiques et sur les communautés de CWC en Méditerranée	19
2.5.1 Cas du corail rouge précieux, <i>C. Rubrum</i>	19

2.5.2 Cas des CWC de manière générale	20
3 Présentation de la zone d'étude : le détroit de Rion-Antirion	23
4 Matériel et méthodes	25
4.1 Campagnes océanographique et déploiement des caméras	25
4.2 Préparation des données et traitement des vidéos de 2019 et 2023	27
4.3. Synthèse bibliographique et clé d'identification des espèces de CWC observés	28
4.3.1 Identification des habitats du détroit et cartographie	29
4.3.2 Estimation relative de la densité corallienne le long des transects.....	29
4.3.3 Cartographie des courants de fond	30
5 Résultats	30
5.1 Caractérisation du biotope corallien au niveau du détroit de Rion-Antirion	30
5.1.1 Caractérisation des types d'habitats au niveau du détroit	30
5.1.2 Espèces présentes au niveau du détroit et cartographie	32
5.1.3 Description des transects	32
5.1.4 Cartographie des espèces au niveau du détroit.....	36
5.1.5 Estimation de la densité corallienne et de coraux rouges.....	39
5.1.6 Orientations de <i>C. Rubrum</i> par rapport au substrat	40
5.1.7 Traces de l'impact anthropique	41
5.2 Cartographie des courants de fond	41
5.3 Synthèse bibliographique	43
5.3.1 Provinces de CWC	43
5.3.2 Comparaison de la diversité de CWC en Méditerranée autour de la zone d'étude et au niveau du détroit	44
6 Discussion	45
6.1 Lien entre la présence de CWC et les courants dans la zone du détroit.....	45
6.2 Lien entre la présence de CWC et la géomorphologie dans la zone du détroit.....	47

6.3 Comparaison avec les autres provinces de CWC en Méditerranée.....	48
6.4 Impacts du changement climatique actuel et des activités anthropiques sur les communautés de CWC dans la zone d'étude	49
7 Conclusions et perspectives	50
Bibliographie.....	vi
Références ICGF, 2018 (Greek Fauna Documentation Center, Hellenic Zoological Society) utilisés pour la synthèse bibliographique	xii
Références GBIF (Global Biodiversity Information Facility) utilisées pour les clés d'identifications	xiii
9 Annexes.....	xiv

Abréviations

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
ADW	Adriatic Deep Water
BP	Before present
<i>C. Rubrum</i>	<i>Corallium Rubrum</i>
CMEMS	Copernicus Marine Environment Monitoring Service
CTD	Conductivity Temperature Depth
CWC	Cold-water-corals
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
ICGF	Greek Fauna Documentation Center, Hellenic Zoological Society
LIW	Levantine Intermediate Water
MBES	Multibeam echosounder
ROV	Remotely Operated Vehicle
UTM	Universal Transverse Mercator

1 Introduction et question de recherche

Lors d'une précédente campagne océanographique réalisée en mai 2019, l'équipe de chercheurs du laboratoire OCEANUS-LAB (Laboratoire de Géologie Marine et d'Océanographie Physique de l'Université de Patras, Grèce) et du département de Géographie a pu mettre en évidence l'existence de coraux d'eaux froides, ou CWC ("*cold-water-corals*") dans les eaux du détroit de Rion-Antirion en Grèce entre 50 et 100 m de profondeur.

Les CWC sont des organismes vulnérables et sensibles aux pressions anthropiques. L'ensemble des CWC et de leurs habitats forment des écosystèmes importants (Taviani *et al.*, 2011 ; Lauria *et al.*, 2017 ; Corbera *et al.*, 2019). Il est donc crucial de comprendre leur fonctionnement, notamment en Méditerranée où moins de CWC sont retrouvés que dans le reste des océans et où les populations de CWC sont généralement de plus petites tailles et les colonies plus dispersées. Les écosystèmes de CWC peuvent constituer des niches écologiques pour de nombreux organismes marins (Roberts *et al.*, 2006 ; Mienis *et al.*, 2007 ; Danovaro *et al.*, 2010 ; Bongiorno *et al.*, 2010 ; Mytilineou *et al.*, 2014 ; Taviani *et al.*, 2017 ; Rueda *et al.*, 2019 ; Corbera *et al.*, 2019 ; D'Onghia, 2019 ; Orejas et Jiménez, 2019). Par exemple, *Desmophyllum pertusum* (espèce de la famille des Caryophyllidae spp. ; anciennement *Lophelia pertusa* ; Orejas et Jiménez, 2019) est une espèce très présente dans les eaux profondes (observée de 39 m à 2775 m) dont la structure peut abriter jusqu'à 1300 espèces (Roberts *et al.*, 2006). Les CWC sont aussi des systèmes souvent retrouvés en eaux profondes, sous la zone photique et sous la limite de l'action des vagues. En Méditerranée, les CWC se trouvent dans des zones avec un hydrodynamisme important, associé aux courants d'eaux intermédiaires et profonds, en lien avec une architecture sédimentaire particulière appelée "contourite" (une formation sédimentaire liée aux courants de fond ; Roberts *et al.*, 2006 ; Rebesco and Taviani, 2019 ; Corbera *et al.*, 2019). Les courants contrôlent l'habitat des CWC et cet habitat contrôle différents facteurs indispensables à la survie et la croissance des CWC tels que l'apport nutritif ou la dispersion larvaire (White *et al.*, 2005 ; Davies *et al.*, 2009 ; Chimienti *et al.*, 2019).

En Méditerranée, les CWC sont distribués sur différentes provinces, correspondant à des zones de forte abondance et diversité (Taviani *et al.*, 2005 ; Álvarez-Pérez *et al.*, 2005 ; Rossi *et al.*, 2008 ; Salomidi *et al.*, 2009b ; Dounas *et al.*, 2010 ; Taviani *et al.*, 2011 ; Ambroso *et al.*, 2013 ; Mytilineou *et al.*, 2014 ; Costantini et Abbiati, 2016 ; Taviani *et al.*, 2017 ; Rueda *et al.*, 2019 ; Rebesco et Taviani, 2019 ; Lo Iacono *et al.*, 2019 ; Corbera *et al.*, 2019 ; Otero *et al.*, 2022 ; ICGF, 2018). En dehors des provinces connues, les CWC restent peu étudiés, c'est pourquoi la

caractérisation des habitats est nécessaire pour la compréhension globale des processus présents au sein des écosystèmes de CWC.

L'objectif de ce mémoire est la caractérisation des CWC du détroit de Rion-Antirion, ainsi que de leur habitat sur la base de deux campagnes océanographiques. Ces CWC, dont particulièrement *C. Rubrum* seront comparés aux autres CWC méditerranéens grâce à une synthèse bibliographique sur le sujet.

Pour ce faire, le mémoire comprend, en première partie, un état de l'art sur les CWC en général et en Méditerranée ; en seconde partie, les campagnes et les méthodologies utilisées ; en troisième partie, la caractérisation du biotope corallien du détroit de Rion-Antirion (identification des différentes espèces, taille, densité), des habitats et des conditions hydrodynamiques du détroit ; et enfin une comparaison avec les CWC de Méditerranée. Pour cela, une base de données des sites et provinces des CWC, en se concentrant sur *C. Rubrum* a été réalisée à l'échelle de la Méditerranée. Cette synthèse ainsi que l'état de l'art présenté permettront de discuter des processus océanographiques et des habitats responsables de la distribution des CWC dans le détroit et de les comparer avec ceux de la Méditerranée.

2 État de l'art

2.1 Biologie et Écologie : croissance et distribution des CWC

Les récifs coralliens correspondent à un assemblage compact et stabilisé de squelettes et de débris d'organismes. Ils sont construits par des êtres vivants et formant une structure suffisamment grande et stable dans le temps et l'espace pour exercer une influence déterminante sur l'environnement physique et les conditions écologiques. Le récif abrite une population stable d'organismes spécifiquement adaptés (Sheppard *et al.*, 2017). Il existe différentes classifications et définitions. Dans de ce mémoire, le mot "corail" sera utilisé pour regrouper les espèces de l'ordre des Anthozoa (ou Anthozoaires). Les Anthozoa comprennent plus de 10 000 espèces et constituent un ordre du phylum Cnidaria (ou Cnidaires). À ce jour, 4000 espèces d'Anthozoa sont considérées comme des CWC (Mytilineou *et al.*, 2014). La diversité des CWC est donc plus restreinte que celle des coraux des latitudes tropicales.

Les Anthozoa sont subdivisés en trois sous-classes (ou trois taxons) retrouvées en Méditerranée : les Hexacorallia, les Octocorallia et les Ceriantharia. Les Hexacorallia, environ 6 000 espèces, possèdent une symétrie tentaculaire d'ordre 6. Ce taxon se divise en cinq ordres : Actiniaria (anémones marines), Anthiparia (coraux noirs), Corallimorpharia, Scleractinia (ou Madreporaria;

coraux hermatypiques, constructeurs de récifs), Zoantharia (ou Zoanthidea). Les Octocorallia, environ 3 000 espèces, possèdent une symétrie tentaculaire d'ordre 8. Ce taxon se divise en trois ordres : Pennatulacea, Malacalcyonacea et Scleralcyonacea. L'ordre des Scleralcyonacea comprend le genre *Corallium* et l'espèce *C. Rubrum* (*Corallium rubrum*, “corail rouge précieux”), espèce endémique de la Méditerranée (Santangelo *et al.*, 2004 ; Tsounis *et al.*, 2010). Le taxon des Ceriantharia, moins de 200 espèces identifiées, se divise en deux ordres : Penicillaria et Spirularia.

Bien que les coraux tropicaux soient associés à des eaux chaudes (température optimale moyenne d'environ 21°C) et peu profondes (0 à 50 m de profondeur), les CWC vivent en eaux froides (entre 4 et 15°C) et profondes, c'est-à-dire sous la limite de l'action des vagues et sous la zone photique, correspondant environ à 50 m en Méditerranée. Les CWC ont été identifiés à de grandes profondeurs, entre 200 m et 1200 m, certaines espèces à 2000 m de profondeur en Méditerranée et à 4000 m en Atlantique (Roberts *et al.*, 2006 ; Taviani *et al.*, 2011 ; Corbera *et al.*, 2019 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022). Contrairement aux coraux vivant dans la zone photique, les CWC n'abritent pas d'hôtes symbiotiques photosynthétiques, ils sont azooxanthelles et la lumière n'est donc pas un facteur limitant pour leur croissance (Freiwald *et al.*, 2004 ; Bramanti *et al.*, 2019 ; Roberts *et al.*, 2006 ; Dodds *et al.*, 2007 ; Gori *et al.*, 2016 ; Bruckner *et al.*, 2016 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022).

2.1.1 Écophysiologie des CWC

De manière générale, les principaux facteurs physico-chimiques nécessaires à la croissance corallienne sont (1) la salinité, (2) la température, (3) la chimie de l'eau, (4) l'hydrodynamisme, (5) les nutriments, (6) la sédimentation et (7) l'oxygène dissous (Sheppard *et al.*, 2017). (1) La salinité doit être assez stable pour assurer la survie des CWC. La plupart des espèces de coraux survivent à une salinité moyenne de l'eau de mer (~ 34 à 36), mais il existe des récifs dits “extrêmes” pouvant survivre à des salinités supérieures à 40, comme dans le cas de récifs du Golfe Persique (Sheppard *et al.*, 2017). Les CWC tolèrent bien une gamme de salinité de 33 à 39, mais aucune étude n'adresse directement l'effet des changements de salinité sur les CWC (Maier *et al.*, 2019 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022). (2) La tolérance aux variations de température, dans le cas des CWC, est propre à chaque espèce (Corbera *et al.*, 2019). Généralement, ces espèces présentent une large tolérance thermique (Portilho-Ramos *et al.*, 2022). Le métabolisme des CWC régit la tolérance et la réponse physiologique à de faibles températures. Par exemple, une expérimentation sur *Desmophyllum pertusum* en Atlantique Nord (récif Mingulay) montre que l'activité respiratoire est plus efficace (d'environ + 50 %) quand le corail est maintenu dans des eaux plus chaudes (Dodds *et al.*, 2007). Le taux de

calcification est lié à la chimie des carbonates de l'eau et à la température de l'eau de mer (Dodds *et al.*, 2007 ; Reynaud et Ferrier-Pagès, 2019). (3) La croissance des coraux est liée à la chimie des carbonates dans l'eau. L'état de saturation, noté " Ω ", correspond au niveau de saturation en CaCO_3 (carbonate de calcium) dans l'eau de mer. Les coraux se forment au-dessus d'une certaine profondeur qui correspond à la profondeur de dissolution de l'aragonite (*aragonite saturation state*). À partir de cette profondeur, Ω est égal à 1, c'est-à-dire que l'eau est sous-saturée en aragonite et ne permet pas la formation de squelette calcaire (Maier *et al.*, 2019). La chimie des carbonates est essentielle pour la calcification des éléments carbonatés chez les coraux : le squelette (pour les Scleractinia) ou les sclérites (pour les Alcyonacea), composées de calcite ou d'aragonite (Vielzeuf *et al.*, 2018 ; Lartaud *et al.*, 2019 ; Altuna et Poliseno 2019). Chez les Scleractinia, les coraux durs, le squelette carbonaté constitue un soutien et une protection pour l'ensemble des tissus internes et la structure de l'animal. Chez les Alcyonacea, les coraux mous, ces rôles sont assurés par les sclérites. (4) L'exposition du récif à un hydrodynamisme plus ou moins fort peut directement influencer la morphologie des espèces ou la structures des communautés coralliennes (Sheppard *et al.*, 2017). Généralement, les CWC sont identifiés dans des zones d'hydrodynamisme intense, qui permet de nourrir le récif en nutriments et en larves (Freiwald *et al.*, 2005). Cependant, un hydrodynamisme supérieur à 2 m/s peut nuire aux CWC (Mienis *et al.*, 2007 ; Rebesco et Taviani, 2019). (5) Les coraux sont des organismes sessiles (fixés au substrat) et suspensivores : ils capturent des nutriments en suspension dans l'eau via leurs polypes. Selon les espèces, les CWC peuvent se nourrir de phytoplancton, de zooplancton et de matière en suspension (Roberts *et al.*, 2006 ; Rossi *et al.*, 2008 ; Gori *et al.*, 2013). Ces nutriments sont présents sous différentes formes (inorganiques dissoutes, organiques dissoutes et organiques particulaires). Les CWC étant azooxanthelles, la quantité de nutriments dans le milieu est un facteur essentiel pour leur survie. (6) Pour les CWC, la sédimentation est un facteur important car celle-ci permet l'apport de nutriments (Chimienti *et al.*, 2019 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022). Cependant, une vitesse de sédimentation trop forte (naturelle ou d'origine anthropique) peut conduire à l'enfouissement des coraux (ensablement des coraux) et limiter leur expansion larvaire (Mienis *et al.*, 2007 ; Davies *et al.*, 2009 ; Rebesco et Taviani, 2019 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022). (7) Les CWC sont sensibles aux faibles niveaux d'oxygène dissous dans l'eau de mer et peuvent survivre dans des eaux ayant une concentration en oxygène dissous d'environ 4 ml/l. (Fink *et al.*, 2016 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022). Une étude menée en Mer Ionienne (à Santa Maria Di Leuca), sur l'événement sapropel S1 (période où la Méditerranée est devenue temporairement anoxique), a pu corrélérer cette anoxie avec une extinction temporaire des espèces au cours de l'Holocène, entre 11.4 ka et 5.9 ka BP (Lo

Iacono *et al.*, 2019 ; Fink *et al.*, 2016). L'étude de Fink *et al.*, (2016) indique que la réintroduction des coraux en Mer Ionienne coïncide avec une réoxygénation de l'eau (Holocène ; 5,9. ka BP). De plus, selon les espèces, les CWC présentent une sensibilité différente à de faibles valeurs d'oxygène dissous (Fink *et al.*, 2016). Par exemple, la croissance de *Desmophyllum pertusum* fut moins impacté par l'événement sapropel S1, car malgré les conditions de forte hypoxie, les conditions de salinité et température, plus réduites à cette époque, étaient plus favorables qu'actuellement pour cette espèce en Mer Ionienne (Fink *et al.*, 2016).

2.1.2 Croissance des CWC, à l'échelle de l'organisme : reproduction et survie

La reproduction, pour la plupart des espèces de CWC, est peu étudiée (Reynaud et Ferrier-Pagès, 2019). Leur reproduction comme les autres types de coraux est directement liée au stress : le corail se reproduit peu, voire pas, si l'environnement est considéré comme stressant, c'est-à-dire si les facteurs physico-chimiques ne sont pas optimaux. Il existe différentes stratégies de reproduction, l'hermaphrodisme, le gonochorisme, la fertilisation interne ou par diffusion. Les CWC utilisent tous la stratégie par diffusion et sont dits "*broadcast spawners*". Dans ce cas, les gamètes sont directement expulsés dans l'eau de mer (Reynaud et Ferrier-Pagès, 2019). La gamétogenèse peut être continue (cas des Caryophyllidae spp.) ou non (cas de *Desmophyllum pertusum*) selon les espèces de CWC (Roberts *et al.*, 2006 ; Reynaud et Ferrier-Pagès, 2019). De plus, contrairement aux coraux tropicaux vivant près de la surface, la quasi-totalité des espèces de CWC sont gonochoriques (i.e. les sexes sont séparés et les individus sont soit mâles soit femelles ; Roberts *et al.*, 2006 ; Reynaud et Ferrier-Pagès, 2019). À ce jour, les seules espèces de CWC identifiées comme hermaphrodites (i.e. les sexes ne sont pas séparés, un individu peut être mâle et femelle) sont Caryophyllidae spp. et Flabellum spp. (Reynaud et Ferrier-Pagès, 2019).

Ensuite, il existe deux modes de reproduction : sexuée ou asexuée. La reproduction sexuée correspond à la fusion entre les gamètes mâles et femelles. Ce mode de reproduction permet de favoriser la diversité génétique chez les individus. La reproduction asexuée, quant à elle, peut se faire de différentes manières : (1) la fragmentation, (2) le détachement des polypes, (3) la parthénogenèse ou (4) le clivage. (1) La fragmentation est le type de reproduction le plus fréquent chez les CWC. Suite à une action mécanique (hydrodynamisme trop important ou par l'action anthropique), les coraux se fragmentent en morceaux. Les morceaux issus de la fragmentation s'attachent alors à un nouveau substrat dès que les conditions le permettent (Reynaud et Ferrier-Pagès, 2019). (2) Le détachement des polypes a surtout été observé chez les Scleractinia et résulte d'un stress important (Sammarco *et al.*, 1982; Reynaud et Ferrier-Pagès, 2019; Schweinsberg *et al.*, 2021). (3) La

parthénogenèse correspond à un développement à partir d'œufs non fécondés (Sheppard *et al.*, 2017). (4) Le clivage à lieu pendant les premiers stades de développement des œufs de coraux. Le clivage correspond à la division des cellules-œufs et conduit à la production de nouvelles larves génétiquement identiques (Reynaud et Ferrier-Pagès, 2019).

2.1.3 Croissance des CWC, à l'échelle de la colonie : écologie

Les structures des communautés de CWC peuvent être assez isolées ou en colonies et elles varient selon les espèces ou les localisations. Les récifs de CWC en Atlantique sont parfois de l'ordre du km de diamètre et de quelques centaines de m de hauteur (Roberts *et al.*, 2006 ; Lo Iacono *et al.*, 2019). La distribution des colonies varie selon les espèces. Par exemple, Salomidi *et al.*, (2009b) ont identifié des assemblages de coraux profonds entre 30 m et 120 m de profondeur en Méditerranée orientale. Des différences dans la structure des communautés au sein d'un même taxon sont aussi observées (Rossi *et al.*, 2008 ; Salomidi *et al.*, 2009a ; Costantini *et al.*, 2009 ; Taviani *et al.*, 2010). Par exemple, *Dendrophyllia ramea* et *Dendrophyllia cornigera* présentent des différences significatives concernant leurs morphologies, leurs écologies et leurs distributions géographiques et bathymétriques (Salomidi *et al.*, 2009a)

Pour comprendre la distribution d'une espèce, il faut prendre en compte son histoire de vie. L'histoire de vie d'une espèce, représentée par son cycle de vie, correspond à la distribution des événements majeurs au cours de la vie d'un individu qui contribuent directement ou indirectement à la production et à la survie des descendants (fitness des individus). Le cycle de vie comprend : le recrutement larvaire, qui correspond au premier stade de développement d'une colonie (Bramanti *et al.*, 2019), la croissance et la survie des populations de coraux. Ceux-ci sont influencés par les facteurs relatifs à l'histoire de vie : la compétition intra-spécifique, la géomorphologie de l'habitat, l'hydrodynamisme et le changement climatique actuel (Garrahou et Harmelin, 2002 ; Rossi *et al.*, 2008 ; Cau *et al.*, 2016). Les coraux étant des organismes sessiles, la dispersion des larves sur une plus ou moins grande distance dépend principalement de différentes conditions, notamment hydrodynamiques, au moment de la dispersion (Bramanti *et al.*, 2019). La structure de la colonie sera différente selon les types de dispersion. Par exemple, certaines colonies de coraux ont le même lieu de naissance et de reproduction. Ce type de structure de colonies est dite "philopatride". C'est le cas des colonies de *C. Rubrum* (Garrahou et Harmelin, 2002 ; Santangelo *et al.*, 2004). En revanche, la structure philopatride des colonies de corail rouge peut être un facteur aggravant en cas de forte perturbation car les larves ne se dispersent que peu (Garrahou et Harmelin, 2002).

Un autre facteur important est la densité-dépendance qui peut être un facteur essentiel limitant l'expansion des larves. C'est le cas pour *C. Rubrum*, CWC endémique de la Méditerranée (Santangelo *et al.*, 2004 ; Cau *et al.*, 2016). La densité-dépendance correspond au fait que plus la densité de population augmente, plus le nombre d'individus augmente jusqu'à un certain seuil appelé "capacité de charge environnementale". Ce seuil varie selon les espèces et correspond à la limite à laquelle l'environnement atteint une population maximale compte tenu des ressources disponibles (Fig. 1, Santangelo *et al.*, 2004 ; Bramanti *et al.*, 2019). plus la densité des colonies augmente, plus les effets de la compétition intra-spécifique sont forts. Quand les individus sont en compétition pour les mêmes ressources, cela peut entraîner l'occurrence d'individus de plus petite taille. C'est ce qu'a montré une étude menée au sud de la Sardaigne sur *C. Rubrum* plupart des individus mesurent de 10 cm à 15 cm (Fig. 2, Cau *et al.*, 2016). Au contraire, dans une zone à faible densité corallienne, la compétition intra-spécifique n'est pas le facteur limitant du recrutement corallien et de leur croissance (Santangelo *et al.*, 2004 ; Cau *et al.*, 2016).

Figure 1 : Densité de colonies adultes (en nombre de colonies par dm^2) en fonction du recrutement (en nombre de larves recrutés par dm^2). Ce graphique illustre le phénomène de densité-dépendance. Ici, la capacité de charge environnementale atteint pour une densité d'environ 25 colonies par dm^2 pour *C. Rubrum* (d'après Santangelo *et al.*, 2004).

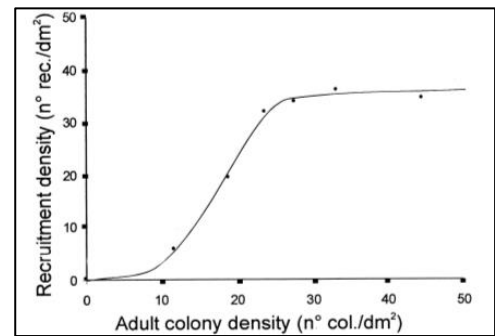
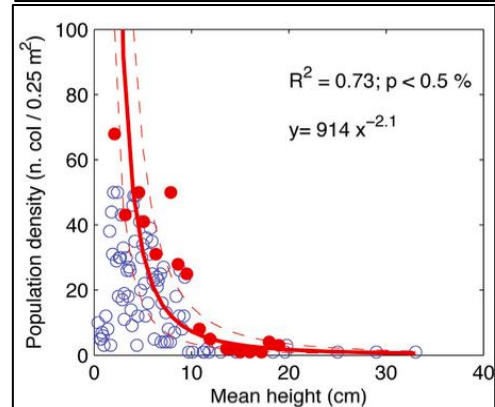


Figure 2 : Taille des individus de coraux rouges, *C. Rubrum* (en cm) en fonction de la densité de population (en nombre de colonies tous les $0,25 \text{ m}^2$). Ce graphique illustre les effets de la compétition intra-spécifique (facteur limitant de la taille des individus de *C. Rubrum*, d'après Cau *et al.*, 2016).



Par leur hétérogénéité et forte biodiversité, les récifs de CWC abritent de nombreuses espèces et constituent des niches écologiques (Roberts *et al.*, 2006 ; Mienis *et al.*, 2007 ; Danovaro *et al.*, 2010 ; Bongiorno *et al.*, 2010 ; Mytilineou *et al.*, 2014 ; Taviani *et al.*, 2017 ; Rueda *et al.*, 2019 ; Corbera *et al.*, 2019 ; D'Onghia, 2019 ; Orejas et Jiménez, 2019). Cette biodiversité correspond soit à des associations de certaines espèces de CWC, soit à des associations de CWC et d'espèces d'autres

taxons (des éponges par exemple). *C. Rubrum*, par exemple, est souvent identifié en association avec des espèces de la famille Caryophyllidae spp., appartenant au genre des *Desmophyllum* spp. comme *Desmophyllum dianthus* ou *Desmophyllum pertusum* (Rueda *et al.*, 2019 ; Taviani *et al.*, 2010). En Mer Égée, *C. Rubrum* associé avec plusieurs espèces d'éponges (Porifera spp.), de cnidaires (Cnidaria spp.), de vers (Polychaeta spp.), et de mollusques (Mollusca spp.) (Dounas *et al.*, 2010). Les associations de CWC les plus étudiées se trouvent en Méditerranée Centrale dans les provinces de CWC en Mer Ionienne et Tyrrhénienne (Santa Maria di Leuca, Bari Canyon et dans le détroit de Sicile ; Rueda *et al.*, 2019). Par ordre d'abondance, les espèces les plus retrouvées dans ces récifs sont des Porifera spp. (éponges, 90 espèces), Polychaeta spp. (vers, 90 espèces), Cnidaria spp. (Cnidaire, phylum des Anthozoa, 80 espèces), Bryozoa spp. (phylum du faux corail rouge *Myriapora truncata*, 75 espèces), Crustacea spp. (crustacés, 60 espèces), Mollusca spp. (mollusques, 50 espèces), Actinopteri spp. (poissons, 50 espèces), Echinodermata spp. (échinodermes, 20 espèces), Brachiopoda spp. (brachiopodes, 7 espèces) (Rueda *et al.*, 2019)

2.1.4 Distribution des provinces de CWC en Méditerranée

En Méditerranée, différentes missions océanographiques ont permis d'identifier les grandes provinces de CWC (Fig. 3). Ces provinces sont : “Bari Canyon” (Mer Adriatique), “Santa Maria Di Leuca” (Mer Ionienne), “Malte Sud” (Mer Ionienne au niveau du détroit de Sicile), “Melilla” (Mer d’Alboran), “Golfe de Lion” (bassin Liguro-provençal) et “Capo Spartivento” (au sud de la Sardaigne) (Taviani *et al.*, 2011 ; Taviani *et al.*, 2017 ; Corbera *et al.*, 2019). Ces provinces sont systématiquement liées aux courants d’eau intermédiaire Levantine (LIW) et aux courants profonds de l’Adriatique (ADW) (Fig. 3 ; Taviani *et al.*, 2017). Ainsi, les zones de croissances actives des CWC sont en lien direct avec les conditions océanographiques des courants d’eaux profondes ou intermédiaires (Taviani *et al.*, 2011 ; Taviani *et al.*, 2017 ; Rueda *et al.*, 2019 ; Lo Iacono *et al.*, 2019). Par exemple, la province (2) “Santa Maria Di Leuca” (Mer Ionienne), en lien direct avec le LIW, représente la plus grande province de CWC en Méditerranée avec des structures de 300 m de large et de 25 m de haut (Lo Iacono *et al.*, 2019). Cette province a été observée entre 300 m et 1200 m de profondeur (Taviani *et al.*, 2011 ; Taviani *et al.*, 2017).

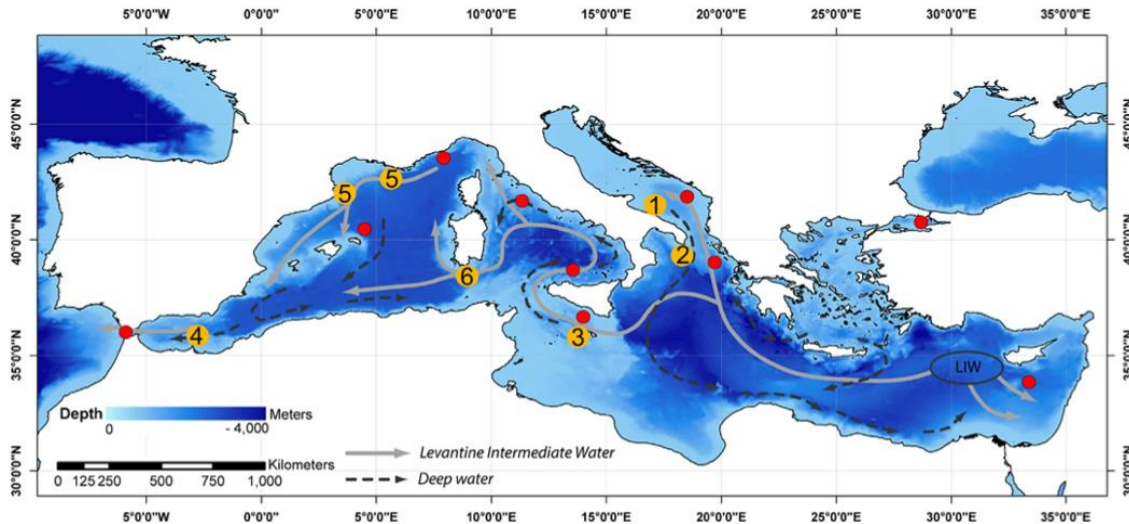


Figure 3 : Principales provinces de CWC connues en mer Méditerranée. Cette carte illustre le lien entre la présence de CWC dans ces zones et les courants d’eaux intermédiaires et profonds (LIW et ADW). Les points rouges correspondent aux localisations ponctuelles de sites de CWC. Les points jaunes correspondent aux provinces suivantes : (1) “Bari Canyon” (Mer Adriatique), (2) “Santa Maria Di Leuca” (Mer Ionienne), (3) “Malte Sud” (Mer Ionienne au niveau du détroit de Sicile), (4) “Melilla” (Mer d’Alboran), (5) “Golfe de Lion” (bassin Liguro-provençal), (6) “Capo Spartivento” (au sud de la Sardaigne). Image issue de Taviani *et al.*, 2017.

2.2 CWC et hydrodynamisme

Il est logique que les sites avec une forte densité de CWC soient associés à des zones à fort hydrodynamisme puisque celui permet l’apport de larves et de nutriments au récif. Ceci se fait, aussi bien à grande échelle, en lien avec les courants profonds et intermédiaire comme dans le cas des provinces de CWC en Méditerranée (Mienis *et al.*, 2007 ; Taviani *et al.*, 2011) qu’à une échelle locale, comme pour les courants de fonds ou les processus de vagues internes (Roberts *et al.*, 2006 ; Mienis *et al.*, 2007).

2.2.1 Processus hydrodynamiques sur de grandes échelles de temps et d’espace

En Mer Méditerranée, il y a plus d’évaporation que de précipitation ou d’apport d’eaux douces via les rivières, ce qui rend le bassin oligotrophe donc peu favorable aux CWC. Les courants profonds et intermédiaires sont des zones plus riches en nutriments, ils ont donc un impact sur la distribution des CWC. En Mer Méditerranée, les zones de croissance des grandes provinces de CWC se situent à la profondeur de ces courants, localisés à environ 150 m de profondeur (Dounas *et al.*, 2010 ; Hayes *et al.*, 2019 ; Simboura *et al.*, 2019). Les provinces “profondes” sont identifiées entre 150 m et 400 m de profondeur à l’est de la Méditerranée et entre 350 m et 600 m de profondeur à l’ouest (Taviani *et al.*, 2011 ; Hayes *et al.*, 2019).

La mise en place des masses d’eaux intermédiaires et profondes résulte de la densification de ces masses suite à des phénomènes d’évaporation ou de refroidissement (Taviani *et al.*, 2011 ; Hayes

et al., 2019 ; Simboura *et al.*, 2019). Au printemps-été, les vents plus faibles et l'apport d'énergie solaire contribuent à réchauffer les eaux de surface (et donc à en évaporer une partie). Ces phénomènes contribuent à la stratification des eaux et à la mise en place d'une thermocline saisonnière dans tout le bassin Méditerranéen. En hiver, la diminution d'énergie solaire et des vents plus forts et froids permettent de refroidir et de mélanger les eaux de surface. Ces forçages atmosphériques contribuent à la disparition progressive de la thermocline dans le bassin (Simboura *et al.*, 2019). La disparition de la thermocline permet une convection et la formation de masses d'eaux froides et denses. Ces masses d'eaux nouvellement formées plongent alors vers des profondeurs intermédiaires ou profondes, selon leur densité. La densité varie de manière interannuelle selon les forçages atmosphériques, comme le refroidissement, l'évaporation ou les vents (Taviani *et al.*, 2017 ; Hayes *et al.*, 2019 ; Simboura *et al.*, 2019).

Concernant la circulation océanique dans l'ensemble du bassin Méditerranéen plusieurs facteurs sont à prendre en compte. Tout d'abord, la connexion avec l'océan Atlantique via le détroit de Gibraltar. Les eaux de l'Atlantique entrent via ce détroit et s'écoulent en surface vers l'est. Ces eaux océaniques ont une température d'environ 15°C et une salinité d'environ 35-36. Les eaux sortantes sont localisées en profondeur et ont une température d'environ 13°C et une salinité d'environ 38 (Hayes *et al.*, 2019).

Ensuite, le bassin Méditerranéen peut être subdivisé en deux zones : (1) le bassin Ouest Méditerranéen allant du détroit de Gibraltar au détroit de Sicile et (2) le bassin Est Méditerranéen allant du détroit de Sicile jusqu'au bassin Levantin (Fig. 4) (Hayes *et al.*, 2019).

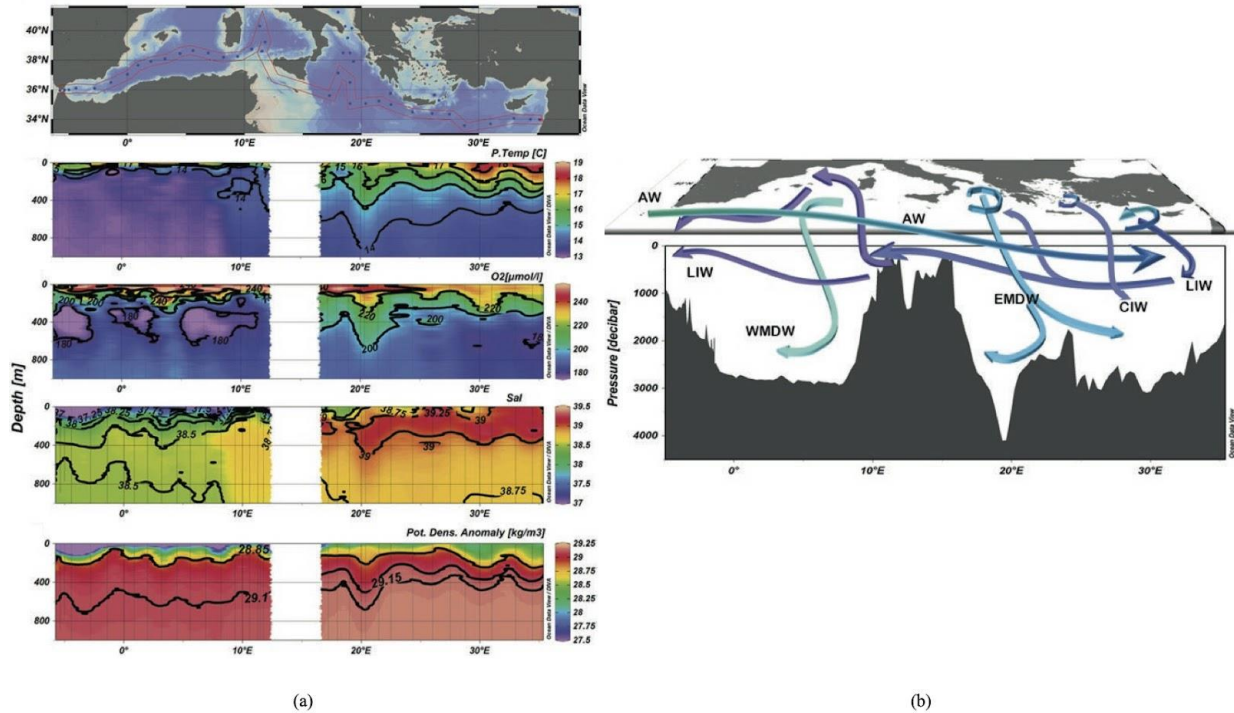


Figure 4 : (a) Variations de température (en °C), de concentrations d'oxygène (en $\mu\text{mol/l}$), de salinité et de densité (en kg/m^3) avec la profondeur, d'ouest en est. (b) Illustration globale des courants intermédiaires et profonds en Méditerranée (LIW = eaux intermédiaires levantine ; AW = eaux atlantiques ; WMDW = eaux profondes Méditerranée Ouest ; EMDW = eaux profondes Méditerranée Est ; CIW = eaux intermédiaires de Chypre) (d'après Hayes *et al.*, 2019).

(1) Le bassin Ouest Méditerranéen est dominé par les eaux océaniques qui s'écoulent vers l'est et qui deviennent de plus en plus chaudes et denses, notamment dû à l'évaporation (Hayes *et al.*, 2019). Au niveau du détroit de Sicile, en mer Adriatique, les eaux les plus denses plongent sous 500 m de profondeur et forment les eaux profondes ADW. Les propriétés des eaux profondes ADW sont influencées par les eaux LIW. Les eaux ADW ont une température d'environ 15°C et une salinité d'environ 38 (Hayes *et al.*, 2019 ; Simboura *et al.*, 2019).

(2) Au niveau du bassin Est de la Méditerranée, la circulation de surface comprend plusieurs gyres qui contribuent à réduire localement la température de surface et qui favorisent les sites de formation d'eaux profondes (Fig. 5 ; Simboura *et al.*, 2019). Au niveau du bassin Levantin et du gyre de Rhodes, les eaux sont particulièrement chaudes. Dès lors, l'évaporation étant plus importante, la salinité de ces eaux augmente, ce qui augmente leur densité. Les eaux denses plongent alors sous la thermocline : il y a formation des eaux intermédiaires LIW entre 150 m et 400 m de profondeur. Ces eaux ont une température d'environ 15°C et une salinité d'environ 38-39 (Hayes *et al.*, 2019 ; Simboura *et al.*, 2019).

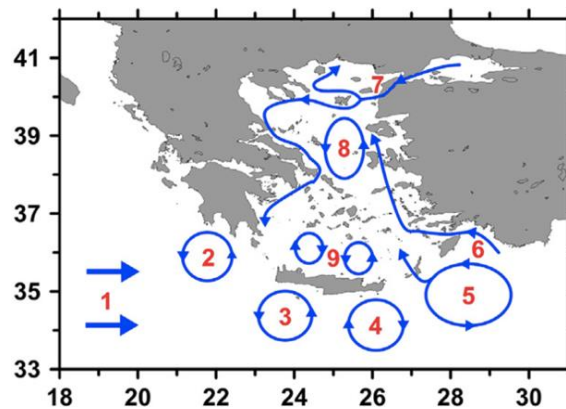


Figure 5 : Circulation océanique de surface et gyres en Méditerranée Est. Les numéros indiquent le nom des différentes masses d’eaux ou des gyres (1 = eaux entrantes, issues de la Méditerranée Ouest ; 2 = Gyre Pelops ; 3 = Gyre au sud de la Crète ; 4 = Gyre Ierapetra ; 5 = Gyre de Rhodes ; 6 = eaux issues d’Asie (courant mineur) ; 7 = eaux issues de la Mer Noire ; 8 = Gyre Mer Égée centrale ; 9 = Gyres au nord de la Crète) (d’après Simboura *et al.*, 2019).

2.2.2 Processus hydrodynamiques sur de petites échelles de temps et d’espace

Le downwelling, les courants de marées et de fond ainsi que les vagues internes sont essentiels pour la remise en suspension des nutriments nécessaires à la croissance des CWC.

Le downwelling correspond à un apport d’eau de surface vers les profondeurs suite à une convergence des eaux de surface liée aux vents. La masse d’eau de surface est généralement plus riche en nutriments et plus chaude que les eaux profondes, ce qui bénéficie aux récifs. La masse d’eau arrivant par downwelling sur un fond marin irrégulier, caractérisé par la topographie du récif et des habitats récifaux, crée des vagues internes (White *et al.*, 2005 ; Davies *et al.*, 2009).

D’autres types de courants sont aussi importants, car ils engendrent une advection latérale ce qui permet une capture des nutriments plus facile par les polypes ainsi que la dispersion des espèces (Mienis *et al.*, 2007 ; Davies *et al.*, 2009). Il s’agit, d’une part, des courants liés aux marées et aux vagues internes ayant lieu à l’interface entre deux masses d’eaux de densité différentes. Une onde interne peut être générée à l’interface entre les masses d’eau arrivant par downwelling et les eaux au fond, autour du récif (Mienis *et al.*, 2007 ; Davies *et al.*, 2009). D’autre part, les courants de fond sont favorables au CWC (Rebesco et Taviani, 2019). Ces courants de fond remobilisent de larges quantités de sédiments jusqu’à former des formations sédimentaires spécifiques, dites “contourites”, qui sont parfois de l’ordre de plusieurs km. En Méditerranée, les dépôts de contourites sont le plus souvent liés aux courants intermédiaires et profonds et ont été identifiés à des profondeurs entre 200 m et 600 m, ce qui correspond aux profondeurs des provinces de CWC en Méditerranée (Taviani *et al.*, 2011 ; Rebesco et Taviani, 2019 ; Lo Iacono *et al.*, 2019). Ces dépôts sont généralement perpendiculaires à la pente continentale et comprennent un chenal érosif limité par une levée sédimentaire. De manière rétroactive, ils influencent les courants de fonds, notamment en déviant leur trajectoire. Cette

déviations de trajectoire, sur de longues distances, peut par exemple impacter, la dispersion larvaire ou l'apport de nutriments au récif (Fig. 6 ; Davies *et al.*, 2009 ; Rebesco et Taviani, 2019 ; Chimienti *et al.*, 2019). Par leurs structures, les contourites favorisent également les courants de turbidité. Une étude menée dans une zone proche de la province de Melilla en Mer d'Alboran (récif "Chella Bank") met en évidence l'occurrence de courants de turbidité proches des contourites et la présence de CWC (Rebesco et Taviani, 2019). Finalement, lorsque ces courants de fonds persistent dans le temps, le substrat peut devenir plus dur (par lithification des sédiments), ce qui favorise l'ancrage des polypes (Rebesco et Taviani, 2019).

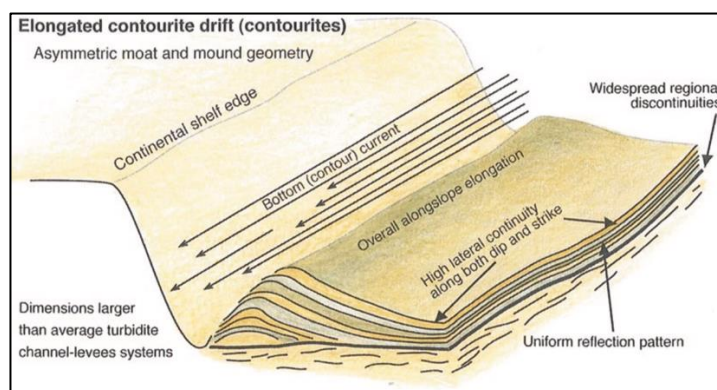


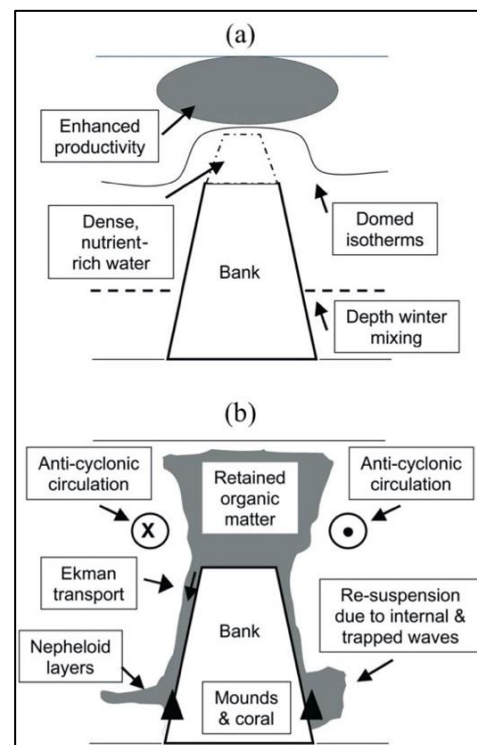
Figure 6 : Schéma d'un dépôt de contourite. Ce schéma illustre les courants de fond associés à ces structures sédimentaires (d'après Rebesco et Taviani, 2019).

L'importance des différents processus hydrodynamiques sur les mécanismes d'approvisionnement en nutriments et en polypes des CWC a clairement été mise en évidence au niveau du récif de Mingulay en Atlantique Nord dans la Mer de Hébrides, au nord de l'Écosse (Davies *et al.*, 2009). Les processus hydrodynamiques majeurs de ce cas d'étude sont un downwelling et des vagues internes. Le downwelling est assez rapide avec des vitesses atteignant 10 cm/s et il permet l'apport de nutriments et d'eau plus chaude vers le fond (Davies *et al.*, 2009). Les ondes internes, causées par l'impact du downwelling sur la topographie, permettent de maintenir un certain hydrodynamisme à l'échelle locale. Ce type d'hydrodynamisme induit un mélange des eaux qui permet la remise en suspension des sédiments, riches en nutriments et en larves de coraux (ou polypes) (Davies *et al.*, 2009 ; Lauria *et al.*, 2017).

À l'échelle locale, les processus importants sont la turbidité et le stockage des nutriments en profondeur. Les CWC sont généralement localisées à proximité des zones de forte turbidité (Mienis *et al.*, 2007). Les courants de turbidité correspondent à un flux sédimentaire lié à la différence de densité des particules. Quand les courants de turbidité sont suffisamment denses, ils vont former des

courants hyperpycnaux s'écoulant vers les fonds marins, ce qui permet d'apporter des nutriments vers le fond (Shanmugam *et al.*, 2012). Les courants de turbidité peuvent permettre la formation d'une couche néphéloïde : couche de forte turbidité proche du fond qui est formée par la remise en suspension des sédiments à l'interface eau-sédiment (Fig. 7 ; Mienis *et al.*, 2007 ; Tian *et al.*, 2022). Cette couche peut aussi être alimentée via les courants de downwelling (Mienis *et al.*, 2007). La couche néphéloïde permet le transport de particules organiques et constitue un réservoir de matière organique utilisable pour les CWC (Tian *et al.*, 2022). Il faut aussi considérer la couche limite benthique, ou couche d'Ekman, localisée à l'interface eau-sédiment (White *et al.*, 2005). Cette couche limite constitue une zone d'activité microbienne importante, ce qui l'enrichit en nutriment (Davies *et al.*, 2009). Il faut encore tenir compte du temps de résidence des particules organiques dans cette couche : s'il est trop important, le contenu nutritionnel de ces particules peut être plus réduit (Davies *et al.*, 2009).

Figure 7 : Schéma des processus permettant la formation et le transport de matières organiques autour d'un mont en eaux profondes, à l'interface eau-sédiment. Ce schéma a été réalisé prenant pour exemple un récif de CWC en Atlantique Nord. (a) Formation d'eaux riches en nutriments. (b) le transport de la matière organique autour d'un mont en eaux profondes (d'après White 2005).



en
matière
et al.,

2.3 Géologie, habitat et géomorphologie

Les CWC peuvent se développer sur différents types d'habitats ou structures sous-marines en lien avec la topographie, la géomorphologie des fonds marins et les courants de fonds (Taviani *et al.*, 2005 ; Davies *et al.*, 2009 ; Danovaro *et al.*, 2010 ; Taviani *et al.*, 2011 ; Gori *et al.*, 2013 ; Cau *et al.*, 2015 ; Taviani *et al.*, 2017 ; Corbera *et al.*, 2019 ; Rueda *et al.*, 2019 ; Simboura *et al.*, 2019). Le plus souvent, les CWC vivent sur des substrats durs comme des substrats rocheux d'origine volcanique,

des monticules de carbonates ou des canyons. C’est par exemple le cas de *C. Rubrum*, identifié sur un substrat dur, dans les eaux autour de la Grèce, notamment en Mer Egée, en Mer Ionienne et au sud de la Crète (Dounas *et al.*, 2010).

2.3.1 Cartographie et caractéristiques des habitats

Les habitats résultent de l'interaction de l'ensemble de processus océanographiques, géologiques, physiques et écologiques. La cartographie des habitats vise à reconstruire leurs distributions en prenant en compte ces processus. La cartographie des habitats est importante dans la compréhension de la structure des communautés benthiques de CWC et des espèces associées (Lo Iacono *et al.*, 2019). Par leurs structures 3D assez complexes, les CWC favorisent l'hétérogénéité des habitats (Danovaro *et al.*, 2010 ; Bongiorno *et al.*, 2010 ; Corbera *et al.*, 2019). L'étude des habitats profonds peut fournir des informations sur les facteurs environnementaux qui contrôlent la distribution des espèces benthiques (Danovaro *et al.*, 2010). Par exemple, l'étude des habitats en Méditerranée Centrale a permis de mettre en évidence les préférences des espèces en fonction des différents types d'habitats et paramètres physico-chimiques (Lauria *et al.*, 2017). Aussi, certains processus tectoniques peuvent permettre la formation d'une topographie de fond particulière et hétérogène, qui favorise la mise en place de CWC (Taviani *et al.*, 2005 ; Gori *et al.*, 2013 ; Taviani *et al.*, 2017 ; Lo Iacono *et al.*, 2019).

L'étude des habitats associés aux CWC peut se faire à différentes échelles, du méga-habitat (de l'ordre du km) au macro- voire micro-habitat (de l'ordre du m). Selon la taille, différentes approches et méthodes d'études sont appliquées (Fig. 8 ; Lo Iacono *et al.*, 2019).

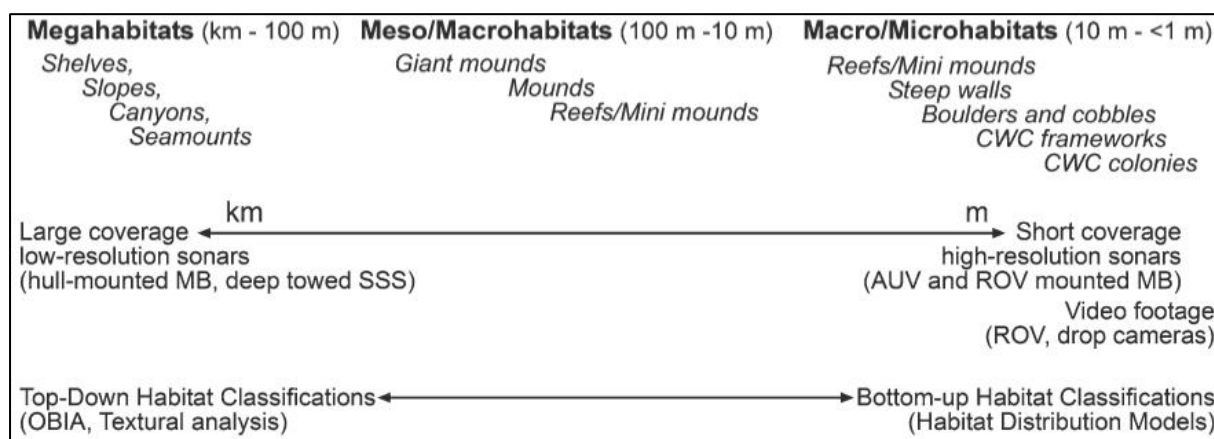


Figure 8 : Schéma des différentes méthodes utilisées selon l'échelle des habitats (d'après Lo Iacono *et al.*, 2019).

Il existe deux types de classifications des méthodes : “*top-down*” ou “*bottom-up*”. Bien que les classifications “*top-down*” et “*bottom-up*” peuvent être utilisées pour toutes les gammes d'échelles, les méthodes utilisées dépendent généralement de l'échelle de taille de l'habitat étudié. La

classification “*top-down*”, généralement utilisée pour des études à grande échelle, est basée sur des acquisitions de la topographie et de la bathymétrie. Pour de grandes échelles d’étude, la méthode d’acquisition la plus fréquente est le multibeam. La classification “*bottom-up*”, généralement utilisée pour des études à petite échelle, est basée sur l’étude de la géomorphologie du fond et la distribution des différents types d’habitats. Pour de petites échelles d’étude, la méthode d’acquisition la plus fréquente est l’acquisition vidéo (Lo Iacono *et al.*, 2019).

2.3.2 Méga-habitats (de l’ordre du km)

Il y a différents types de méga-habitats pour les CWC. Un des plus riches en communautés de CWC de par sa topographie est les canyons sous-marin non-tectonique (Davies *et al.*, 2009 ; Gori *et al.*, 2013 ; Cau *et al.*, 2015 ; Taviani *et al.*, 2017 ; Corbera *et al.*, 2019 ; Simboursa *et al.*, 2019 ; Rueda *et al.*, 2019). La topographie disséquée des canyons offre une augmentation locale de la taille de l’interface eau-sédiment, lieu de nombreux processus biogéochimiques, ce qui favorise les échanges entre les milieux. Pour capturer le maximum de particules possibles, les espèces de CWC colonisent préférentiellement les escarpements et les bords de canyon (Taviani *et al.*, 2005 ; Rossi *et al.*, 2008 ; Gori *et al.*, 2013). Les canyons constituent des habitats hétérogènes et leur biodiversité et biomasse sont plus importantes que les zones adjacentes comme le plateau continental ouvert (Gori *et al.*, 2013). Aussi, les canyons permettent d’assurer le transit sédimentaire entre la surface et la profondeur via des courants de turbidités et un hydrodynamisme fort (Cau *et al.*, 2016). Tous ces facteurs expliquent le fait qu’une plus forte abondance de récifs de CWC est retrouvée au niveau des canyons en Méditerranée.

La manière dont la morphologie des canyons joue un rôle important est bien illustrée par Gori *et al.* (2013) et Rueda *et al.* (2019) sur deux zones de canyons en Méditerranée : le canyon Cap de Creus et le canyon Lacaze-Duthiers. Ces deux canyons sont localisés dans la province du Golfe de Lion (Taviani *et al.*, 2017). La morphologie de ces canyons est différente : le Canyon Cap de Creus est assez étroit (< 14 km de largeur) alors que le Canyon Lacaze-Duthiers est plus large (~35 km de large). Leur taille impacte considérablement le flux de matière organique qui arrive au récif et peut influencer les espèces de CWC retrouvées (Gori *et al.*, 2013). De plus, au niveau des escarpements des canyons Cap de Creus et Lacaze-Duthiers, les espèces *Desmophyllum dianthus* et *Desmophyllum pertusum* sont le plus fréquemment retrouvées avec des orientations entre 90° et 135° par rapport au substrat (Gori *et al.*, 2013). Rossi *et al.*, (2008) dans la même province de CWC montrent cette même préférence pour *C. Rubrum*, le plus souvent retrouvé à 45° par rapport au substrat (dans 40 % des cas, Fig. 9). Cette orientation permet aux CWC de se protéger des courants tout en optimisant la capture

de nutriments en suspension. Les variations d'orientation dépendent donc de la morphologie de l'habitat et des pressions liées à l'hydrodynamisme.

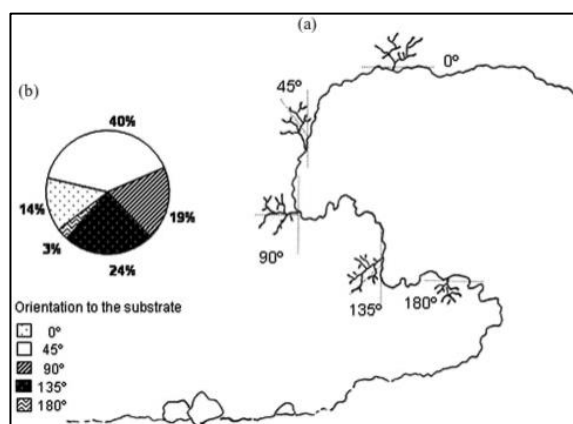


Figure 9 : Orientations des CWC par rapport au substrat. Ce graphique étudie notamment le cas de *C. Rubrum* dans la zone du Canyon Cap de Creus (province (5) “Golfe de Lion” ; Taviani *et al.*, 2017). (a) Schéma des orientations retrouvées pour le corail rouge. (b) Proportions des orientations retrouvées pour le corail rouge (d’après Rossi *et al.*, 2008).

2.3.3 Méso-habitats (de l’ordre de 100 m)

Les CWC se développent aussi sur des habitats hétérogènes de plus petite taille comme des monticules de l’ordre de 100 m d’origines diverses : volcanique, bloc faillé, etc. La colonisation des espèces et le biotope associé dépendent de la taille des monts, tout comme l'hydrodynamisme à l'échelle locale autour de ces structures qui peut potentiellement favoriser la spéciation des espèces de CWC. Ces monts peuvent ralentir les courants de fond et empêcher la dispersion des larves et des fragments de coraux, ce qui favorise la spéciation (Roberts *et al.*, 2006). La spéciation des espèces correspond à l'apparition d'espèces-filles à partir d'une espèce ancestrale.

2.3.4 Macro- et micro-habitats (de l'ordre inférieur à 10 m)

Les communautés de coraux d’eaux froides ou profondes peuvent se développer sur différents petits habitats associés à des structures sous-marines dont des mini-monts, de l’ordre de 20 cm à 1 m de haut. Ces mini-monts de carbonates sont composés d’un assemblage de coraux morts, sur lesquels se développent fréquemment les CWC. Autour de la Grèce, ce type de structure est plus fréquent (Rebesco et Taviani, 2019 ; Simboura *et al.*, 2019). La Figure 10 montre l’apport de l'hydrodynamisme sur ces mini-monts (Rebesco et Taviani, 2019).

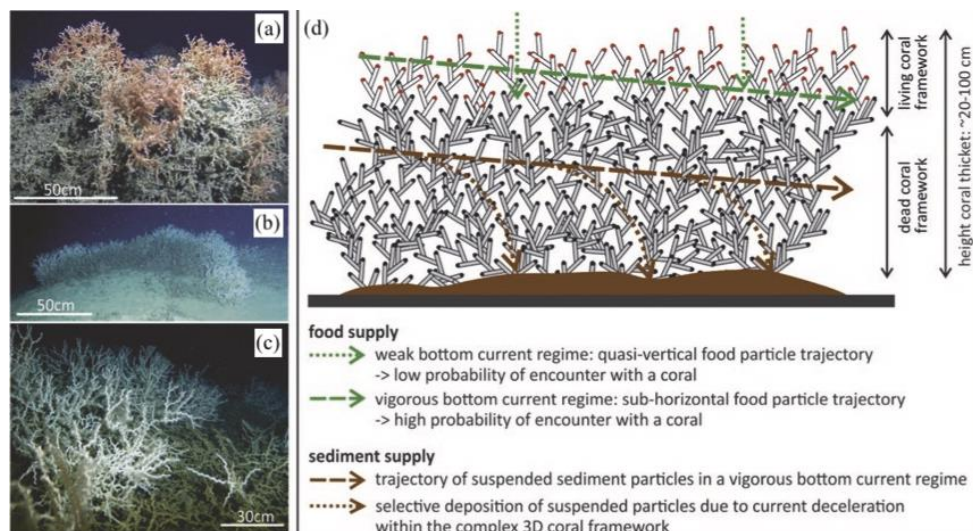


Figure 10 : Lien entre la présence de CWC et les processus à l'interface eau-sédiment. (a), (b) et (c) montrent différentes espèces de CWC, structurés de la même manière : les CWC vivant se développent sur une cadre récifale mort. (d) : les flèches vertes indiquent l'apport de nutriments faibles ou forts (respectivement en pointillés fins ou épais) et les flèches marrons indiquent la trajectoire des sédiments (flèches en pointillés épais) et la sédimentation (flèches en pointillés fins). L'importance du cadre récifal dans la déviation de trajectoire des courants latéraux y est aussi illustrée.

2.4 Histoire géologique du bassin Méditerranéen : impact de la Crise Messinienne sur la mise en place des CWC dans le bassin

En raison de son histoire écologique, la diversité des CWC en Méditerranée reste beaucoup plus faible que celle de l'Atlantique. Néanmoins, il existe certaines similarités entre les espèces de CWC d'Atlantique et celles de Méditerranée, c'est le cas pour *Desmophyllum pertusum* (Taviani *et al.*, 2005). En Méditerranée, à profondeur égale, les CWC sont soumis à des températures plus élevées et une salinité plus élevée que les CWC d'Atlantique. Les eaux profondes de Méditerranée, sous 100 m, sont caractérisées par une température moyenne de l'eau de mer de 13°C (avec peu de variations) et une salinité d'environ 38-39 (Taviani *et al.*, 2017). Ces différences peuvent influencer la physiologie et la distribution des CWC.

Les similarités observées entre les CWC de Méditerranée et d'Atlantique sont la conséquence de l'histoire géologique du bassin Méditerranéen et de la recolonisation des espèces du bassin méditerranéen depuis l'Atlantique. Cette recolonisation a eu lieu après la crise de salinité Messinienne (Taviani *et al.*, 2005). La crise de salinité Messinienne (5,96 Ma à 5,33 Ma) est marquée par la fermeture du détroit de Gibraltar. Cette fermeture a engendré une baisse du niveau de la mer Méditerranée de plus de 1000 m et un dépôt massif d'évaporites. Ces conditions ont mené à la mort de l'ensemble des récifs coralliens dans le bassin méditerranéen. Après la crise de salinité, la remontée

du niveau marin et le changement des conditions océanographiques ont permis la recolonisation des espèces, notamment des coraux d'eaux froides.

2.5 Impacts du changement climatique actuel et des activités anthropiques et sur les communautés de CWC en Méditerranée

2.5.1 Cas du corail rouge précieux, *C. Rubrum*

Il y a une exploitation historique des coraux précieux pour diverses raisons socio-culturelles. De nombreuses espèces de coraux précieux soumis à cette exploitation sont des CWC. Cette exploitation concerne les genres *Corallium* spp. (“coraux rouges”, “roses” et “blancs”) notamment *C. Rubrum*, *Antipathes* spp. (“coraux noirs”), *Primnoidae* spp. et *Geradia* spp. (“coraux jaunes”), et les coraux la famille des *Isididae* spp. (“coraux bambous”) (Tsounis *et al.*, 2010 ; Bruckner *et al.*, 2016).

L'exploitation historique de *C. Rubrum* précieux a été particulièrement intense, notamment pour de la bijouterie. Cette espèce est endémique de la Méditerranée, même si des individus de *C. Rubrum* déjà être identifiés en Atlantique. Cette espèce colonise généralement un substrat rocheux, entre 20 m et 200 m de profondeur, et entre 50 m et 125 m de profondeur en Grèce. Elle a aussi été identifiée à plus de 800 m de profondeur dans le détroit de Sicile dans la province “Malte sud” en Mer Ionienne (Santangelo *et al.*, 2004 ; Rossi *et al.*, 2008 ; Costantini *et al.*, 2009 ; Taviani *et al.*, 2010 ; Dounas *et al.*, 2010 ; Tsounis *et al.*, 2010). Historiquement, *C. Rubrum* fut massivement exploité pendant plus de 5000 ans et est désormais proche de son extinction dans certaines zones de Méditerranée au-dessus de 50 m de profondeur (Garrahou et Harmelin, 2002 ; Santangelo *et al.*, 2004 ; Taviani *et al.*, 2010 ; Bruckner *et al.*, 2016).

Cette exploitation a conduit à une adaptation des espèces en Méditerranée à l'échelle des colonies et des communautés (Bruckner *et al.*, 2016). Du fait de la récolte du corail rouge précieux, Rossi *et al.* (2008) ont montré, au Canyon Cap de Creus dans la province du Golfe de Lion, qu'aucun individu n'est retrouvé jusqu'à 50 m de profondeur et très peu entre 50 m et 85 m de profondeur. C'est aussi le cas dans les eaux autour de la Grèce, où les stocks de population vivant au-dessus de 60 m de profondeur sont appauvris (Dounas *et al.*, 2010). Les zones plus profondes seraient potentiellement moins soumises aux pressions anthropiques, notamment par la récolte (Rossi *et al.*, 2008). Dans la zone du canyon de Cap de Creus, les pressions anthropiques entraînent un changement dans l'assemblage des communautés de coraux rouges *C. Rubrum*. Les colonies sont composées d'individus de plus en plus isolés mais de plus grandes tailles (Rossi *et al.*, 2008 ; Tsounis *et al.*, 2010).

Cette exploitation historique de *C. Rubrum* a aussi un impact, à l'échelle des individus, sur leur taille. L'étude de Taviani *et al.* (2017) montre que l'assemblage des communautés de coraux rouges *C. Rubrum* des individus de plus en plus grands avec la profondeur (Costantini *et al.*, 2009). Les populations étudiées montrent des colonies assez petites entre 15 m et 60 m de profondeur, et beaucoup plus grandes entre 60 m et 300 m de profondeur (Santangelo *et al.*, 2004 ; Costantini *et al.*, 2009). Actuellement, les *C. rubrum* ont une taille des ramifications inférieures à 10 cm, et un diamètre basal de l'ordre de 5 mm. Les plus grands individus peuvent atteindre une taille de 50 cm de hauteur. Cependant, à cause de leur exploitation, les coraux dépassent rarement une taille de 20 cm et un diamètre basal de 2 cm (Garrahou et Harmelin, 2002 ; Tsounis *et al.*, 2010).

L'espérance de vie des populations de coraux rouges semble aussi suivre cette tendance : les populations identifiées en profondeur semblent plus âgées que celles identifiées en surface (Costantini *et al.*, 2009). Il est possible d'estimer l'âge des populations en fonction de la taille du diamètre basal, dont le taux de croissance du diamètre basal est estimé à 0.24 mm/an \pm 0.05 mm/an (Santangelo *et al.*, 2004 ; Tsounis *et al.*, 2010). Par exemple, un petit individu ayant un diamètre basal de l'ordre 5 mm correspond à un âge moyen d'environ 8 à 15 ans et un grand individu ayant un diamètre basal de l'ordre 10 mm correspond à un âge moyen d'environ 11 à 20 ans (Tsounis *et al.*, 2010). La taille plutôt réduite des colonies et leur âge plutôt jeune jusqu'à 60 m de profondeur serait la conséquence de leur surexploitation historique (Garrahou et Harmelin, 2002 ; Santangelo *et al.*, 2004 ; Costantini *et al.*, 2009).

2.5.2 Cas des CWC de manière générale

Les CWC sont des organismes ayant différentes sensibilités aux stress environnementaux (Freiwald *et al.*, 2004 ; Galli *et al.*, 2016 ; Gori *et al.*, 2016 ; Maier *et al.*, 2019 ; Lartaud *et al.*, 2019 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022). Cette sensibilité est notamment liée à leur croissance assez lente (Freiwald *et al.*, 2004 ; Santangelo *et al.*, 2004 ; Salomidi *et al.*, 2009b ; Tsounis *et al.*, 2010 ; Vertino *et al.*, 2014 ; Mytilineou *et al.*, 2014 ; Lastras *et al.*, 2016 ; Lauria *et al.*, 2017 ; Corbera *et al.*, 2019). Par exemple, le taux de croissance de *C. Rubrum* est estimé à 1.78 mm/an \pm 0.7 mm/an (Garrahou et Harmelin, 2002 ; Santangelo *et al.*, 2004 ; Tsounis *et al.*, 2010). Les conséquences des perturbations relatives au changement climatique et à l'impact anthropique sont donc d'autant plus importantes pour ces organismes (Garrahou et Harmelin, 2002 ; Santangelo *et al.*, 2004 ; Mytilineou *et al.*, 2014 ; Tsounis *et al.*, 2010 ; Reynaud et Ferrier-Pagès, 2019).

Les écosystèmes de CWC sont considérés comme vulnérables et constituent un habitat fonctionnel complexe. Cette vulnérabilité est liée au fait qu'après un impact significativement

important, la probabilité de dégrader ce type d'habitats de manière irréversible est forte et cela constitue une menace pour les organismes abrités par cet habitat (Fournier, 2023). La survie des CWC peut avoir un impact considérable sur l'écologie des écosystèmes profonds (Lastras *et al.*, 2016 ; Lauria *et al.*, 2017 ; Lo Iacono *et al.*, 2019 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022 ; Fournier, 2023).

À l'échelle globale, les impacts sur les CWC sont liés au changement climatique actuel et concernent notamment l'acidification des océans, la désoxygénation des océans, et les variations de température de manière globale. L'acidification et la diminution du pH des océans est un premier impact anthropique global pour les coraux. Ce phénomène est lié à l'augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique au niveau de l'interface eau-atmosphère, qui conduit à un changement dans la composition globale des océans (Freiwald *et al.*, 2004 ; Lartaud *et al.*, 2019). L'acidification affecte l'état de saturation en aragonite dans l'océan global et conduit à une diminution de la profondeur limite de dissolution de l'aragonite (Roberts *et al.*, 2006 ; Maier *et al.*, 2019). La diminution de la profondeur limite de dissolution de l'aragonite a un très fort impact sur les CWC, qui ont un squelette calcaire en aragonite (Roberts *et al.*, 2006 ; Freiwald *et al.*, 2004 ; Lartaud *et al.*, 2019). Généralement, les CWC présentent une plus forte résilience face à l'acidification des océans par rapport aux coraux vivants proches de la surface (Lartaud *et al.*, 2019 ; Maier *et al.*, 2019). La sensibilité et la réponse physiologique suite à l'acidification des océans constituent un stress variable selon les espèces, à court terme ou à long terme (Freiwald *et al.*, 2004 ; Galli *et al.*, 2016 ; Gori *et al.*, 2016 ; Maier *et al.*, 2019 ; Lartaud *et al.*, 2019).

Un autre effet global est l'augmentation des températures de l'eau. Bien que les conditions de température soient considérées comme constantes sous 50 m de profondeur, la température est un facteur essentiel à la croissance des CWC, et l'optimum de température varie selon les espèces (Rossi *et al.*, 2008 ; Sheppard *et al.*, 2017 ; Lauria *et al.*, 2017 ; Lartaud *et al.*, 2019 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022). Par exemple, *C. Rubrum* peut supporter de fortes variations de températures, ce qui n'est pas le cas pour *Desmophyllum pertusum* qui ne survit pas longtemps après un pic de température. Pour cette espèce, le maximum de tolérance de température correspond aux températures en Méditerranée, proche de 15°C (Freiwald *et al.*, 2004 ; Tsounis *et al.*, 2010 ; Gori *et al.*, 2013 ; Lartaud *et al.*, 2019). De plus, pour cette espèce, la consommation en oxygène augmente lors de conditions plus chaudes (Dodds *et al.*, 2007).

Les CWC sont sensibles à la désoxygénation des océans, puisque leur consommation en oxygène est directement liée à leur activité métabolique. En effet, une concentration en oxygène dissous trop faible peut s'avérer létale pour le métabolisme certaines espèces. Par exemple, pour

Desmophyllum pertusum, la limite inférieure est d'environ 1,5 ml/l. La seule occurrence de CWC dans des eaux anoxiques a été identifiée le long de la côte africaine ouest (Portilho-Ramos *et al.*, 2022). Les couches océaniques ayant un contenu en oxygène dissous plus faible sont dites zones de minimum d'oxygène. Dans l'océan global, plusieurs études prédisent une expansion de ces zones de minimum d'oxygène, ce qui pourrait avoir un impact sur la survie des CWC (Fink *et al.*, 2016 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022). En Méditerranée, les zones de minimum d'oxygène s'étendent en moyenne entre 500 m et 1000 m de profondeur, selon un gradient de concentration d'ouest en est. Les masses d'eaux sont plus oxygénées au niveau des sites de formations d'eaux profondes, à l'est de la Mer Méditerranée (Hayes *et al.*, 2019).

À l'échelle locale, les dégâts sur les CWC sont liés à l'impact anthropique local et peuvent être directs ou indirects (Freiwald *et al.*, 2004 ; Roberts *et al.*, 2006 ; Salomidi *et al.*, 2009b ; Tsounis *et al.*, 2010 ; Taviani *et al.*, 2011 ; Gori *et al.*, 2013 ; Vertino *et al.*, 2014 ; Mytilineou *et al.*, 2014 ; Galli *et al.*, 2016 ; Fink *et al.*, 2016 ; Titschack *et al.*, 2016 ; Lastras *et al.*, 2016 ; Taviani *et al.*, 2017 ; D'onghia *et al.* 2017 ; Lauria *et al.*, 2017 ; Simboura *et al.*, 2019 ; Lartaud *et al.*, 2019 ; Maier *et al.*, 2019 ; D'onghia *et al.* 2019 ; Orejas et Jiménez, 2019 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022). Ceci est exacerbé en Méditerranée puisque cette mer est fortement soumise à l'impact anthropique et où les CWC peuvent subir de multiples stress environnementaux anthropiques (Fink *et al.*, 2016 ; Lo Iacono *et al.*, 2019 ; Salomidi *et al.*, 2009b). Les principales pressions sont liées aux activités de pêche. Les pressions peuvent être "actives" (e.g. filets traînants sur le fond) ou "passives" (e.g. structures permanentes). Les coraux endommagés par des filets de pêche utiliseraient leur énergie disponible pour réparer leurs tissus plutôt que pour leur reproduction (D'Onghia, 2019). Les impacts liés à l'utilisation de ce type de matériel peuvent aussi être indirects, notamment à cause de la remise en suspension d'une trop grande quantité de sédiments qui peut conduire à l'ensablement des coraux et à la formation d'une couche néphéloïde trop épaisse (Freiwald *et al.*, 2004 ; Mienis *et al.*, 2007 ; Lastras *et al.*, 2016 ; Lauria *et al.*, 2017 ; D'Onghia, 2019). La capacité des habitats de CWC à se rétablir après un chalutage est généralement de l'ordre de la décennie (Freiwald *et al.*, 2004 ; D'onghia *et al.* 2019). Cette capacité est propre à chaque espèce (Lauria *et al.*, 2017). Les activités de pêche peuvent également engendrer une quantité importante de déchets en mer, ce qui induit un stress sur les CWC et sur les écosystèmes des zones profondes de manière générale (Freiwald *et al.*, 2004 ; Roberts *et al.*, 2006 ; Salomidi *et al.*, 2009b ; Gori *et al.*, 2013 ; Mytilineou *et al.*, 2014 ; Lastras *et al.*, 2016 ; Lauria *et al.*, 2017 ; Simboura *et al.*, 2019 ; D'Onghia, 2019). Les autres impacts anthropiques importants en Méditerranée sont la mise en place de structures en mer liées à

l'exploitation d'hydrocarbures ou le placement de câbles engendrent un impact direct sur CWC. Dans le cas des forages d'hydrocarbures, la libération de fluides engendre un stress différent selon les espèces de CWC. Cependant, Roberts *et al.*, (2006) montrent que *Desmophyllum pertusum* survit en Mer du Nord malgré la proximité des forages.

Plus généralement, les nombreux déchets liés aux activités anthropiques sont problématiques pour ces écosystèmes vulnérables. Des déchets ont été retrouvés dans différentes provinces de CWC en Méditerranée, notamment dans la province du Golfe de Lion (Canyon Cap de Creus et Canyon Lacaze-Duthiers), dans la province “Capo Spartivento” (au sud de la Sardaigne), proche de la province de Melilla (en Mer d’Alboran) et dans la province “Santa Maria Di Leuca” (en Mer Ionienne) (Gori *et al.*, 2013 ; Lastras *et al.*, 2016 ; Lauria *et al.*, 2017 ; D’Onghia *et al.*, 2017 ; Taviani *et al.*, 2017 ; D’Onghia, 2019 ; Corbera *et al.*, 2019 ; Lo Iacono *et al.*, 2019). L’identification et la compréhension du fonctionnement des CWC permettent la mise en place de campagnes de protection (Taviani *et al.*, 2011 ; Corbera *et al.*, 2019 ; Lauria *et al.*, 2017 ; Taviani *et al.*, 2017).

3 Présentation de la zone d’étude : le détroit de Rion-Antirion

Le détroit de Rion-Antirion est situé entre les golfes de Patras à l'ouest et de Corinthe à l'est. Le golfe de Patras a une longueur d'environ 80 km et une largeur variant de 20 km à l'est à 40 km à l'ouest (Ferentinos *et al.*, 1985). Sa profondeur maximale est d'environ 140 m dans sa partie centrale. Quant au golfe de Corinthe, sa longueur est d'environ 120 km et sa largeur peut atteindre 40 km. Sa profondeur maximale est d'environ 900 m dans sa partie centrale (Lascaratos *et al.*, 1989). Le détroit de Rion-Antirion lui-même a une largeur d'environ 2 km et une profondeur d'environ 70 m au niveau du pont de Rion-Antirion (Rubi *et al.*, 2022).

La topographie du détroit est complexe et résulte de l'interaction de divers processus géologiques, dont la tectonique, et de processus physiques tels que les courants de fond et les marées internes (Rubi *et al.*, 2022). L'étude de la géomorphologie du fond marin permet d'identifier différents types de morphologies présentes dans le détroit en lien avec les courants de fond. Ces types de morphologie sont les suivantes : plateformes, terrasses, escarpements, plateau, chenal, et des morphologies spécifiques aux courants de fond (“moat” et “deep pools”). Ces méga-habitats sont tous situés sous 50 m.

Pour les paramètres physiques de la colonne d’eau, la salinité est relativement constante à environ 38 dans toute la colonne d'eau du détroit. La température varie saisonnièrement en relation avec la formation de la thermocline. En hiver, la couche de mélange est plus profonde, ce qui rend

les températures homogènes sur toute la colonne d'eau, autour de 13°C (Poulos *et al.*, 1996). Au printemps et en été, la thermocline se forme à environ 60 m de profondeur. Les eaux de surface ont alors des températures comprises entre 21°C et 26°C, tandis que les eaux situées sous la thermocline ont une température d'environ 13 °C (Poulos *et al.*, 1996 ; Rubi *et al.*, 2022).

Le détroit de Rion-Antirion est une zone où les courants de fond, dépendants des marées, sont amplifiés par un effet de constriction en raison de sa faibles profondeur et largeur en comparaison avec le Golfes de Patras mais surtout avec celui de Corinthe. Les courants de fond sont assez forts dans le détroit, et peuvent parfois atteindre jusqu'à 3 m/s (Rubi *et al.*, 2022).

La circulation océanique dans le détroit dépend fortement du régime des marées. Les courants varient, tout d'abord, en fonction des marées montantes et descendantes. Pendant la marée montante, les courants de surface se dirigent de l'est vers l'ouest, vers le Golfe de Patras, tandis que pendant la marée descendante, les courants de surface s'inversent et se dirigent de l'ouest vers l'est, vers le Golfe de Corinthe. Mais l'hydrodynamisme des masses d'eau de fond est distinct de celle des eaux de surface. Une circulation bidirectionnelle entre les masses d'eau de surface et de fond est retrouvée, induisant des ondes internes. Ces ondes peuvent être synchrones ou non avec le régime de marées selon le cycle de marées (cycle semi-diurnes, i.e. période de 6h ; Rubi *et al.*, 2022). Il est donc possible de retrouver des courants de fond allant dans une direction opposée de celle des courants de surface, le tout à des vitesses sensiblement différentes (jusqu'à 3 m/s au fond pour 1 m/s en surface ; Rubi *et al.*, 2022).

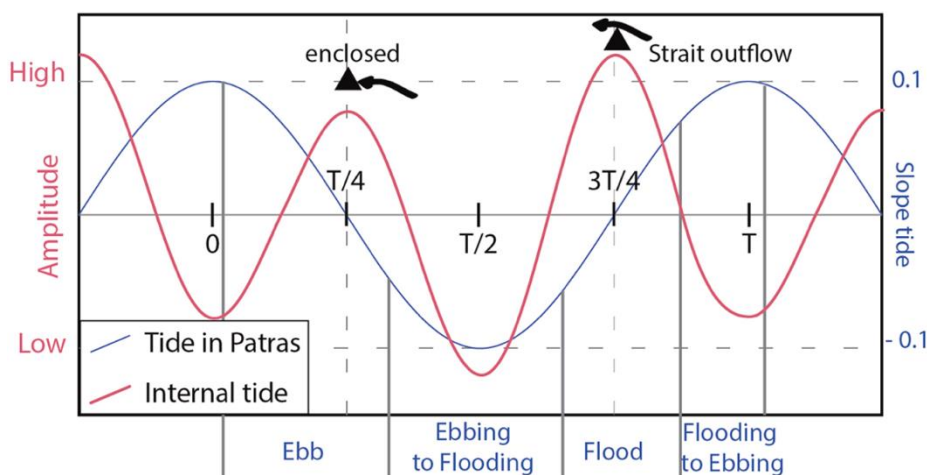


Figure 11 : Amplitude et cycle des marées dans la zone d'étude, la marée de surface est en bleu et la marée interne en rouge. La différence d'amplitude et le déphasage entre les deux marées dépendent de la phase du cycle dans lesquelles les marées se trouvent (d'après Rubi *et al.*, 2022).

Les vents sont également un facteur important dans la région, en raison de la topographie montagneuse environnante. Les vents dominants viennent du nord-ouest (Koletsis *et al.*, 2013) et

contribuent à l'approfondissement de la thermocline autour de 60 m, ce qui entraîne une couche de mélange plus importante (Rubi *et al.*, 2022). Les vents peuvent également avoir un impact sur les courants, bien que cet effet n'ait pas encore été quantifié dans le détroit de Rion-Antirion. Ces propriétés physiques et les forces environnementales influencent la dynamique de l'écosystème dans le détroit de Rion-Antirion, créant un environnement marin unique et diversifié.

4 Matériel et méthodes

4.1 Campagnes océanographique et déploiement des caméras

La zone d'étude comprend des courants de fond forts et variables (Rubi *et al.* 2022). De ce fait, ces conditions ne permettent pas l'utilisation d'un ROV (Remotely Operated Vehicle, caméra télécommandée) ou encore un échantillonnage *in situ*. Les acquisitions d'images ont été effectuées par une caméra reliée au bateau par un câble. En 2019, la caméra utilisée avait une résolution de 640x480. En 2023, la caméra HD utilisée (Fig. 12) avait une résolution de 1920x1080. Pour les deux campagnes océanographiques (2019 et 2023), le bateau était en dérive contrôlée à vitesse constante de 1 à 2 nœuds.

La première acquisition d'images de CWC dans la zone d'étude s'est déroulée durant la campagne océanographique de mai 2019. Neuf transects ont été réalisés (Fig. 13) Les coordonnées GPS sont affichées sur chaque vidéo et correspondent à la position du bateau, avec une précision de 10 cm. Les vidéos ont été acquises le 20 mai 2019 à : 9h21, 10h29, 11h03, 11h34, 13h37, 13h45, 13h56, 14h18 et 14h42.

La seconde acquisition d'images de CWC dans la zone d'étude s'est déroulée durant la campagne océanographique de mai 2023, du 12 au 26 mai 2023. Neuf transects ont aussi été réalisés durant cette campagne (Fig. 13). Les transects ont été positionnés afin de compléter les acquisitions de 2019. Les vidéos ont été acquises sur deux jours : le 23 mai (tests de la caméra à 16h28 et 16h54 dans le golfe de Patras) et le 24 mai 2023 à 9h01, 9h31, 11h25, 12h15, 12h31, 13h41, 14h13, 15h09 et 15h32 (tous au niveau du détroit sauf les trajets de 9h01 et 9h31). Les coordonnées correspondent à la position du bateau, toutes les secondes. Les positions des coraux le long des transects peuvent avoir une imprécision de plus d'un mètre dû à la longueur du câble entre le bateau et la caméra qui n'était pas fixe. Les transects sont nommés suivant la date et l'heure du début de l'acquisition. La dénomination des transects est indiquée dans le Tableau 1.

Figure 12 : Caméra utilisée pour l'acquisition 2023. Les deux photos ont été prises le 24 mai 2023 (jour des acquisitions vidéos). Sur l'image de droite, des ailerons et du lest ont été ajoutés sur l'armature de la caméra pour améliorer sa stabilité.

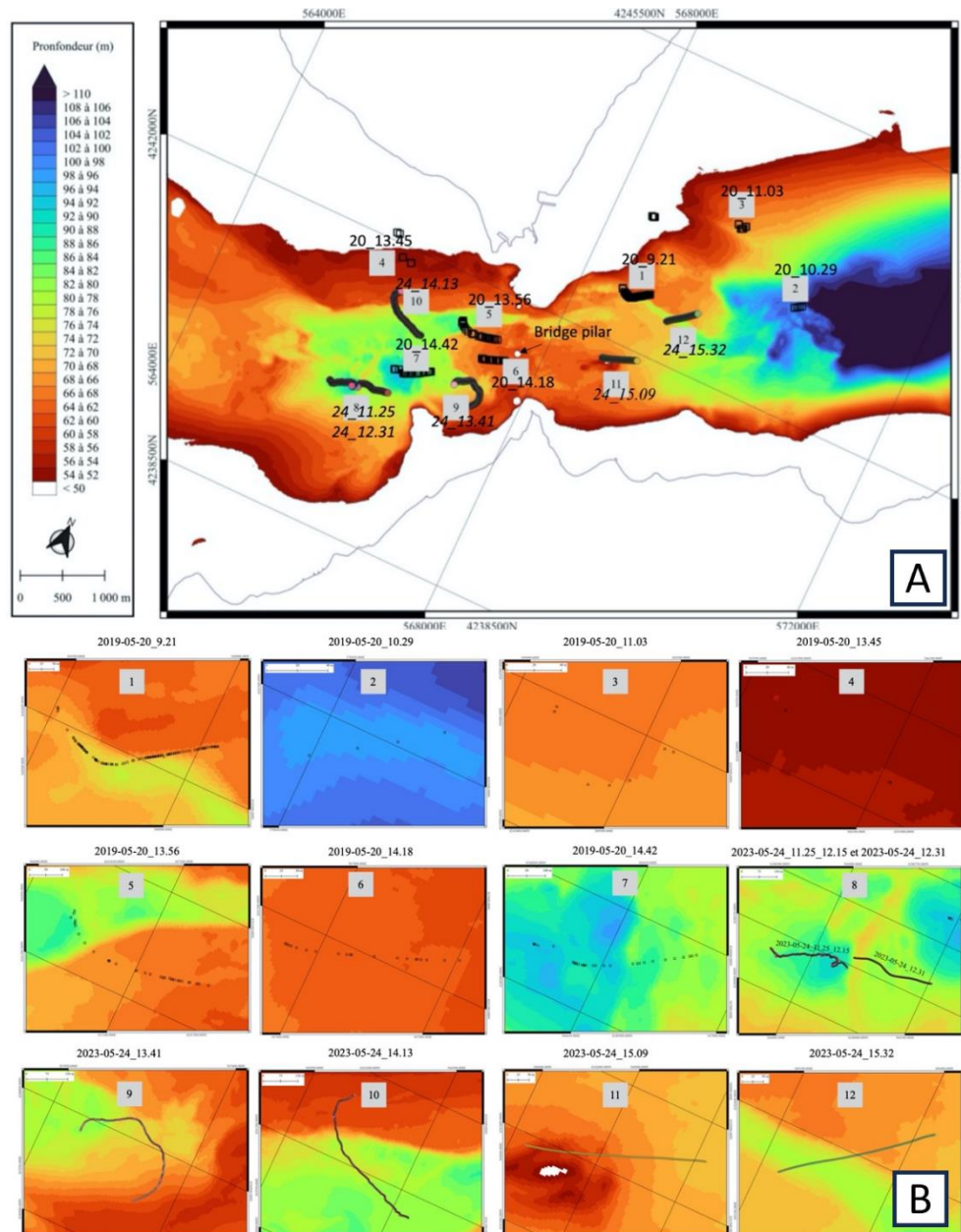


Figure 13 : (a) Cartographie de l'ensemble des trajets. Par souci de lisibilité, un label réduit indique le jour et l'heure des acquisitions, sans mise en forme pour 2019n et en italique pour 2023. (b) Détails durant les campagnes de mai 2019 et mai 2023. La bathymétrie est affichée avec une résolution de 5 m. Les coordonnées sont indiquées au format Universal Transverse Mercator (UTM).

Tableau 1 : Noms des transects utilisés selon la date et l'heure de l'acquisition. Les directions vers lesquelles les trajets ont été effectués sont indiquées. La longueur du transect (obtenu via QGis) est indiquée en m.

Date et heure du transect		Nom du transect correspondant	Longueur du transect (en m)	Direction du transect
20 mai 2019	9h21	2019-05-20_9.21	400	vers l'est
	10h29	2019-05-20_10.29	120	vers l'est
	11h03	2019-05-20_11.03	150	
	13h45	2019-05-20_13.45	150	
	13h56	2019-05-20_13.56	500	vers l'est
	14h18	2019-05-20_14.18	275	vers l'est
	14h42	2019-05-20_14.42	450	vers le nord-est
24 mai 2023	11h25 et 12h15	2023-05-24_11.25_12.15	450	vers l'est
	12h31	2023-05-24_12.31	360	vers l'est
	13h41	2023-05-24_13.41	700	vers le nord
	14h13	2023-05-24_14.13	630	vers le nord
	15h09	2023-05-24_15.09	415	vers l'est
	15h32	2023-05-24_15.32	380	vers le sud-est

4.2 Préparation des données et traitement des vidéos de 2019 et 2023

Pour chaque vidéo, au moins deux visionnages ont été effectués. Le premier visionnage a été fait avec les logiciels Quicktime player (v10.5) ou VLC (v3.0.16), selon les formats vidéo disponibles. Ce premier visionnage a permis de noter les timecodes qu'il était nécessaire de revoir en détail et d'annoter quelques caractéristiques des vidéos (coordonnées GPS, habitat, substrat, remarques spécifiques). Le deuxième visionnage a été fait avec le logiciel Filmora (v12.2.1) qui permet de découper les vidéos images par images (30 images par secondes). Ce deuxième visionnage a permis notamment d'identifier plus en détail les espèces présentes. Pour avoir une idée de l'échelle, le diamètre moyen ou la taille moyenne de chaque espèce clairement identifiée a été utilisé. Par exemple, *Alcyonium palmatum* peut avoir une taille moyenne comprise entre 10 à 15 cm de hauteur

(certains individus pouvant cependant mesurer jusqu'à 50 cm ; voir clés d'identification en Annexe 1 ; Fournier, 2023).

Pour chaque vidéo, toutes les notes ont été reportées dans un tableau afin d'établir des rapports de visionnage (Tableau 2). Pour toutes les identifications, il sera indiqué le type de substrat. Pour les identifications de coraux rouges, *C. Rubrum*, il sera indiqué l'orientation des individus. Pour estimer l'orientation des individus, la méthode de Rossi *et al.*, (2008) a été utilisée en procédant comme suit (Fig. 9) : 0° = espèce non orientée ; 90° = espèce perpendiculaire par rapport au substrat, sur un mur vertical ; 180° = espèce perpendiculaire par rapport au substrat, orienté vers le bas ; 45° = espèce sur un mur vertical, vers le haut ; 135° = espèce sur un mur vertical, vers le bas. Pour toutes les identifications, les positions des coraux sur les vidéos ont été cartographiées avec QGis (v3.30.3).

Tableau 2 : Exemple de rapport de visionnage pour la vidéo du 24 mai 2023 à 14h13

2023-05-24_14.13.24					
Timecode	Profondeur (m)	Identifications (nombre d'espèces)	Type de Substrat	Orientations du corail rouge : 0°, 90°, 180°, 45° et 135° (en nombre d'individus)	Commentaires additionnels
23:18:00	79.7	<i>Caryophyllidae spp.</i> (>10)	Dur	/	/
26:30:00	72.3	<i>A.palmatum</i>	Dur	/	Début "champ"
28:38:00	62.2	<i>C. Rubrum</i> (5)	Dur	0° (4) et 45° (1)	/
29:08:00	61.7	<i>A.palmatum</i> (1)	Dur	/	/

4.3. Synthèse bibliographique et clé d'identification des espèces de CWC observés

Dans le but de répondre à la question de recherche et d'établir une clé d'identification des CWC dans le détroit, une synthèse bibliographique sur les CWC en Méditerranée a été effectuée. Une synthèse cartographique a été faite avec Google Earth (v7.3.9345). Chaque localisation ou zone d'étude concernant des CWC reprise dans des ouvrages scientifiques a été ajoutée dans Google Earth (v7.3.9345) afin de créer une base de données. Les recherches plus spécifiques sur *C. Rubrum*, ont également permis d'affiner la base de données. Les espèces ont été identifiées sur base de recherche bibliographique et des clés d'identification ont été réalisées (Annexe 1). Les images en Figure 14 montrent des exemples d'identifications issues des vidéos de 2019 et de 2023. La base de données

récoltées a aussi été utilisée pour comparer la diversité des CWC du détroit avec celle des CWC en mer Méditerranée. Le nombre moyen d'espèces présentes par provinces de CWC a été comparé avec le nombre d'espèce autour de la zone d'étude (province (2) en Mer Ionienne) et le nombre d'espèces totales identifiées à ce jour dans la zone d'étude. Pour chaque cas, le nombre d'espèces retrouvées est explicité en pourcentage afin de pouvoir comparer les données et établir une estimation relative de la diversité corallienne de la zone d'étude. Afin d'estimer la densité relative de CWC de la zone d'étude par rapport aux CWC présents dans les zones environnantes, les indices suivants sont utilisés : 0 % = Pas d'espèces présente ; 25 % = Assez diversifié ; 50 % = Diversité moyenne ; 75 % = Forte diversité ; 100 % = Diversité très importante.

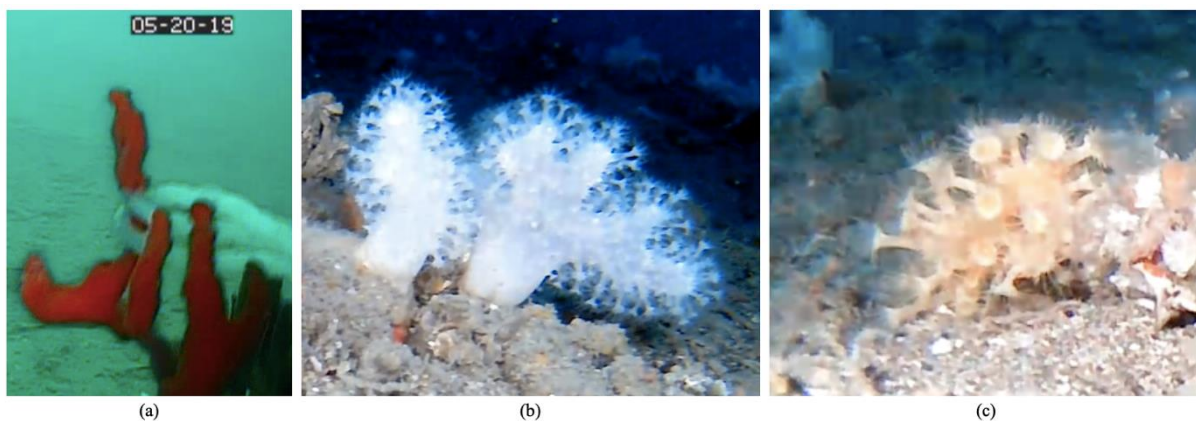


Figure 14 : (a) *Corallium Rubrum* (vidéo 2019). (b) *Alcyonium palmatum* (vidéo 2023). (c) *Parazoanthus axinellae* (vidéo 2023).

4.3.1 Identification des habitats du détroit et cartographie

Les données bathymétriques ont été obtenues à l'aide d'un MBES (multibeam echosounder) lors de la campagne de mai 2019 et ont été visualisées avec QGis . La grille bathymétrique obtenue après traitement par le chercheur D. Christodoulou (Université de Patras) couvre une surface de 211 km² et a une résolution de 5 m par 5 m. Ces données ont permis d'identifier les différents types d'habitats au niveau du détroit.

4.3.2 Estimation relative de la densité corallienne le long des transects.

Dans le but d'estimer la densité de CWC présents dans la zone d'étude, le nombre d'espèces de CWC (totales) et le nombre de *C. Rubrum* le long des transects est comptabilisé. Certains transects comportent des “champs” d'*Alcyonium palmatum*. Pour ces derniers, il n'est alors pas possible de compter le nombre d'occurrences une à une. De ce fait, les zones de “champs” sont estimées en comptant 100 espèces par mètre parcourus. Aussi, pour les transects comprenant des espèces de la famille des Caryophyllidae spp., pour lesquels il est difficile de compter les individus, les valeurs de densité obtenues peuvent être sous-estimées.

Les espèces identifiées lors des vidéos acquises le 20 mai 2019 à 11h34 et 13h37 ne sont pas comptées car la bathymétrie est inférieure à 50 m. Aussi, les espèces identifiées lors des tests caméras dans le Golfe de Patras ne sont pas comptées, car les transects sont trop éloignés de la zone d'étude (acquisitions du 23 mai 2023 à 16h28 et 16h54, et le 24 mai 2023 à 9h01 et 9h31).

4.3.3 Cartographie des courants de fond

Les cartes de courants de fond, associées aux températures de l'eau au fond du détroit, ont été obtenues suite à l'interprétation des résultats d'un modèle océanographique. Ces données ont été obtenues à l'aide du modèle de B. Caterina (Université de Liège). Le modèle utilisé est le modèle ROMS (Barth, Tutoriel ROMS Github) avec des forçages provenant du CMEMS (forçages océaniques ; Mediterranean Sea Physics Reanalysis), de l'ECMWF (vents ; modèle atmosphérique MARS) et de TPXO (marées ; Egbert et Erofeeva, 2002). Le modèle a simulé divers paramètres océanographiques sur l'année 2019 avec une itération par minute et une sortie par heure. Les résultats du modèle ont ensuite été traités à l'aide du langage Julia pour moyenner les données sur toute l'année 2019. Les vitesses maximales au cours d'une année ont aussi été extraites. Sur les cartes, seule la couche du fond a été représentée afin de mettre en évidence les conditions au fond dans le détroit.

5 Résultats

5.1 Caractérisation du biotope corallien au niveau du détroit de Rion-Antirion

5.1.1 Caractérisation des types d'habitats au niveau du détroit

Au niveau du détroit, les données bathymétriques permettent de définir six types de méga-voire méso- habitats (ordre du km à 100 m) et un type de macro- voire micro- habitat (ordre du m) (Fig. 15 et Fig. 16).

Parmi les six mégas-habitats (Fig. 15), cinq d'entre eux sont formés de sédiments indurés, et un seul constitué de sédiments meubles. Les cinq habitats, formés deavec les sédiments indurés, sont les suivants : (1) le plateau (au centre de la zone d'étude, au niveau du pont Rion-Antirion) à une profondeur comprise entre 60 et 75 m ; (2) un mont (dans le sud-est de la zone d'étude) dans la zone du plateau), long d'environ 500 m et formant un relief de 12 m ; (3) deux bassins profonds de part et d'autre du plateau et à plus grande profondeur : le bassin Est, atteignant plus de 110 m et le bassin Ouest atteignant en moyenne 80 m (et 100 m dans sa partie la plus profonde "deep pools" ; Fig. 13 (b), transect 2019-05-20_14.42) ; (4) deux chenaux incisant le plateau et débouchant dans les bassins avec un gradient d'incision marqué de quelques m à 80 m. Le chenal Ouest traverse la zone du détroit et débouche dans le bassin Ouest. Le chenal Est, situé à l'Est du pont de Rion-Antirion débouche

dans le bassin Est. Les parois des chenaux sont lithifiées et quasiment verticales ; (5) les zones de pente, qui correspondent à la limite entre chaque habitat ou à un changement de bathymétrie abrupte et qui sont généralement indurée. (6) Les zones de sédiments meubles sont quant à elles localisées de part et d'autre des deux bassins profonds, ainsi qu'au nord et au sud du plateau et des bassins profonds. La Figure 15 montre les macros- (voire micros-) habitats observés au niveau du bassin Ouest. Ces habitats sont des assemblages de débris de coraux morts, de Bryozoaires ou encore de rochers, et forment des mini-monts. Souvent, des coraux sont retrouvés au-dessus de ces monts (Fig. 16).

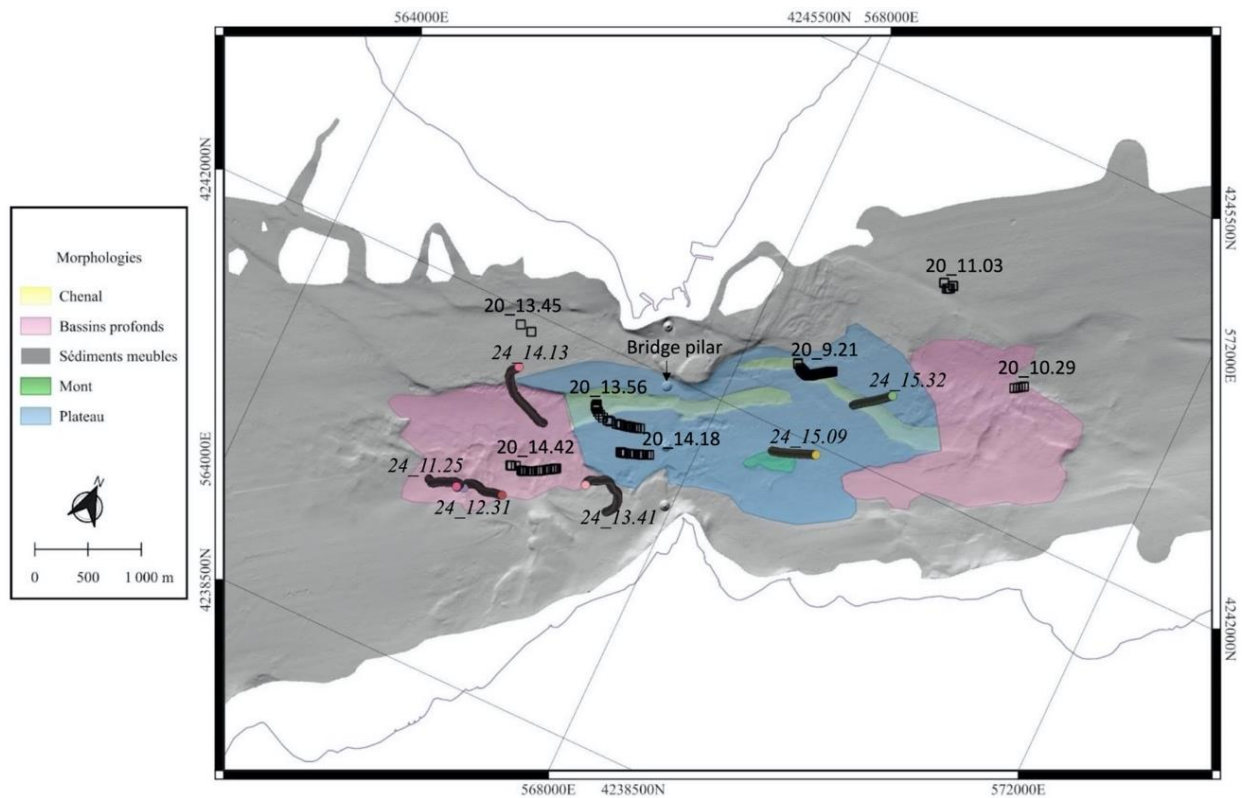


Figure 15 : Types d'habitats identifiés au niveau du pont de Rion-Antirion et les transects effectués. Les coordonnées sont indiquées au format UTM. Par soucis de lisibilité, un label réduit indique le jour et l'heure des acquisitions, sans mise en forme pour 2019, et en italique pour 2023.



Figure 16 : Débris d'organismes formant des mini-monts. Ici, les CWC et des éponges se sont développés sur un rocher.

5.1.2 Espèces présentes au niveau du détroit et cartographie

Dans la zone du détroit de Rion-Antirion, deux sous-classes de coraux sont retrouvées : les Hexacorallia et les Octocorallia. Les espèces suivantes ont pu être identifiées dans chaque vidéo en utilisant les clés d'identification (Annexe 1) : (1) Hexacorallia : Caryophyllidae spp., *Parazoanthus axinellae* ; (2) Octocorallia : *Alcyonium palmatum*, *Corallium Rubrum*, Pennatuloidae spp. (dont *Pennatula aculeata* et *Pterioeides griseum*), Veretillidae spp. (dont *Cavernularia pusilla*), Primnoidae spp. (dont *Callogorgia verticillata*). Salomidi *et al.* (2009b) ont également pu mettre en évidence la présence de *Dendrophyllia ramea* (Hexacorallia) au niveau du détroit. Dans le Golfe de Patras, à l'ouest du détroit, des tests d'utilisation de la caméra en mai 2023 ont permis de mettre en évidence d'autres espèces jamais encore répertoriées dans cette zone : une espèce de l'ordre des Actiniaria spp., une espèce de la super-famille des Pennatuloidae spp. et *Spinimuricea klavereni*. Ces espèces sont présentes également autour de la zone d'étude : en Mer Adriatique, en Mer Ionienne et en Mer Égée (voir Annexe 2 ; Sini *et al.*, 2017 ; Rueda *et al.*, 2019 ; Mačić *et al.*, 2021). Selon les transects, il y a notamment des zones de plus forte densité de l'espèce *Alcyonium palmatum*, notées "champ", visibles sur la Figure 17 et marquées par un trait blanc épais sur la Figure 18d. Les espèces de la famille des Caryophyllidae sont quant à elles relativement bien distribuées et sont visibles sur tous les transects.

5.1.3 Description des transects

Le Tableau 3 présente la description détaillée de chaque transect. Sur l'ensemble des transects, une quantité très importante de sédiments en suspension, notamment pour les transects proches du pont de Rion-Antirion (transects 2019-05-20_13.56 et 2019-05-20_14.18) a été observée. En plus des espèces de CWC retrouvées lors des différentes campagnes, de nombreux assemblages d'éponges (phylum des Porifera spp.) et de bryozoaires (phylum des Bryozoa spp.) sont présents abondamment

dans la zone d'étude. Il est assez fréquent de retrouver ce type d'assemblages (éponge-bryozoaires-coraux) en lien avec de forts courants de fond et un substrat dur autour de la zone d'étude, notamment en mer Ionienne (Otero *et al.*, 2022).

Tableau 3 : Description de chaque transect. Les espèces identifiées sont également reprises en détail en Figure 18.

Nom du transect correspondant	Longueur du transect (en m)	Profondeur (en m)	Type d'habitats échantillonnés	Espèces identifiées	Caractéristiques notables
2019-05-20_9.21	400	60 à 80	Chenal Est	<ul style="list-style-type: none">Caryophyllidae spp.<i>C. Rubrum</i>Pennatuloidea spp.Primnoidae spp.	Présence de Pennatuloidea spp. sur tout le transect et de <i>C. Rubrum</i> de grande taille vers la fin du transect (spécimens variants entre 10 cm et 20 cm).
2019-05-20_10.29	120	~ 100	Bassin profond Est	<ul style="list-style-type: none"><i>Alcyonium palmatum</i>Pennatuloidea spp.	Présence de Pennatuloidea spp. (dont <i>Pteroides Griseum</i>).
2019-05-20_11.03	150	~ 60	Sédiments meubles	<ul style="list-style-type: none">Pennatuloidea spp.	
2019-05-20_13.45	150	~ 50	Sédiments meubles		
2019-05-20_13.56	500	60 à 90	Chenal (bassin Ouest) et plateau	<ul style="list-style-type: none"><i>Alcyonium palmatum</i><i>C. Rubrum</i>	“Champs” d’ <i>Alcyonium palmatum</i> . Sur ces deux transects, les coraux rouges sont visibles vers la fin des trajets, autour de 70 m de profondeur.
2019-05-20_14.18	275	60 à 70	Plateau	<ul style="list-style-type: none"><i>Alcyonium palmatum</i>Caryophyllidae spp.<i>C. Rubrum</i>	
2019-05-20_14.42	450	80 à 100	Bassin profond Ouest	<ul style="list-style-type: none"><i>Alcyonium palmatum</i><i>C. Rubrum</i>	“Champ” d’ <i>Alcyonium palmatum</i> sur 250 m.
2023-05-24_11.25_12.15	450	84 à 92	Bassin profond Ouest	<ul style="list-style-type: none"><i>Alcyonium palmatum</i>Caryophyllidae spp.Pennatuloidea spp.	Présence de Pennatuloidea spp. (dont <i>Pteroides Griseum</i>) dans les zones les plus profondes. Fond couvert de débris coraliens.
2023-05-24_12.31	360	86 à 90	Bassin profond (Ouest).	<ul style="list-style-type: none">Caryophyllidae spp.	Présence unique de Caryophyllidae spp.

					Fond couvert de débris coraliens.
2023-05-24_13.41	700	66 à 80	Bassin profond Ouest et plateau. Ce transect est uniquement en sédiment induré.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Alcyonium palmatum</i> • Caryophyllidae spp. • <i>C. Rubrum</i> 	“Champ” d’ <i>Alcyonium palmatum</i> (sur 350 m) Présence d’un câble sur lequel les coraux sont fixés (Fig. 17).
2023-05-24_14.13	630	60 à 82	Bassin profond Ouest, plateau et sédiments meubles	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Alcyonium palmatum</i> • Caryophyllidae spp. • <i>C. Rubrum</i> • Pennatuloidae spp. • Primnoidae spp. 	Présence de <i>C. Rubrum</i> qu’à la fin du transect, autour de 60 m de profondeur. Marqué par un “champ” d’ <i>Alcyonium palmatum</i> sur 10 m, entre 70 et 75 m de profondeur.
2023-05-24_15.09	415	56 à 66	Plateau et mont	<ul style="list-style-type: none"> • Caryophyllidae spp. • Primnoidae spp. 	Primnoidae spp., (<i>Callogorgia Verticillata</i>), présence sur tout le transect. De nombreuses espèces d’éponges présentes sur tout le transect.
2023-05-24_15.32	380	76 à 80	Chenal Est	<ul style="list-style-type: none"> • Caryophyllidae spp. • <i>C. Rubrum</i> • Pennatuloidae spp. 	Présence de <i>C. Rubrum</i> sur toute la longueur. Dernier transect suite à une casse du matériel sur une paroi dure

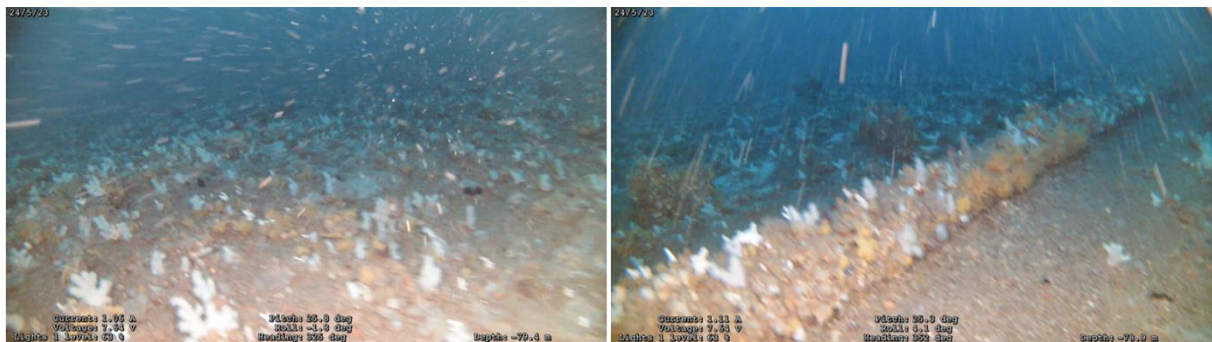


Figure 17.: Captures d'écran effectuées pendant le trajet 2023-05-24_13.41 montrant, à gauche, les “champs” d'*Alcyonium palmatum*, et à droite, le câble sur lequel ces derniers sont fixés.

5.1.4 Cartographie des espèces au niveau du détroit

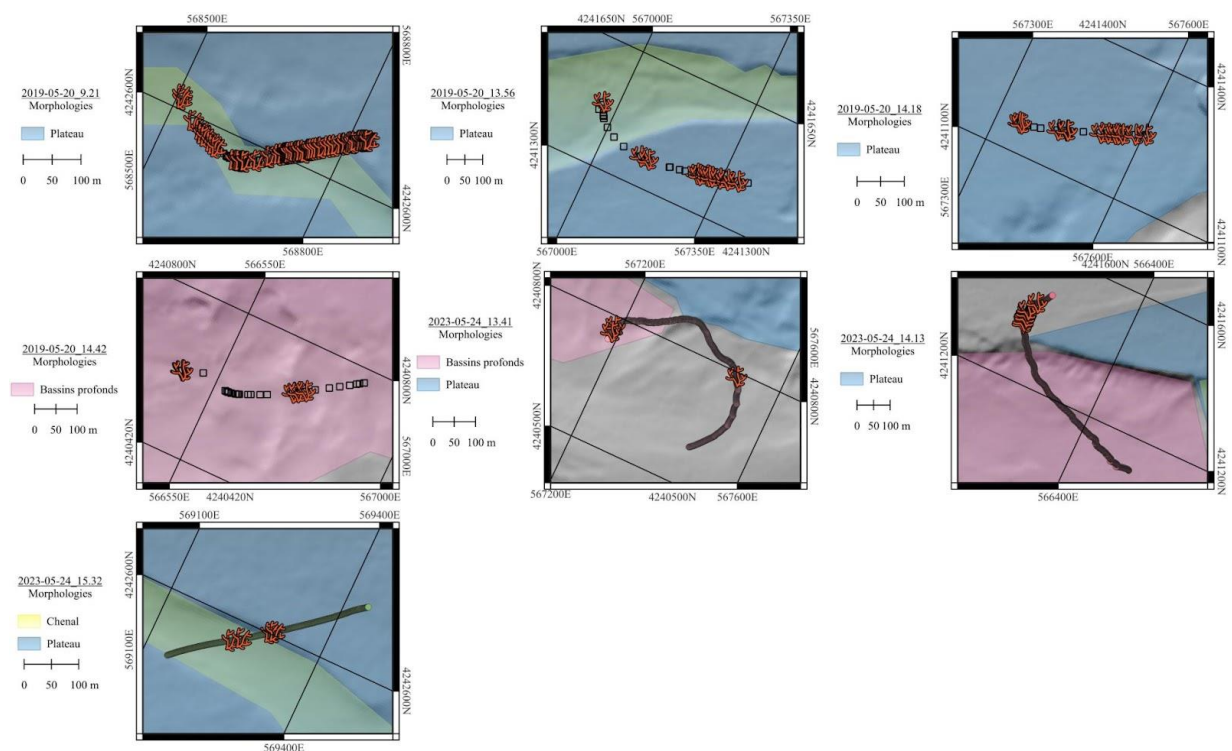
Les espèces du genre Caryophyllidae et Primnoidae sont distribuées de manière homogène sur tous les transects, peu importe le type d'habitat, et de manière assez abondante. Les transects 2023-05-24_12.31 (bassin profond Ouest) et 2023-05-24_15.09 (partie Est du plateau et du mont) comprennent uniquement des espèces des genres Caryophyllidae et Primnoidae.

C. Rubrum est présent de manière abondante au niveau du chenal Est (entre 60 et 70 m de profondeur) et au niveau du bassin profond Ouest (entre 85 et 95 m de profondeur). À l'est du pont de Rion-Antirion, *C. Rubrum* est systématiquement identifié proche d'*Alcyonium palmatum*. Selon le type d'habitat, *C. Rubrum* présente des types de morphologies différentes. Les individus les plus fins sont visibles dans les zones de plateau. Les individus les plus ramifiés et les plus grands sont visibles dans la zone de bassin profond Ouest dans les chenaux.

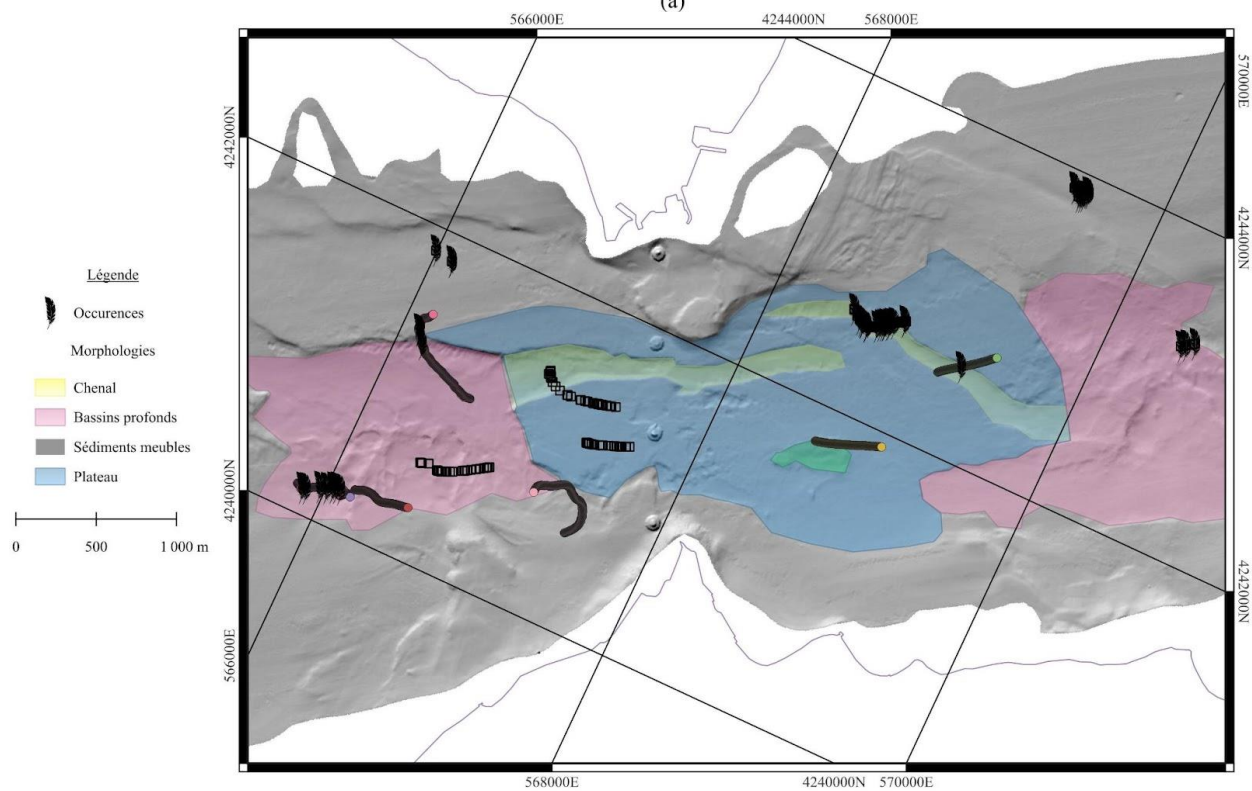
Les espèces de la super-famille des Pennatuloidae sont présentes sur les deux types de substrat (sédiments indurés ou meubles). Sur les sédiments meubles, au bord du chenal et du bassin profond Ouest, seulement trois occurrences de cette famille sont visibles sur les vidéos autour de 50 m de profondeur. Sur les sédiments meubles, au nord du bassin profond Est, les espèces de cette super-famille sont présentes dans une zone autour de 60 m de profondeur. Sur le sédiment induré, ces espèces sont distribuées le long du chenal Est, entre 65 et 75 m de profondeur.

L'espèce *Alcyonium palmatum* est généralement localisée dans des zones de pente. Les “champs” de cette espèce sont tous localisés à l'ouest du pont sauf un individu visible au niveau du bassin profond (transect 2019-05-20_10.29).

La cartographie des différentes espèces est présentée en Figure 18 (a)-(d).



(a)



(b)

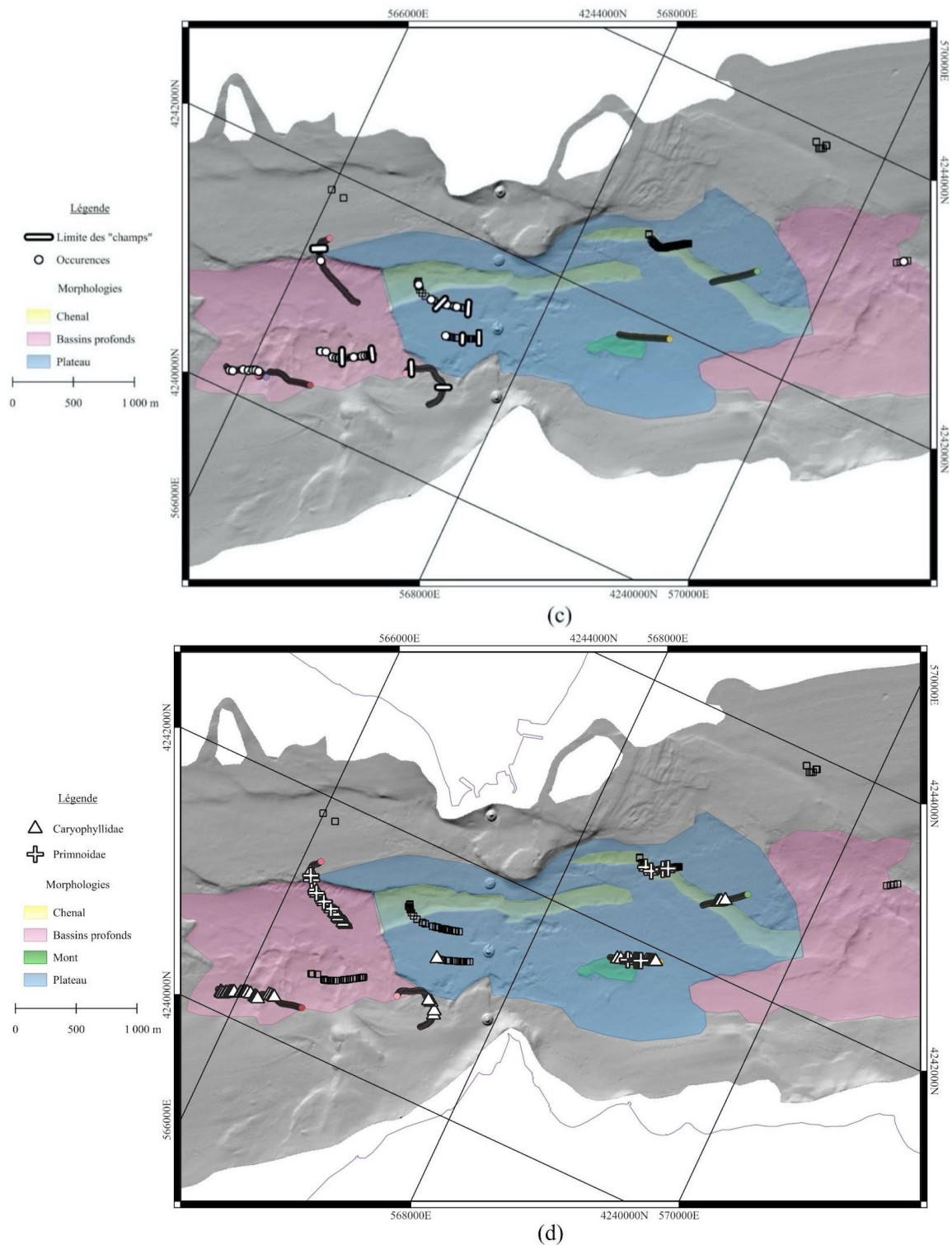


Figure 18 : Cartographies de différentes espèces identifiées au niveau du détroit. (a) Distribution détaillée de *C. Rubrum* dans la zone d'étude. Les occurrences de coraux rouges sont indiquées par une icône en forme corail orangé. (b) Distribution des espèces de la super-famille des Pennatulioidea dans la zone d'étude. Les occurrences de ces espèces sont indiquées par une icône en forme de plume noire. (c) Distribution d'*Alcyonium palmatum* dans la zone d'étude. Les occurrences de cette espèce sont indiquées par un rond blanc. Les limites des zones de champs sont indiquées par un trait blanc. Par soucis de lisibilité, un label réduit indique le jour et l'heure des acquisitions, sans mise en forme pour 2019, et en italique pour 2023. (d) Distribution des espèces du genre *Caryophyllidae* et

Primnoidae, indiquées en blanc, respectivement par un triangle et par une croix. Les habitats indiqués sont ceux concernés par la présence de l'espèce.

5.1.5 Estimation de la densité corallienne et de coraux rouges

Les densités de CWC et de *C. Rubrum* ont été calculées par transect afin de pouvoir identifier les zones les plus propices au développement des coraux. Une densité proche de 1 ind./m est considérée comme faible, tandis qu'une valeur proche de 10 est considérée comme importante. Le Tableau 4 reprend les estimations de densité de CWC et de *C. Rubrum* pour chaque transect. Sans prendre en compte les "champs" d'*Alcyonium palmatum*, les densités d'individus le long des transects varient entre 0,01 et 0,7 ind./m pour les CWC ; la valeur 0,01 ind./m pouvant être sous-estimée. En comptant ces champs, les densités d'individus de CWC, le long des transects varient entre 0,01 et 56 ind./m. Pour *C. Rubrum*, les densités d'individus le long des transects varient entre 0,004 et 0,27 ind./m.

Tableau 4 : Densité de CWC et de coraux rouges, *C. Rubrum*, par transect. Les nombres de CWC ou de *C. Rubrum* indiqués en nombre d'individus (ind.). Le nombre d'individus comptés concerne les espèces identifiées et visibles sur les vidéos. Le nombre de CWC identifiés correspond au nombre total d'individus comptés et visibles sur les vidéos, *C. Rubrum* inclus. Les densités sont indiquées en nombre d'individus par m parcourus (en ind./m). Les transects marqués par une astérisque concernent ceux comprenant des espèces de la famille Caryophyllidae spp. (leur nombre pouvant être sous-estimé).

Transect	Longueur du transect (en m)	Nombre de CWC identifiés (ind.)	Nombre de <i>C. Rubrum</i> identifiés (ind.)	Densité de CWC (en ind./m)	Densité de <i>C. Rubrum</i> (en ind./m)
2019-05-20_9.21*	400	166	107	0,4	0,27
2019-05-20_10.29	120	4	/	0,03	/
2019-05-20_11.03	150	7	/	0,05	/
2019-05-20_13.45	150	3	/	0,02	/
2019-05-20_13.56	500	24 (sans champ) ou 22500 (avec champ)	12	0,05 (sans champ) ou 45 (avec champ)	0,024
2019-05-20_14.18	275	25 (sans champ) ou 15000 (avec champ)	12	0,1 (sans champ) ou 55 (avec champ)	0,04
2019-05-20_14.42	450	31 (sans champ) ou 25000 (avec champ)	5	0,7 (sans champ) ou 56 (avec champ)	0,01
2023-05-24_11.25_12.15*	450	8	/	0,02	/
2023-05-24_12.31*	360	4	/	0,01	/

2023-05-24_13.41	700	21 (sans champ) ou 35000 (avec champ)	3	0,03 (sans champ) ou 50 (avec champ)	0,004
2023-05-24_14.13*	630	69 (sans champ) ou 1000 (avec champ)	15	0,1 (sans champ) ou 1,6 (avec champ)	0,024
2023-05-24_15.09*	415	31	/	0,08	/
2023-05-24_15.32	380	12	7	0,03	0,02

5.1.6 Orientations de *C. Rubrum* par rapport au substrat

Pour les transects étudiés, aucun individu de corail rouge orienté à plus de 90° n'est retrouvé. La Figure 19 indique les proportions des individus retrouvés à 0°, 45° et 90°. Sur l'ensemble des transects, une forte proportion de *C. Rubrum*, est orientée par rapport au substrat, à 45° ou 90° (respectivement 34,78 % et 6,21 %). Les individus retrouvés orientés à 90° par rapport au substrat ne sont présents que sur deux transects (2019-05-20_9.21 (chenal Est) et 2019-05-20_14.42 (partie est du bassin Ouest)).

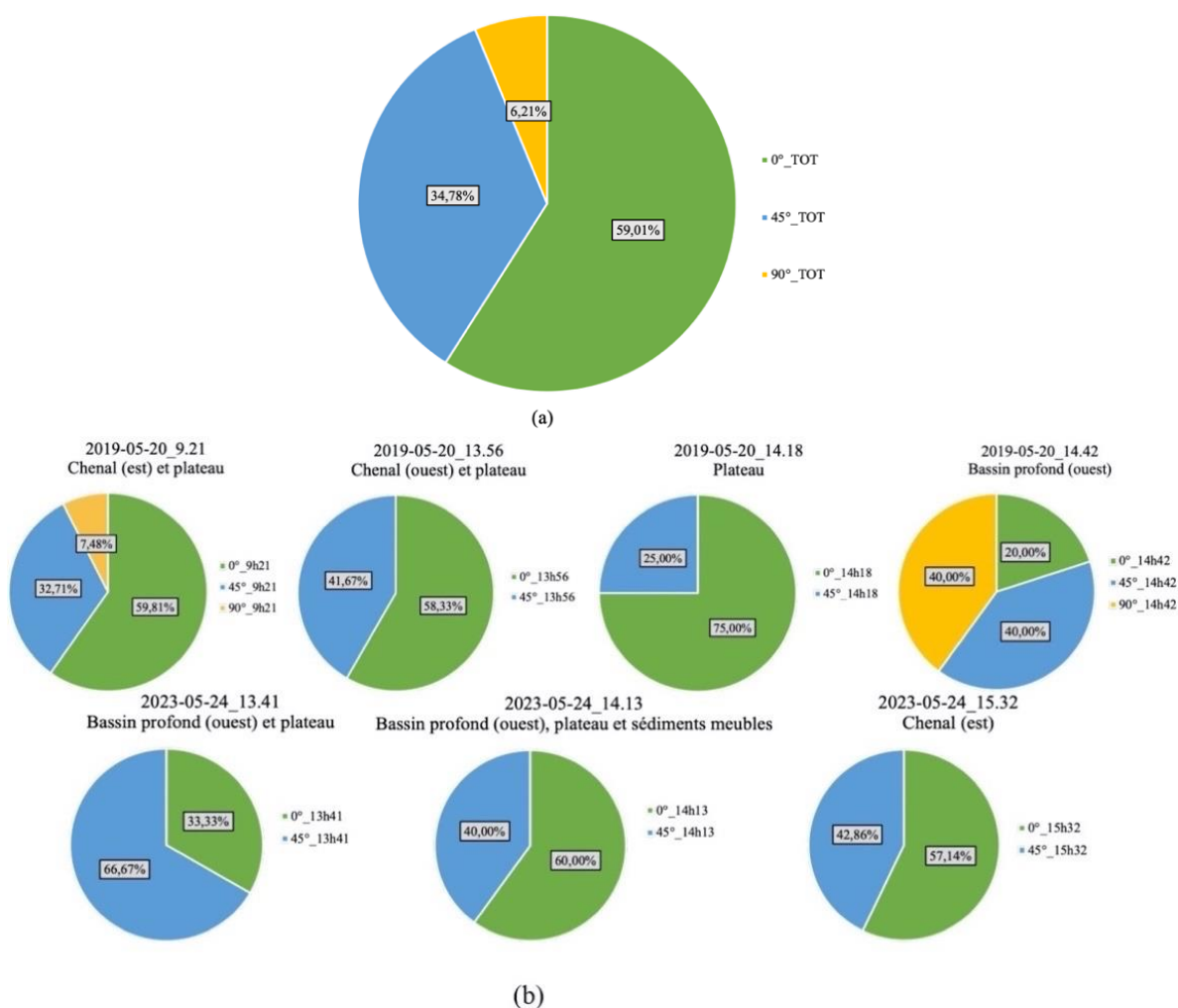


Figure 19 : (a) Proportion de *C. Rubrum*, orientés par rapport au substrat sur l'ensemble des transects. (b) Proportion de *C. Rubrum* orientés par rapport au substrat par transects. Le nom du transect et les types d'habitats échantillonnés sont indiqués pour chaque graphe. Les proportions d'espèces à 0°, 45° et 90° sont représentées respectivement en vert, bleu et jaune.

5.1.7 Traces de l'impact anthropique

Les vidéos permettent d'observer de nombreuses traces d'activités anthropiques, principalement des déchets (sacs plastiques, câbles, matériel de pêche abandonné ; Fig. 14, Fig. 17 et Fig. 20).



Figure 20 : Exemple de déchet. Ici, une bouteille en verre a été colonisée par différentes espèces d'éponges.

5.2 Cartographie des courants de fond

La cartographie des courants de fond obtenue sur la Figure 21 correspond à la moyenne obtenue sur l'année 2019 avec le modèle ROMS. Les températures des eaux de fond varient en moyenne entre 14°C et 18°C. Les résultats obtenus montrent une eau plus chaude au nord car cette zone du détroit est moins profonde, le fond étant situé entre 0 et 50 m de profondeur. Les courants de fond moyens sont dirigés vers le sud-ouest sur la côte nord du détroit et vers le nord-est le long de la côte sud. Les courants de fond sont bidirectionnels (Rubi *et al.*, 2022), bien que ça ne soit pas visible sur les Figures 21 et 22. Ces courants moyens ont une vitesse moyenne de 1 à 20 cm/s en fonction de leur direction.

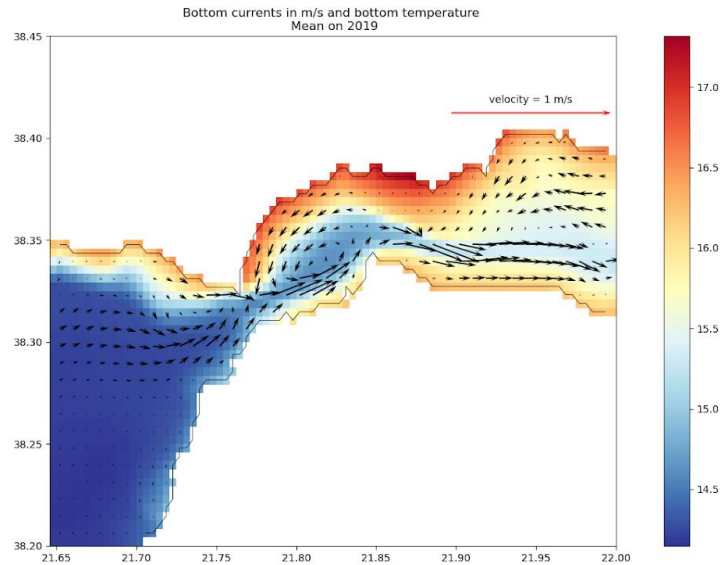


Figure 21 : Cartographie de la température moyenne et des courants de fond moyens modélisés pour 2019. Les flèches représentent les courants et le fond coloré la température en degrés Celsius.

La cartographie de la vitesse maximale des courants sur 2019 (Figure 22) montre qu'ils sont compris entre 0,1 m/s et 1,5 m/s et que les courants les plus forts se retrouvent au niveau de la partie sud du détroit, à l'est du pont. Les habitats concernés par ces courants plus intenses sont ceux du plateau et du bassin Est. Les habitats situés au nord de la partie Est du pont, comme au niveau du chenal Est et dans la partie Ouest du pont sont en moyenne moins impactés par des courants extrêmes. La répartition des vitesses est similaire à celle des vitesses moyennes, excepté au niveau du bassin Ouest où il y a ponctuellement de forts courants avec d'important changements de direction par rapport au courant moyen, ce qui peut générer de fortes turbulences et mouvements verticaux. Les températures maximales au fond se situent entre 14 °C et 20 °C là où la couche de fond du modèle est proche de la surface.

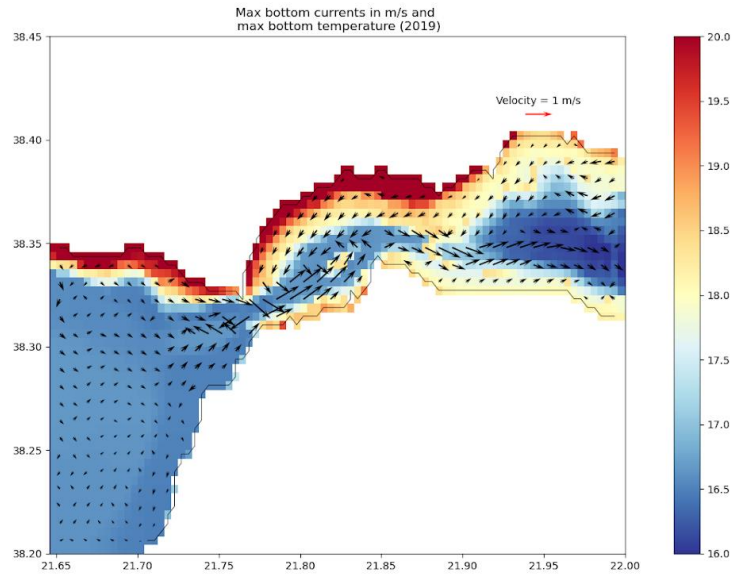


Figure 22 : Cartographie des vitesses et températures maximales modélisées au fond en 2019.

5.3 Synthèse bibliographique

5.3.1 Provinces de CWC

La synthèse bibliographique effectuée est explicitée sous forme d'un tableau récapitulatif en Annexe 2 détaillant des espèces de coraux présentes dans les provinces de CWC en Méditerranée. Ce travail permet de compléter la carte des provinces de CWC existant de Taviani et al. (2017) (Fig. 3) et de replacer le site d'étude dans le contexte plus général des CWC méditerranéens avec l'état des connaissances actuelles.

Les provinces de CWC sont des zones assez diversifiées et présentent des similitudes. La majorité des CWC de Méditerranée se développent sur un substrat dur et dans des zones de fort hydrodynamisme. Au total 74 espèces de CWC se retrouvent réparties dans les différentes provinces (Annexe 2). Les espèces les plus courantes sont les espèces de la famille des Caryophyllidae. Chaque province comprend entre 4 et 33 espèces, la province (3) "Malte Sud" (Mer Ionienne au niveau du détroit de Sicile) étant la plus diversifiée et la (4) "Melilla" (Mer d'Alboran) sans tenir compte de la zone du détroit de Gibraltar, la moins diversifiée.

En plus, des provinces déjà définies par Taviani *et al.* (2017), cette synthèse (Annexe 2) a mis en évidence la nécessité de séparer la zone "Détroit de Gibraltar" de la province "mer d'Alboran". De plus, elle établit une nouvelle province en "Mer Égée", délimitée par la Grèce continentale au nord et par la Crête incluse, au sud (Álvarez-Pérez *et al.*, 2005 ; Taviani *et al.*, 2017 ; Rueda *et al.*, 2019 ; Otero *et al.*, 2022). La synthèse permet également d'ajouter la zone

“Kefalonia” à la province (2) “Mer ionienne” de Taviani *et al.*, (2017). Cette zone est importante puisque la colonisation en CWC du détroit de Rion-Antirion lors de la remontée du niveau des mers devait principalement venir de cette source.

5.3.2 Comparaison de la diversité de CWC en Méditerranée autour de la zone d’étude et au niveau du détroit

Le tableau de synthèse de l’Annexe 2 permet de comparer la diversité de CWC dans la zone d’étude par rapport à la diversité de CWC en Méditerranée totale (hors détroit de Gibraltar). Les Tableaux 5 et 6 comparent la diversité dans la zone d’étude, d’abord par rapport à la Méditerranée, puis par rapport aux zones proches du détroit (provinces en Mer Adriatique et en Mer Ionienne ; Annexe 2).

Tableau 5 : Synthèse de l'estimation de la diversité dans la zone d’étude et aux dans les zones autour du détroit par rapport à la Méditerranée totale (hors détroit de Gibraltar).

Zone d'intérêt	Nombre d'espèces	Pourcentages d'espèces	Indice - Estimation relative de la diversité
Nombre total d'espèces de CWC (hors détroit de Gibraltar)	50	100 %	Référence
Détroit de Gibraltar	26	52 %	Moyenne
À l'Ouest de la zone d'étude : province en Mer Ionienne	25	50 %	Moyenne
Zone d'étude : détroit de Rion-Antirion (tous types d'habitat confondus) et Golfe de Patras entre parenthèse	8 (11)	16 % (22 %)	Peu diversifié

Tableau 6 : Synthèse de l'estimation de la diversité dans la zone d’étude par rapport aux provinces autour des mers Adriatique et Ionienne).

Zone d'intérêt	Nombre d'espèces	Pourcentages d'espèces	Indice - Estimation relative de la diversité
Mer Adriatique et Mer Ionienne	37	100 %	Référence
À l'Ouest de la zone d'étude : province en Mer Adriatique	7	19 %	Assez diversifié
À l'Ouest de la zone d'étude : province en Mer Ionienne	30	81 %	Forte diversité
Zone d'étude : détroit de Rion-Antirion (tous types d'habitat confondus) et Golfe de Patras entre parenthèse	8 (11)	22% (30 %)	Peu diversifié

Dans la zone d'étude, 7 familles sur 8 sont communes avec les provinces des mers Ionienne et Adriatique (soit 87%) : *C. Rubrum* (pour les provinces adriatiques et ionienne et pour la zone d'étude), les espèces de la famille des Primnoidae, les espèces de la famille des Caryophyllidae spp. (*Caryophyllia calveri*, *Desmophyllum dianthus*, *Desmophyllum pertusum* pour les provinces adriatiques et ioniennes, et *Cavernularia pusilla* pour la zone d'étude), les espèces de la super-famille des Pennatuloidea (*Pennatula phosphorea* pour les provinces adriatiques et ionienne, et notamment *Pennatula aculeata*, *Pteroides griseum* et la famille des Veretillidae spp. pour la zone d'étude), les espèces du genre Dendrophyllia spp. (*Dendrophyllia cornigera* pour les provinces adriatiques et ionienne, et *Dendrophyllia ramea* pour la zone d'étude), les espèces du sous-ordre des Macrocnemina (*Parazoanthus anguicomus* et la famille des Epizoanthus spp. pour les provinces adriatiques et ionienne et *Parazoanthus axinellae* pour la zone d'étude). Par rapport à la zone d'étude, la zone "Kefalonia", qui est la zone la plus proximale avec des CWC, comprend 2 espèces ou familles communes sur 8 (soit 25 %).

6 Discussion

6.1 Lien entre la présence de CWC et les courants dans la zone du détroit

Une variation très rapide des biotopes indépendamment des méga-habitats définis est observée. Elle est marquée par le maximum de constriction au niveau du pont (Fig. 18). Ainsi les champs d'*Alcyonium palmatum* se retrouvent uniquement à l'ouest du pont et non à l'est où les courants sont généralement plus forts. De même, l'occurrence de *C. Rubrum* est plus importante à l'ouest qu'à l'est du pont. À l'est, ce corail est retrouvé uniquement au niveau des parois du chenal Est. La distribution des Caryophyllidae spp. est aussi peu dépendante de l'habitat. Dans le Bassin Ouest, ils sont retrouvés sur certaines parties des transects mais pas dans d'autres. Finalement, les plongeurs employés lors de la construction du pont n'ont observé aucun biotope coralien à proximité des pilastres (Communication personnelle, mai 2023).

Ensuite, sur les zones topographiquement planes comme dans la zone à l'ouest du pont dans le méga-habitat plateau (transects 2019-05-20_13.56 et 2019-05-20_14.18), ainsi que dans des zones de pente, où les courants peuvent être localement accélérés (transects 2019-05-20_14.42, 2023-05-24_11.25_12.15, 2023-05-24_13.41 et 2023-05-24_14.13), tous les individus observés dans ces zones ont une taille inférieure à 10 cm. C'est particulièrement le cas pour *C. Rubrum* qui, dans les zones de champs d'*Alcyonium palmatum*, a quasiment la même taille que les individus du champ (< 10 cm) alors que dans les autres zones, les individus

de *C. Rubrum* sont systématiquement plus grands. Les individus de *C. Rubrum* qui ont une taille supérieure à 10 cm sont tous fortement inclinés. Les CWC de plus grande taille sont systématiquement localisés au niveau des mésos- ou micros- habitats (monticules de débris coralliens, le plus souvent), pouvant protéger les coraux des courants extrêmes existants et faciliter leur ancrage, ou au niveau du méga-habitat, chenal est.

Notre interprétation est que la variable explicative la plus importante concernant la densité corallienne et la distribution des espèces est les courants de fond qui montrent une forte variabilité, en intensité et direction, de part et d'autre du pont (Fig. 21 et 22) indépendamment des méga-habitats (Fig. 18).

A l'est du pont, dans la partie sud du détroit, des vitesses de courants élevées sont observées. Les vitesses maximales (1,5 m/s) peuvent empêcher le développement, le maintien et la croissance des colonies comme noté par Rossi *et al.* (2008). En effet, un très fort hydrodynamisme peut s'avérer être un facteur limitant pour la survie des CWC. Dans le détroit, il n'y a pas de dépôt sédimentaire terrigène dans sa zone centrale (plateau, chenaux et bassins) ; il y a plutôt des formes d'érosion liées aux courants de fond comme le chenal Ouest (Rubi *et al.*, 2022). Il est donc difficile pour les polypes de s'attacher au substrat en dehors des mésos- et micros-habitats formés par de petites accumulations de débris coralliens. La zone où la densité de *C. Rubrum* est la plus importante et où le biotope est le plus diversifié est localisé au niveau du chenal est.

A l'ouest du pont, les vitesses plus faibles (< 1 m/s) et les courants bidirectionnels (Rubi *et al.*, 2022) assurent un apport continu en nutriments. C'est dans cette zone que la plus grande densité corallienne est observée (champs d'*Alcyonium palmatum*). Leur hauteur plutôt réduite, avec des espèces observées inférieures à 10 cm, est aussi une adaptation à ces zones de courants forts (Taviani *et al.*, 2005) ; Gori *et al.* 2013 ; Rebesco et Taviani, 2019). Pour les espèces plus grandes (> 10 cm), cas de *C. Rubrum*, des orientations, parfois à plus de 90° sont observées (Fig. 19). Cela indique que les coraux sont ancrés de manière à optimiser la capture de nutriments. Il a aussi été observé dans le bassin Ouest, une accumulation importante de débris coralliens suggérant que la fragmentation des coraux par les courants extrêmes est un processus important au niveau du détroit. La morphologie observée des *C. Rubrum* cohérente avec une fragmentation relativement fréquente ainsi que les regroupements *C. Rubrum* suggèrent qu'une reproduction par fragmentation est dominante.

Il faut tenir compte du fait que les maximums de vitesses de courant modélisés ne reflètent que l'année 2019 et aussi pas les maxima réels de cette année, car la modélisation actuelle se base sur des forçages à faible résolution, notamment pour la bathymétrie (450 m de résolution). Dans la zone du détroit, il y a une accélération systématique des courants liés aux vents et à la constriction topographique (Koletsis *et al.*, 2014), qui influence l'hydrodynamisme (Fourniotis, 2018). Aussi, il est possible que les événements ponctuels (tempêtes) ne soient pas efficacement représentés avec la modélisation, diminuant ainsi leur impact sur la vitesse des courants de fond.

Nous concluons aussi qu'une perspective intéressante serait d'investiguer la zone à l'est du détroit de Rion-Antirion, à l'entrée du Golfe de Corinthe. Cette zone correspond en partie à une zone de sédiments meubles et montre des courants plus forts (~ 30 cm/s en moyenne sur 2019). Aucun transect n'a été réalisé dans cette zone (trop éloigné de la zone d'étude) mais il ne serait pas surprenant de ne pas trouver de CWC, ceux-ci étant peu adaptés à un substrat meuble avec un courant fort (Freiwald *et al.*, 2004 ; Roberts *et al.*, 2006 ; Dounas *et al.*, 2010 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022).

6.2 Lien entre la présence de CWC et la géomorphologie dans la zone du détroit

Les zones de plus fortes densités de CWC et de *C. Rubrum* sont observées dans les habitats du bassin profond Ouest (transect 2019-05-20_14.42 comprenant les "deep pools") et du chenal est (transect 2019-05-20_9.21). C'est uniquement au niveau de ce dernier méga-habitat que *C. Rubrum* est retrouvé à l'est du pont, au niveau du mont (transect 2023-05-24_15.09). Aussi, la présence unique de Caryophyllidae spp. et de Primnoidae spp. est notée, mettant en évidence le rôle de ce méga-habitat dans la spéciation.

Les espèces semblent donc montrer une certaine spéciation à l'échelle des méga-habitats (mont, chenal). Dans la littérature sur les CWC, la spéciation à cette échelle est généralement interprétée comme induite par les spécificités morphologiques des méga-habitats empêchant la dispersion larvaire des CWC (effet barrière ; Roberts *et al.*, 2006). Dans la zone d'étude, cette spéciation géomorphologique serait plutôt liée aux rôles protecteurs de ces méga-habitats vis-à-vis du fort hydrodynamisme, facilitant un ancrage et limitant la fragmentation mécanique.

À petite échelle, sur les macros- et micros- habitats formés par les monticules de débris coralliens, une association de nombreuses espèces est retrouvée dans le détroit, expliquant ainsi la densité et la diversité corallienne du biotope associé. Les monticules ont trois principales

fonctions : (1) protéger les coraux d'un hydrodynamisme trop important et favoriser l'ancrage, (2) permettre l'apport de nutriments, et (3) favoriser l'hétérogénéité du milieu (Fig.10 ; Rebesco et Taviani, 2019 ; Davies *et al.*, 2009 ; Chimienti *et al.*, 2019). Ces habitats de petite échelle sont, systématiquement en Méditerranée, associées à une forte biodiversité de CWC ou d'autres organismes marins (Freiwald *et al.*, 2004 ; Taviani *et al.*, 2005 ; Taviani *et al.*, 2017 ; Lo Iacono *et al.*, 2019). Dans le détroit, de manière systématique sur tous les transects, la densité corallienne est plus forte en dehors des zones de champ, là où la biodiversité est plus forte. Sur certains transects, au moins trois espèces distinctes d'étoiles de mer, plusieurs espèces d'éponges (Porifera spp.), de tunicier (Tunicata spp.) et des bryozoaires (Bryozoa spp.) sont visibles. En Mer Ionienne Est, ces espèces sont largement retrouvées dans les zones de forts courants et sur des topographies complexes (Otero *et al.*, 2022). L'autre macro-habitat observé dans le détroit et propice à la diversité du biotope est les parois rocheuses des chenaux et escarpements. Ce type d'habitat joue un rôle de protection contre les courants forts pouvant agir dans la zone d'étude. Plus les habitats sont diversifiés et complexes, plus les CWC et le biotope associé peuvent s'y développer.

6.3 Comparaison avec les autres provinces de CWC en Méditerranée

Au niveau du détroit, 7 familles de CWC sur 8 observées correspondent à celles retrouvées en Mer ionienne et en mer Adriatique. Par contre le recouvrement entre les familles de CWC de la zone proximale de Kefalonia est beaucoup plus faible. Les CWC introduits dans le détroit lors de la remontée des eaux à l'Holocène, ne proviennent donc pas de cette unique zone proximale, mais de l'ensemble des provinces adjacentes.

Comme ailleurs en Méditerranée, il y a au niveau du détroit une corrélation entre la présence des CWC, les zones de courants et les types d'habitats (Freiwald *et al.*, 2004 ; White *et al.*, 2005 ; Roberts *et al.*, 2006 ; Davies *et al.*, 2009 ; Rebesco and Taviani, 2019 ; Corbera *et al.*, 2019), mais c'est ici valable surtout à petite échelle. D'une manière générale, les différences entre les provinces s'expliquent par l'interaction entre la géomorphologie et les processus physiques qui s'appliquent au récif. La principale différence entre toutes les provinces de CWC est la biodiversité qui varie selon les processus physiques qui s'exercent sur le récif et selon l'écophysiologie propre à chaque espèce. Par exemple, les Caryophyllidae spp. sont retrouvées en grand nombre dans le détroit de Gibraltar, où la circulation est bidirectionnelle et les courants sont forts (~1 à 2 m/s ; Álvarez-Pérez *et al.*, 2005). Au niveau du détroit de Rion-Antirion, ces

Caryophyllidae sont retrouvés associés avec les courants bidirectionnels locaux et avec une grande variabilité de mésos- micros- habitats. Les changements brusques (sur quelques centaines de mètres) des biotopes du détroit de Rion-Antirion, sont donc le résultat de l'interaction entre les courants de fond bidirectionnels et rapides avec les divers types d'habitats.

6.4 Impacts du changement climatique actuel et des activités anthropiques sur les communautés de CWC dans la zone d'étude

Les CWC du détroit de Rion-Antirion sont exposés à deux problèmes principaux : l'augmentation de la température moyenne de l'eau et la pollution marine. Au niveau du détroit, les températures moyennes obtenues avec la modélisation sont d'environ 15°C alors que celles mesurées il y a 27 ans étaient autour de 13°C (Poulos *et al.*, 1996). L'augmentation de température de l'eau peut être liée au changement climatique actuel. D'autre part, bien que la pêche soit interdite au niveau du détroit de Rion-Antirion (zone surveillée en permanence), le passage de nombreux bateaux peut impacter l'ensemble des communautés (Rossi *et al.*, 2008 ; Salomidi *et al.*, 2009b ; Lastras *et al.*, 2016 ; Cau *et al.*, 2016 ; Lauria *et al.*, 2017 ; Simboura *et al.*, 2019 ; Corbera *et al.*, 2019 ; Lo Iacono *et al.*, 2019 ; Portilho-Ramos *et al.*, 2022 ; Fournier, 2023). Au niveau du détroit, la colonisation d'un câble sous-marin par *Alcyonium palmatum* (Fig. 17) peut être expliquée par la facilité d'ancrage sur le câble (substrat dur). La présence de ce câble permet peut-être aussi de protéger certains CWC contre les courants forts observés. De plus, la présence de ce câble peut fournir une augmentation locale de la température, favorisant sa colonisation. La mise en place de structures en mer (comme le pont de Rion-Antirion ou le placement des câbles) engendrent toutefois un impact direct, positif ou négatif, sur les communautés d'eaux profondes. À long terme, l'augmentation de température et la pollution marine pourraient impacter les communautés de CWC du détroit de Rion-Antirion. *C. Rubrum*, de par son lent taux de croissance est donc plus fortement impacté par ce type de stress puisqu'un individu stressé ou abîmé prendra plus de temps pour se rétablir optimalement (Garrahou et Harmelin, 2002 ; Santangelo *et al.*, 2004 ; Tsounis *et al.*, 2010).

7 Conclusions et perspectives

Les objectifs de ce mémoire étaient d'identifier les habitats et de comprendre les processus océanographiques qui contrôlent la distribution des CWC, notamment *C. Rubrum*, dans la zone du détroit de Rion-Antirion et de les comparer avec ceux de la Méditerranée. En Méditerranée, les CWC sont toujours associés à des zones de fort hydrodynamisme et une topographie particulière. L'habitat résulte de l'interaction entre les processus physiques et géomorphologiques. Il constitue un facteur déterminant dans la mise en place et la survie des CWC qui sont principalement contrôlées par l'apport nutritif ou la dispersion larvaire. Dans le détroit de Rion-Antirion, les CWC montrent les mêmes spécificités que dans les autres provinces Méditerranéenne. Il existe bien une spéciation selon le type d'habitat, mais le facteur dominant expliquant la distribution des CWC dans le détroit est l'hydrodynamisme. Contrairement à la plupart des larges provinces CWC en Méditerranée, le détroit de Rion-Antirion a un hydrodynamisme très complexe avec une forte variabilité bidirectionnelle des courants de fond et avec des vitesses maximales au fond importantes (1 m/s à 3 m/s). L'importance de l'interaction entre les processus hydrodynamiques et des habitats à différentes échelles a donc pu être mise en évidence avec des variations sur quelques centaines de mètres. De ce fait, l'effet négatif d'un trop fort hydrodynamisme sur les communautés de CWC en Méditerranée et leur biodiversité est mis en évidence clairement pour la première fois. En effet, le détroit présente des zones désertes de CWC là où les habitats ne protègent pas les potentiels individus coralliens de l'hydrodynamisme important du détroit de Rion-Antirion.

En termes de perspectives, il serait intéressant d'exploiter le fait que le détroit est une zone traversée par plus d'une dizaine de câbles sous-marins recoupant les différents méga-habitats identifiés. Cela en fait donc une zone d'étude idéale pour quantifier plus précisément ce type impact anthropique sur les CWC et leur résilience. Dans le contexte du changement climatique actuel et des activités anthropiques croissantes, ce type d'étude compléterait la compréhension des effets combinés de ces stress environnementaux sur le métabolisme des CWC.

Bibliographie

- Altuna, A., & Poliseno, A. (2019). 14 Taxonomy, Genetics and Biodiversity of Mediterranean Deep-Sea Corals and Cold-Water Corals. In C. Orejas & C. Jiménez (Éds.), *Mediterranean Cold-Water Corals : Past, Present and Future : Understanding the Deep-Sea Realms of Coral* (p. 121-156). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_14
- Álvarez-Pérez, G., Busquets, P., De Mol, B., Sandoval, N. G., Canals, M., & Casamor, J. L. (2005). Deep-water coral occurrences in the Strait of Gibraltar. In A. Freiwald & J. M. Roberts (Éds.), *Cold-Water Corals and Ecosystems* (p. 207221). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-27673-4_10
- Barth, A. (s. d.). Tutorial ROMS.jl. alexander-barth.github. Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://alexander-barth.github.io/ROMS.jl/dev>
- Bavestrello, G., Betti, F., Canessa, M., & Bo, M. (2023). The Red Coral Community in the Messina Strait : New Findings from the 1700s Lazzaro Spallanzani Collection. *Diversity*, 15(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/d15020177>
- Bongiorni, L., Mea, M., Gambi, C., Pusceddu, A., Taviani, M., & Danovaro, R. (2010). Deep-water scleractinian corals promote higher biodiversity in deep-sea meiofaunal assemblages along continental margins. *Biological Conservation*, 143(7), 1687-1700. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.04.009>
- Bramanti, L., Santangelo, G., Benedetti, M. C., Iannelli, M., & Guizien, K. (2019). 37 Demography and Conservation of Deep Corals : The Study of Population Structure and Dynamics. In C. Orejas & C. Jiménez (Éds.), *Mediterranean Cold-Water Corals : Past, Present and Future : Understanding the Deep-Sea Realms of Coral* (p. 423-434). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_37
- Bruckner, A. W. (2016). Advances in Management of Precious Corals to Address Unsustainable and Destructive Harvest Techniques. In S. Goffredo & Z. Dubinsky (Éds.), *The Cnidaria, Past, Present and Future : The world of Medusa and her sisters* (p. 747-786). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31305-4_46
- Cau, A., Bramanti, L., Cannas, R., Follesa, M. C., Angiolillo, M., Canese, S., Bo, M., Cuccu, D., & Guizien, K. (2016). Habitat constraints and self-thinning shape Mediterranean red coral deep population structure : Implications for conservation practice. *Scientific Reports*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/srep23322>
- Cau, A., Paliaga, E. M., Cannas, R., Deiana, G., Follesa, M. C., Sacco, F., Todde, S., & Orrù, P. E. (2015). Preliminary data on habitat characterization relevance for red coral conservation and management. *Italian Journal of Geosciences*, 134(1), 60-68. <https://doi.org/10.3301/IJG.2014.40>
- Chimienti, G., Bo, M., Taviani, M., & Mastrototaro, F. (2019). 19 Occurrence and Biogeography of Mediterranean Cold-Water Corals. In C. Orejas & C. Jiménez (Éds.), *Mediterranean Cold-Water Corals : Past, Present and Future : Understanding the Deep-Sea Realms of Coral* (p. 213-243). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_19
- Collier, R. E. L., Leeder, M. R., Rowe, P. J., & Atkinson, T. C. (1992). Rates of tectonic uplift in the Corinth and Megara Basins, central Greece. *Tectonics*, 11, 1159-1167. <https://doi.org/10.1029/92TC01565>

- Corbera, G., Lo Iacono, C., Gràcia, E., Grinyó, J., Pierdomenico, M., Huvenne, V. A. I., Aguilar, R., & Gili, J. M. (2019). Ecological characterisation of a Mediterranean cold-water coral reef : Cabliers Coral Mound Province (Alboran Sea, western Mediterranean). *Progress in Oceanography*, 175, 245-262. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.04.010>
- Costantini, F., & Abbiati, M. (2016). Into the depth of population genetics : Pattern of structuring in mesophotic red coral populations. *Coral Reefs*, 35(1), 39-52. <https://doi.org/10.1007/s00338-015-1344-5>
- Costantini, F., Taviani, M., Remia, A., Pintus, E., Schembri, P. J., & Abbiati, M. (2010). Deep-water *Corallium Rubrum* (L., 1758) from the Mediterranean Sea : Preliminary genetic characterisation. *Marine Ecology*, 31(2), 261-269. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2009.00333.x>
- Danovaro, R., Company, J. B., Corinaldesi, C., D'Onghia, G., Galil, B., Gambi, C., Gooday, A. J., Lampadariou, N., Luna, G. M., Morigi, C., Olu, K., Polymenakou, P., Ramirez-Llodra, E., Sabbatini, A., Sardà, F., Sibuet, M., & Tselepidis, A. (2010). Deep-Sea Biodiversity in the Mediterranean Sea : The Known, the Unknown, and the Unknowable. *PLOS ONE*, 5(8), e11832. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011832>
- Dodds, L. A., Roberts, J. M., Taylor, A. C., & Marubini, F. (2007). Metabolic tolerance of the cold-water coral *Lophelia pertusa* (Scleractinia) to temperature and dissolved oxygen change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 349(2), 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.05.013>
- D'Onghia, G. (2019). 30 Cold-Water Corals as Shelter, Feeding and Life-History Critical Habitats for Fish Species : Ecological Interactions and Fishing Impact. In C. Orejas & C. Jiménez (Éds.), *Mediterranean Cold-Water Corals : Past, Present and Future : Understanding the Deep-Sea Realms of Coral* (p. 335-356). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_30
- D'Onghia, G., Calculli, C., Capezzuto, F., Carlucci, R., Carluccio, A., Grehan, A., Indennitate, A., Maiorano, P., Mastrototaro, F., Pollice, A., Russo, T., Savini, A., Sion, L., & Tursi, A. (2017). Anthropogenic impact in the Santa Maria di Leuca cold-water coral province (Mediterranean Sea) : Observations and conservation straits. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 145, 87-101. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.02.012>
- Dounas, C., Koutsoubas, D., Salomidi, M., Koulouri, P., Gerovasileiou, V., & M, S. (2010). Distribution and Fisheries of the red coral *Corallium Rubrum* (Linnaeus, 1758) in the Greek Seas : An overview. *NOAA Technical Memorandum CRCP-13*, Silver Spring, MD 233 pp.
- Egbert et Erofeeva, (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic technology*, 19(2), 183-204. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019%3C0183:EIMOBO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019%3C0183:EIMOBO%3E2.0.CO;2)
- Ferentinos, G., M. Brooks, & Th Doutsos. (1985) Quaternary tectonics in the Gulf of Patras, western Greece. *Journal of Structural Geology* 7.6 : 713-717.
- Ferentinos, G., Brooks, M., & Doutsos, T. (1985). Quaternary tectonics in the Gulf of Patras, western Greece. *Journal of Structural Geology*, 7(6), 713-717. Fink, H. G., Wienberg, C., Hebbeln, D., McGregor, H. V., Schmiedl, G., Taviani, M., & Freiwald, A. (2012). Oxygen control on Holocene cold-water coral development in the eastern Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 62, 8996. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2011.12.013>

- Fournier Simon (2023). Guide d'identification des taxons indicateurs d'écosystèmes marins vulnérables - EMV. Atlantique et Méditerranée. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00834/94627/>
- Fourniotis, N. T. (2018). Erosion of the Thermocline in the Gulf of Patras, due to a Severe Wind event. *Global NEST*, 20, 11
- Freiwald, A., Fosså, J., Grehan, A., Koslow, T., & Roberts, J. (2004). *Cold-water Coral Reefs : Out of Sight – No Longer out of Mind*.
- Freiwald, A., & Roberts, J. M. (Éds.). (2005). *Cold-Water Corals and Ecosystems*. Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-27673-4>
- Galli, G., Bramanti, L., Priori, C., Rossi, S., Santangelo, G., Tsounis, G., & Solidoro, C. (2016). Modelling red coral (*Corallium Rubrum*) growth in response to temperature and nutrition. *Ecological Modelling*, 337, 137148. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.06.010>
- Garrabou, J. (1999). Life-history traits of *Alcyonium acaule* and *Parazoanthus axinellae* (Cnidaria, Anthozoa), with emphasis on growth. *Marine Ecology Progress Series*, 178, 193-204. <https://doi.org/10.3354/meps178193>
- Garrabou, J., & Harmelin, J. G. (2002). A 20-year study on life-history traits of a harvested long-lived temperate coral in the NW Mediterranean : Insights into conservation and management needs. *Journal of Animal Ecology*, 71(6), 966-978. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2002.00661.x>
- Gori, A., Ferrier-Pagès, C., Hennige, S. J., Murray, F., Rottier, C., Wicks, L. C., & Roberts, J. M. (2016). Physiological response of the cold-water coral *Desmophyllum dianthus* to thermal stress and ocean acidification. *PeerJ*, 4, e1606. <https://doi.org/10.7717/peerj.1606>
- Gori, A., Orejas, C., Madurell, T., Bramanti, L., Martins, M., Quintanilla, E., Marti-Puig, P., Lo Iacono, C., Puig, P., Requena, S., Greenacre, M., & Gili, J. M. (2013). Bathymetrical distribution and size structure of cold-water coral populations in the Cap de Creus and Lacaze-Duthiers canyons (northwestern Mediterranean). *Biogeosciences*, 10(3), 2049-2060. <https://doi.org/10.5194/bg-10-2049-2013>
- Hayes, D. R., Schroeder, K., Poulain, P.-M., Testor, P., Mortier, L., Bosse, A., & du Madron, X. (2019). 18 Review of the Circulation and Characteristics of Intermediate Water Masses of the Mediterranean : Implications for Cold-Water Coral Habitats. In C. Orejas & C. Jiménez (Éds.), *Mediterranean Cold-Water Corals : Past, Present and Future : Understanding the Deep-Sea Realms of Coral* (p. 195-211). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_18
- Issaris, Y., Katsanevakis, S., Pantazi, M., Vassilopoulou, V., Panayotidis, P., Kavadas, S., Kokkali, A., Salomidi, M., Frantzis, A., Panou, A., Damalas, D., Klaoudatos, D. S., Sakellariou, D., Drakopoulou, P., Kyriakidou, C., Maina, I., Fric, J., Smith, C., Giakoumi, S., & Karris, G. (2012). Ecological mapping and data quality assessment for the needs of ecosystem-based marine spatial management : Case study Greek Ionian Sea and the adjacent gulfs. *Mediterranean Marine Science*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.12681/mms.312>
- Koletsis, I., Kotroni, V., & Lagouvardos, K. (2014). A model-based study of the wind regime over the Corinthian Gulf. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(2), 459-472. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-459-2014>

- Koletsis, I., Lagouvardos, K., Kotroni, V., & Bartzokas, A. (2009). The interaction of northern wind flow with the complex topography of Crete Island – Part 1 : Observational study. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(6), 1845-1855. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1845-2009>
- Lartaud, F., Mouchi, V., Chapron, L., Meistertzheim, A.-L., & Le Bris, N. (2019). 36 Growth Patterns of Mediterranean Calcifying Cold-Water Corals. In C. Orejas & C. Jiménez (Éds.), *Mediterranean Cold-Water Corals : Past, Present and Future : Understanding the Deep-Sea Realms of Coral* (p. 405422). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_36
- Lascaratos, A., Salusti, E., & Papageorgaki, G. (1989). Wind-induced upwellings and currents in the gulfs of patras, nafpaktos and korinthos, western greece. *Oceanologica Acta*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Wind-induced-upwellings-and-currents-in-the-gulfs-Lascaratos-Salusti/eb0702729ace5ce014cd065c62d5d8f4066b3da8>
- Lastras, G., Canals, M., Ballesteros, E., Gili, J.-M., & Sanchez-Vidal, A. (2016). Cold-Water Corals and Anthropogenic Impacts in La Fonera Submarine Canyon Head, Northwestern Mediterranean Sea. *PLOS ONE*, 11, e0155729. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155729>
- Lauria, V., Garofalo, G., Fiorentino, F., Massi, D., Milisenda, G., Piraino, S., Russo, T., & Gristina, M. (2017). Species distribution models of two critically endangered deep-sea octocorals reveal fishing impacts on vulnerable marine ecosystems in central Mediterranean Sea. *Scientific Reports*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08386-z>
- Lo Iacono, C., Savini, A., Huvenne, V. A. I., & Gràcia, E. (2019). 15 Habitat Mapping of Cold-Water Corals in the Mediterranean Sea. In C. Orejas & C. Jiménez (Éds.), *Mediterranean Cold-Water Corals : Past, Present and Future : Understanding the Deep-Sea Realms of Coral* (p. 157-171). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_15
- Mačić, V., Trainito, E., & Petović, S. (2021). First record of the endemic anthozoan *Spinimuricea klavereni* (Carpine & Grasshoff 1975) (Cnidaria, Anthozoa, Plexauridae) in the Adriatic Sea. *Acta Adriatica*, 62(1), 7582. <https://doi.org/10.32582/aa.62.1.5>
- Mediterranean Sea Physics Reanalysis. E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1 (Consulté le 19 juillet 2023)
- Mienis, F., de Stigter, H. C., White, M., Duineveld, G., de Haas, H., & van Weering, T. C. E. (2007). Hydrodynamic controls on cold-water coral growth and carbonate-mound development at the SW and SE Rockall Trough Margin, NE Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 54(9), 16551674. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2007.05.013>
- Modèle atmosphérique MARS. (s. d.). ECMWF. Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://confluence.ecmwf.int/display/UDOC/MARS+content#MARScontent-Atmosphericmodels>
- Mytilineou, Ch., Smith, C. J., Anastasopoulou, A., Papadopoulou, K. N., Christidis, G., Bekas, P., Kavadas, S., & Dokos, J. (2014). New cold-water coral occurrences in the Eastern Ionian Sea : Results from experimental

- long line fishing. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 99, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.07.007>
- Orejas, C., Gori, A., Lo Iacono, C., Puig, P., Gili, J.-M., & Dale, M. (2009). Cold-water corals in the Cap de Creus canyon, northwestern Mediterranean : Spatial distribution, density and anthropogenic impact. *Marine Ecology Progress Series*, 397, 37-51. <https://doi.org/10.3354/meps08314>
- Orejas, C., & Jiménez, C. (Éds.). (2019). *Mediterranean Cold-Water Corals : Past, Present and Future: Understanding the Deep-Sea Realms of Coral* (Vol. 9). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8>
- Otero, M., Mytilineou, C. (Ed.). Deep-sea Atlas of the Eastern Mediterranean Sea. IUCN-HCMR DeepEastMed Project. Publisher, IUCN Gland, Malaga. (VII+371pp.).
- Portilho-Ramos, R. da C., Titschack, J., Wienberg, C., Rojas, M. G. S., Yokoyama, Y., & Hebbeln, D. (2022). Major environmental drivers determining life and death of cold-water corals through time. *PLOS Biology*, 20(5), e3001628. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001628>
- Poulos, S. E., Collins, M. B., Pattiaratchi, C., Cramp, A., Gull, W., Tsimplis, M., & Papatheodorou, G. (1996). Oceanography and sedimentation in the semi-enclosed, deep-water Gulf of Corinth (Greece). *Marine Geology*, 134(3-4), 213-235. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(96\)00028-X](https://doi.org/10.1016/0025-3227(96)00028-X)
- Rebesco, M., & Taviani, M. (2019). 4 A Turbulent Story : Mediterranean Contourites and Cold-Water Corals. In C. Orejas & C. Jiménez (Éds.), *Mediterranean Cold-Water Corals : Past, Present and Future: Understanding the Deep-Sea Realms of Coral* (p. 35-46). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_4
- Roberts, G. P., Houghton, S. L., Underwood, C., Papanikolaou, I., Cowie, P. A., van Calsteren, P., Wigley, T., Cooper, F. J., & McArthur, J. M. (2009). Localization of Quaternary slip rates in an active rift in 105 years : An example from central Greece constrained by 234U-230Th coral dates from uplifted paleoshorelines. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B10). <https://doi.org/10.1029/2008JB005818>
- Roberts, J. M., Wheeler, A. J., & Freiwald, A. (2006). Reefs of the Deep : The Biology and Geology of Cold-Water Coral Ecosystems. *Science*, 312(5773), 543-547. <https://doi.org/10.1126/science.1119861>
- Rossi, S., Tsounis, G., Orejas, C., Padrón, T., Gili, J.-M., Bramanti, L., Teixidó, N., & Gutt, J. (2008). Survey of deep-dwelling red coral (*Corallium Rubrum*) populations at Cap de Creus (NW Mediterranean). *Marine Biology*, 154(3), 533-545. <https://doi.org/10.1007/s00227-008-0947-6>
- Rubi, R., Hubert-Ferrari, A., Fakiris, E., Christodoulou, D., Dimas, X., Geraga, M., Papatheodorou, G., & Caterina, B. (2022). Hydrodynamics and sedimentary processes in the modern Rion strait (Greece) : Interplay between tidal currents and internal tides. *Marine Geology*, 446, 106771. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2022.106771>
- Rueda, J. L., Urra, J., Aguilar, R., Angeletti, L., Bo, M., García-Ruiz, C., González-Duarte, M. M., López, E., Madurell, T., Maldonado, M., Mateo-Ramírez, Á., Megina, C., Moreira, J., Moya, F., Ramalho, L. V., Rosso, A., Sitjà, C., & Taviani, M. (2019). 29 Cold-Water Coral Associated Fauna in the Mediterranean Sea and Adjacent Areas. In C. Orejas & C. Jiménez (Éds.), *Mediterranean Cold-Water Corals : Past, Present and Future : Understanding the Deep-Sea Realms of Coral* (p. 295-333). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_29

- Salomidi, M., Smith, C., Katsanevakis, S., Panayotidis, P., & Papathanasiou, V. (2009b). Some observations on the structure and distribution of gorgonian assemblages in the eastern Mediterranean Sea. *Actes du 1er Symposium sur la Conservation du Coralligene et autres bio-concretions de Mediterranee*, 242-245.
- Salomidi, M., Zibrowius, H., Issaris, Y., & Milionis, K. (2009a). Dendrophyllia in Greek waters, Mediterranean Sea, with the first record of *D. ramea* (Cnidaria, Scleractinia) from the area. *Mediterranean Marine Science*, 11, 189-194. <https://doi.org/10.12681/mms.102>
- Sammarco, P. (1982). Polyp Bail-Out: An Escape Response to Environmental Stress and a New Means of Reproduction in Corals. *Marine Ecology Progress Series*, 10, 57-65. <https://doi.org/10.3354/meps010057>
- Santangelo, G., Maggi, E., Bramanti, L., & Bongiorno, L. (2004). Demography of the overexploited Mediterranean red coral (*Corallium Rubrum* L. 1758). *Scientia Marina*, 68, 199-204.
- Schweinsberg, M., Gösler, F., & Tollrian, R. (2021). The history, biological relevance, and potential applications for polyp bailout in corals. *Ecology and Evolution*, 11(13), 8424-8440. <https://doi.org/10.1002/ece3.7740>
- Shanmugam, G. (2012). Chapter 4—Bottom-Current Reworked Sands. In G. Shanmugam (Éd.), *Handbook of Petroleum Exploration and Production* (Vol. 9, p. 129-219). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-56335-4.00004-7>
- Sheppard, C., Davy, S., Pilling, G., & Graham, N. (2017). *The Biology of Coral Reefs* (2^e éd.). Oxford University Press/Oxford. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198787341.001.0001>
- Simboura, N., Maragou, P., Paximadis, G., Kaporis, K., Papadopoulos, V. P., Sakellariou, D., Pavlidou, A., Hatzianestis, I., Salomidi, M., Arvanitidis, C., & Panayotidis, P. (2019). Greece. In *World Seas: An Environmental Evaluation* (p. 227-260). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00012-7>
- Sini, M., Katsanevakis, S., Koukourouvli, N., Gerovasileiou, V., Dailianis, T., Buhl-Mortensen, L., Damalas, D., Dendrinou, P., Dimas, X., Frantzis, A., Gerakaris, V., Giakoumi, S., Gonzalez-Mirelis, G., Hasiotis, T., Issaris, Y., Kavadas, S. G., Koutsogiannopoulos, D. D., Koutsoubas, D., Manoutsoglou, E., ... Zotou, M. (2017). Assembling Ecological Pieces to Reconstruct the Conservation Puzzle of the Aegean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 4, 347. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00347>
- SoHelME, 2005. State of the Hellenic Marine Environment. E. Papathanassiou & A. Zenetos (eds) , HCMR Publ., 360 pp
- Taviani, M., Angeletti, L., Antolini, B., Ceregato, A., Frogli, C., López Correa, M., Montagna, P., Remia, A., Trincardi, F., & Vertino, A. (2011a). Geo-biology of Mediterranean deep-water coral ecosystems. In *Marine Research at CNR* (Vol. 6, p. 705-719).
- Taviani, M., Angeletti, L., Antolini, B., Ceregato, A., Frogli, C., López Correa, M., Montagna, P., Remia, A., Trincardi, F., & Vertino, A. (2011b). Geo-biology of Mediterranean deep-water coral ecosystems. In *Marine Research at CNR* (Vol. 6, p. 705-719).
- Taviani, M., Angeletti, L., Canese, S., Cannas, R., Cardone, F., Cau, A., Cau, A. B., Follesa, M., Marchese, F., Montagna, P., & Tessarolo, C. (2017). The " Sardinian cold-water coral province " in the context of the Mediterranean coral ecosystems. *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography*.
- Taviani, M., Freiwald, A., Beuck, L., Angeletti, L., & Remia, A. (2010). The deepest known occurrence of the precious red coral *Corallium Rubrum* (L. 1758) in the Mediterranean Sea (p. 8793).

- Taviani, M., Freiwald, A., & Zibrowius, H. (2005). *Deep Coral Growth in the Mediterranean Sea : An Overview* (p. 137-156). https://doi.org/10.1007/3-540-27673-4_7
- Tian, Z., Liu, Y., Zhang, X., Zhang, Y., & Zhang, M. (2022). Formation Mechanisms and Characteristics of the Marine Nepheloid Layer : A Review. *Water*, 14(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/w14050678>
- Titschack, J., Fink, H. G., Baum, D., Wienberg, C., Hebbeln, D., & Freiwald, A. (2016). Mediterranean cold-water corals – an important regional carbonate factory? *The Depositional Record*, 2(1), 74-96. <https://doi.org/10.1002/dep2.14>
- Tsounis, G., Rossi, S., Grigg, R., Santangelo, G., Bramanti, L., & Gili, J.-M. (s. d.). *The Exploitation and Conservation of Precious Corals*.
- Vertino, A., Stolarski, J., Bosellini, F. R., & Taviani, M. (2014). Mediterranean Corals Through Time : From Miocene to Present. In S. Goffredo & Z. Dubinsky (Éds.), *The Mediterranean Sea : Its history and present challenges* (p. 257-274). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6704-1_14
- White, M., Mohn, C., de Stigter, H., & Mottram, G. (2005). Deep-water coral development as a function of hydrodynamics and surface productivity around the submarine banks of the Rockall Trough, NE Atlantic. In A. Freiwald & J. M. Roberts (Éds.), *Cold-Water Corals and Ecosystems* (p. 503-514). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-27673-4_25
- Wienberg, C., & Titschack, J. (2015). Framework-Forming Scleractinian Cold-Water Corals Through Space and Time : A Late Quaternary North Atlantic Perspective. In S. Rossi, L. Bramanti, A. Gori, & C. Orejas Saco del Valle (Éds.), *Marine Animal Forests : The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots* (p. 1-34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17001-5_16-1
- Παλληκάρakis, A., & Pallikarakis, A. (2018). *Quaternary multi-proxy analysis of the paleoenvironment, paleogeography and active tectonics of the Corinth Isthmus* [Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής]. <https://doi.org/10.12681/eadd/42899>

Références ICGF, 2018 (Greek Fauna Documentation Center, Hellenic Zoological Society) utilisés pour la synthèse bibliographique

- Aiello A. Fattorusso E. & M. Menna, 1992. Four new bioactive polyhydroxylated sterols from the black coral *Antipathes subpinnata*. *J Nat Prod.*;55 (3): 321-5.
- Βαφείδης Δ., 1992. Συστηματική, ζωογεωγραφική και οικολογική μελέτη των ανθοζώων (εκτός των Actiniaria) της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας του Βορείου Αιγαίου. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Βιολογίας, Θεσσαλονίκη, pp. 1-269.
- Bo, M., Tazioli, S., Spanò, N. & G. Bavestrello, 2008. *Antipathella subpinnata* (Antipatharia, Myriopathidae) in Italian seas. *Italian Journal of Zoology*, 75 (2): 185 — 195.
- Carpine, C., 1987. Cnidaires (Meduses, Actinies et Coraux). In Fischer W., M. Schneider, M.-L. Bauchot, 1987. Fiches FAO d'identification des especes pour les besoins de la peche. Mediterranee et Mer Noire. Zone de peche 37. Revision 1. Volume 1. Vegetaux et invertebres. FAO, Rome: 189-292

- Chintiroglou C., Antoniadou C. & P. Damianides, 2008. Spatio-temporal variability of zoobenthic communities in the tectonic lagoon (Lake Vouliagmeni, Attika, Greece). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88 (5): 873 – 881.
- Chintiroglou C., Antoniadou C. & P. Damianides, 2008. Spatio-temporal variability of zoobenthic communities in the tectonic lagoon (Lake Vouliagmeni, Attika, Greece). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88 (5): 873 – 881.
- Chintiroglou, H., Dounas, C. & A. Koukouras, 1989. The presence of *Corallium Rubrum* (Linnaeus, 1758) in the eastern Mediterranean Sea. *Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum Berlin*,
- Doumenc D., England K. W. & C. Chintiroglou, 1987. A new species of sea-anemone in the genus *Paranernonia Carlgren* (Anthozoa, Actiniaria) from the Aegean Sea. *Zoologica Scripta* 16, 271 – 275.
- ICGF, Greek Fauna Documentation Center, Hellenic Zoological Society. (s. d.). [Consulté entre le 1 mai 2023 et le 1 juillet 2023], à l'adresse <https://icgf.myspecies.info/%CE%B5%CE%B9%CE%B4%CE%B7-species/anthozoa>
- Ioanna Kontiza, Dennis Abatis, Katerina Malakate, Constantinos Vagias and Vassilios Roussis, 2006. 3-Keto steroids from the marine organisms *Dendrophyllia cornigera* and *Cymodocea nodosa*. *Steroids*, 7 (1): 177–181.
- Maria J. Ortega, Eva Zubfa, Hai-yin He & Javier Salvá, 1993. New Eunicellin-Based Diterpenoids from the Gorgonian *Eunicella verrucosa*. *Tetrahedron*, 49 (35): 7823-7828.
- Vafidis D, Koukouras A. 1998. Antipatharia, Ceriantharia and Zoantharia (Hexacorallia, Anthozoa) of the Aegean Sea with a check list of the Mediterranean and Black Sea Species. *Annales de l'Institut océanographique*, Paris 74:115–126.
- Vafidis, D. & A. Koukouras, 1991. *Crassophyllum thessalonicae* sp.n. (Octocorallia, Pennatulacea), from the Aegean Sea. *Zoologica Scripta*, 20 (3): 201-205.
- Vafidis, D. & Ch. Chintiroglou, 2002. *Segonzactis hartogi* sp. n. (Condylanthidae) and other sea anemones of the Aegean deep water. *Belg. J. Zool.*, 132 (2): 87-93.
- Vafidis, D., Koukouras A. & E. Voultsiadou-Koukoura, 1997. Actiniaria, Corallimorpharia, and Scleractinia (Hexacorallia, Anthozoa) of the Aegean Sea, with a checklist of the Eastern Mediterranean and Black Sea species. *Israel Journal of Zoology*, 43: 55-70.

Références GBIF (Global Biodiversity Information Facility) utilisées pour les clés d'identifications

Cavernularia pusilla : Observé en Méditerranée, Golfe du Lion (Espagne) en Janvier 2021 par Bernat Garrigós, biologiste marin et photographe naturaliste professionnel en Espagne (<https://www.gbif.org/occurrence/3031709642> et <https://www.gbif.org/occurrence/3032084572>) [consultés le 11 juillet 2023]

Corallium Rubrum : Observé en Méditerranée, Golfe du Lion (France) en Janvier 2023 par Sylvain Le Bris, biologiste marin et plongeur professionnel en Région Provence-Alpes-Côte d’Azur (<https://www.gbif.org/occurrence/4018142277>) [consulté le 11 juillet 2023]

GBIF, Global Biodiversity Information Facility. (s. d.). [Consulté entre le 1 mai 2023 et le 1 juillet 2023], à l’adresse <https://www.gbif.org/>

Parazoanthus axinellae : Observé en Méditerranée, Golfe du Lion (France) en Janvier 2023 par Sylvain Le Bris, biologiste marin et plongeur professionnel en Région Provence-Alpes-Côte d’Azur (<https://www.gbif.org/occurrence/4018163137>) [consulté le 11 juillet 2023]

Pennatula aculeata : Observé en Atlantique Nord (Canada) en Octobre 2022 par Jean-François Rousseau, biologiste (<https://www.gbif.org/occurrence/3947633936>). Observé en Atlantique Nord (Canada) en Juillet 2022 par Marilyn Thorne, Direction des Sciences à l’Institut Maurice-Lamontagne (Québec) (<https://www.gbif.org/occurrence/3961095024>). Observé en Atlantique Nord (Canada) en Juin 2017 par Dr. Martha Nizinski, Smithsonian Institution, NMNH, Invertebrate Zoology (<https://www.gbif.org/occurrence/3745039355>) [consultés le 11 juillet 2023]

9 Annexes

Annexe 1 : Clés d'identifications utilisés pour l'identification des espèces. Les provinces indiquées correspondent à celles présentées en section 2.1.4 et 6.3.1. Les photos utilisées sont issues de la base de données GBIF (sélection des images mentionnant une source) et les références de chaque photo d'espèces sont indiquées dans la section référence.

Alcyonium Palmatum, Pallas 1766



VIDÉO 2023



VIDÉO 2023



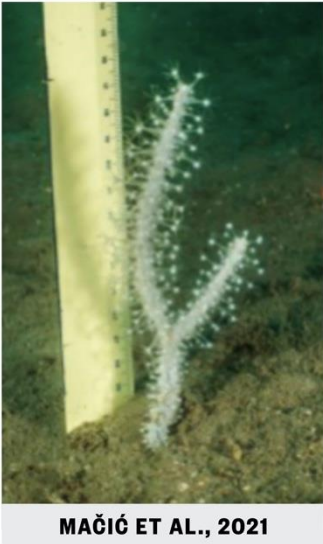
FOURNIER, 2023

État IUCN	Préoccupation mineure	Sous-classe	Octocorallia
		Ordre	Malacalcyonacea
		Famille	Alcyoniidae

Caractéristiques	
Substrat	Mou
Couleur	Blanc
Taille	10 - 50 cm
Rang de profondeur	10 à 200 m
Provinces en Méditerranée	(5) "Golfe de Lion" (bassin Liguro-provençal),

- Ambroso *et al.*, 2013 ; Fournier, 2023

Spinimuricea klavereni, Carpine & Grasshoff 1975



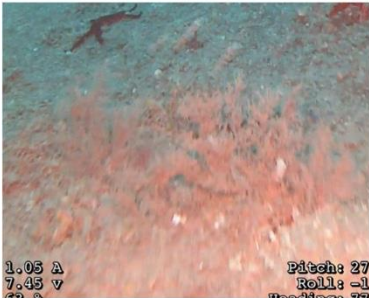
État IUCN	Données insuffisantes	Sous-classe	Octocorallia
		Ordre	Malacalcyonacea
		Famille	Paramuriceidae
Caractéristiques			
Substrat	Mou		
Couleur	Blanc		
Taille	50 cm en moyenne (certains individus jusqu'à 110 cm en Méditerranée Est)		
Rang de profondeur	10 à 110 m		
Provinces en Méditerranée	/		

- Mačić *et al.*, 2021

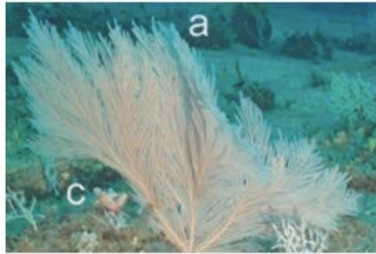
Callogorgia verticillata, Pallas 1766



VIDÉO 2019



VIDÉO 2023



ALTUNA ET ANGELO POLISENO,
2019



FOURNIER, 2023

État IUCN	Quasiment menacé	Sous-classe	Octocorallia
		Ordre	Scleralcyonacea
		Famille	Primnoidae

Caractéristiques	
Substrat	Dur
Couleur	Rose-blanc
Taille	Jusqu'à 1,5 m
Rang de profondeur	50 à 2500 m
Provinces en Méditerranée	(2) "Santa Maria Di Leuca" (Mer Ionienne), (3) "Malte Sud" (Mer Ionienne au niveau du détroit de Sicile), (4) "Melilla" (Mer d'Alboran), (5) "Golfe de Lion" (bassin Liguro-provençal), (6) "Capo Spartivento" (au Sud de la Sardaigne)

- Rueda *et al.*, 2019 ; Lo Iacono *et al.*, 2019 ; Altuna et Angelo Poliseno, 2019 ; GBIF, 2022 ; Fournier, 2023

Corallium rubrum Linnaeus, 1758



VIDÉO 2019



GBIF, 2022



FOURNIER, 2023

État IUCN	En danger	Sous-classe	Octocorallia
		Ordre	Scleralcyonacea
		Famille	Corallidae

Caractéristiques	
Substrat	Mou ou dur
Couleur	Rouge, parfois orangé
Taille	Jusque 30 cm
Rang de profondeur	50 à 3000 m
Provinces en Méditerranée	(5) "Golfe de Lion" (bassin Liguro-provençal), Détroit de Gibraltar

- Álvarez-Pérez et al., 2005 ; Rossi et al., 2008 ; Rueda et al., 2019 ; Fournier, 2023

Pteroeides griseum Bohadsch,
1761



État IUCN	Vulnérable	Sous-classe	Octocorallia
		Ordre	Scleralcyonacea
		Super-Famille	Pennatuloidea
Caractéristiques			
Substrat	Mou		
Couleur	Gris - Blanc		
Taille	Jusqu'à 20 cm		
Rang de profondeur	Jusqu'à 300 m		
Provinces en Méditerranée	(3) "Malte Sud" (Mer Ionienne au niveau du détroit de Sicile), (4) "Melilla" (Mer d'Alboran), (5) "Golfe de Lion" (bassin Liguro-provençal), (6) "Capo Spartivento" (au Sud de la Sardaigne), Méditerranée Est		

- Taviani et al., 2017 ; Rueda et al., 2019 ; Fournier, 2023

Pennatula aculeata Danielssen, 1860



État IUCN	Vulnérable	Sous-classe	Octocorallia
		Ordre	Scleralcyonacea
		Super-Famille	Pennatuloidea
Caractéristiques			
Substrat	Mou ou dur		
Couleur	Rouge - Violet		
Taille	20 à 40 cm		
Rang de profondeur	150 à 500 m		
Provinces en Méditerranée	(4) “Melilla” (Mer d’Alboran), (6) “Capo Spartivento” (au Sud de la Sardaigne)		

- Taviani et al., 2017 ; Rueda et al., 2019 ; GBIF, 2022 ; Fournier, 2023

Cavernularia pusilla Philippi, 1835



VIDÉO 2019

FOURNIER, 2023



GBIF, 2022

État IUCN	Vulnérable	Sous-classe	Octocorallia
		Ordre	Scleralcyonacea
		Super-Famille	Pennatuloida

Caractéristiques	
Substrat	Mou
Couleur	Blanc - Gris - Jaune clair - Rouge
Taille	Jusqu'à 4 cm
Rang de profondeur	10 à 200 m
Provinces en Méditerranée	(4) "Melilla" (Mer d'Alboran), (5) "Golfe de Lion" (bassin Liguro-provençal), (6) "Capo Spartivento" (au Sud de la Sardaigne)

- Taviani et al., 2017 ; Rueda et al., 2019 ; GBIF, 2022 ; Fournier, 2023

Caryophylliidae spp. (Dana, 1846)



VIDÉO 2019



VIDÉO 2023

État IUCN	Données insuffisantes	Sous-classe	Hexacorallia
	Préoccupation mineure	Ordre	Scleractinia
	En danger	Famille	Caryophylliidae

Caractéristiques	
Substrat	Dur
Couleur	Blanc - Rose - Orange
Taille	Pour les spécimens observés dans la zone d'étude, ordre du cm
Rang de profondeur	10 à 1500 m
Provinces en Méditerranée	(1) "Bari Canyon" (Mer Adriatique), (2) "Santa Maria Di Leuca" (Mer Ionienne), (3) "Malte Sud" (Mer Ionienne au niveau du détroit de Sicile), (4) "Melilla" (Mer d'Alboran), (5) "Golfe de Lion" (bassin Liguro-provençal), (6) "Capo Spartivento" (au Sud de la Sardaigne), Déroit de Gibraltar

- Álvarez-Pérez *et al.*, 2005 ; Rossi *et al.*, 2008 ; Taviani *et al.*, 2017 ; Rueda *et al.*, 2019 ; Lo Iacono *et al.*, 2019 ; GBIF, 2022 ; Fournier, 2023

Parazoanthus axinellae Schmidt, 1862



VIDÉO 2019



VIDÉO 2023



GBIF, 2022

État IUCN	Préoccupation mineure	Sous-classe	Hexacorallia
		Ordre	Zoantharia
		Famille	Parazoanthidae

Caractéristiques	
Substrat	Dur
Couleur	Jaune
Taille	Ordre du cm
Rang de profondeur	5 à 50 m
Provinces en Méditerranée	(1) "Bari Canyon" (Mer Adriatique), (2) "Santa Maria Di Leuca" (Mer Ionienne), (3) "Malte Sud" (Mer Ionienne au niveau du détroit de Sicile), (4) "Melilla" (Mer d'Alboran), (5) "Golfe de Lion" (bassin Liguro-provençal), (6) "Capo Spartivento" (au Sud de la Sardaigne), Détroit de Gibraltar, Méditerranée Est

- Garrabou, 1999 ; GBIF, 2022

Annexe 2 : Synthèse bibliographique reprenant une liste des espèces présentes par provinces de CWC en Méditerranée et au niveau du détroit de Gibraltar. Les provinces reprennent les localisations explicitées dans la section 6.3.1. Les références utilisées sont indiquées pour chaque province.

Provinces de CWC (d'après Álvarez-Pérez <i>et al.</i> , 2005 ; Taviani <i>et al.</i> , 2017 ; Rueda <i>et al.</i> , 2019 ; Otero <i>et al.</i> , 2022)		Nom scientifique complet (<i>genre, espèce</i> et autorité)	Références
(1) “Bari Canyon” (Mer Adriatique)		<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Dendrophyllia cornigera</i> (Lamarck, 1816) 2. <i>Desmophyllum dianthus</i> (Esper, 1794) 3. <i>Desmophyllum pertusum</i> (Linnaeus, 1758) 4. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758) 5. <i>Parazoanthus anguicomus</i> (Norman, 1868) 6. <i>Peachia cylindrica</i> (Reid, 1848) 7. <i>Spinimuricea klavereni</i> (Carpine et Grasshoff, 1975) 	Taviani <i>et al.</i> , 2011 ; Taviani <i>et al.</i> , 2017 ; Sini <i>et al.</i> , 2017 ; Rueda <i>et al.</i> , 2019
(2) Mer Ionienne	“Santa Maria Di Leuca”	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Acanthogorgia hirsuta</i> (Gray, 1857) 2. <i>Amphianthus dohrnii</i> (Koch, 1878) 3. <i>Antipathes dichotoma</i> (Pallas, 1766) 4. <i>Bebryce mollis</i> (Philippi, 1842) 5. <i>Callogorgia verticillata</i> (Pallas, 1766) 6. <i>Caryophyllia calveri</i> (Duncan, 1873) 7. <i>Corallium Rubrum</i> (Linnaeus, 1758) 8. <i>Dendrobrachia bonsai</i> (Lopez-Gonzales et Cunha, 2010) 9. <i>Dendrophyllia cornigera</i> (Lamarck, 1816) 10. <i>Desmophyllum dianthus</i> (Esper, 1794) 11. <i>Desmophyllum pertusum</i> (Linnaeus, 1758) 12. <i>Epizoanthus</i> spp. 13. <i>Isidella elongata</i> (Esper, 1788) 14. <i>Kadophellia bathyalis</i> (Tur, 1991) 15. <i>Leiopathes glaberrima</i> (Esper, 1788) 16. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758) 17. <i>Paramuricea macrospina</i> (Koch, 1882) 18. <i>Peachia cylindrica</i> (Reid, 1848) 19. <i>Cylista elegans</i> (Dalyell, 1848) 20. <i>Cylista troglodytes</i> (Price in Johnston, 1847) 21. <i>Stenocyathus vermiformis</i> (Pourtalès, 1868) 	Taviani <i>et al.</i> , 2005 ; Taviani <i>et al.</i> , 2011 ; Costantini et Abbiati, 2016 ; Taviani <i>et al.</i> , 2017 ; Rueda <i>et al.</i> , 2019 ; Lo Iacono <i>et al.</i> , 2019

		22. <i>Callistephanus pallida</i> (Madsen, 1970)	
	“Kefalonia”	1. <i>Antipathes dichotoma</i> (Pallas, 1766) 2. <i>Desmophyllum dianthus</i> (Esper, 1794) 3. Ellisellidae spp. 4. <i>Isidella elongata</i> (Esper, 1788) 5. <i>Leiopathes glaberrima</i> (Esper, 1788) 6. <i>Pennatula phosphorea</i> (Linnaeus, 1758) 7. <i>Callistephanus pallida</i> (Madsen, 1970) 8. <i>Villogorgia</i> spp.	Otero <i>et al.</i> , 2022 + Mytilineou <i>et al.</i> , 2014
(3) “Malte Sud” (Mer Ionienne au niveau du détroit de Sicile)		1. <i>Desmophyllum pertusum</i> (Linnaeus, 1758) 2. <i>Isidella elongata</i> (Esper, 1788) 3. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758) 4. <i>Stenocyathus vermiformis</i> (Pourtalès, 1868)	Taviani <i>et al.</i> , 2017 ; Rueda <i>et al.</i> , 2019 ; Lo Iacono <i>et al.</i> , 2019
(4) “Melilla” (Mer d’Alboran)	Non précisé	1. <i>Cavernularia pusilla</i> (Philippi, 1835) 2. <i>Pennatula phosphorea</i> (Linnaeus, 1758)	Taviani <i>et al.</i> , 2005 ; Taviani <i>et al.</i> , 2017 ; Corbera <i>et al.</i> , 2019
	“Cabliers”	1. <i>Acanthogorgia armata</i> (Verrill, 1878) 2. <i>Acanthogorgia hirsuta</i> (Gray, 1857) 3. <i>Anthomastus</i> spp. 4. <i>Callogorgia verticillata</i> (Pallas, 1766) 5. <i>Dendrophyllia cornigera</i> (Lamarck, 1816) 6. <i>Desmophyllum dianthus</i> (Esper, 1794) 7. <i>Desmophyllum pertusum</i> (Linnaeus, 1758) 8. <i>Eunicella verrucosa</i> (Pallas, 1766) 9. <i>Isidella elongata</i> (Esper, 1788) 10. <i>Kophobelemnion stelliferum</i> (Müller, 1776) 11. <i>Leiopathes glaberrima</i> (Esper, 1788) 12. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758) 13. <i>Parantipathes larix</i> (Esper, 1788) 14. <i>Swiftia rosea</i> (Grieg, 1887)	Rueda <i>et al.</i> , 2019

	“Chella”	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Antipathella subpinnata</i> (Ellis et Solander, 1786) 2. <i>Antipathes dichotoma</i> (Pallas, 1766) 3. <i>Callogorgia verticillata</i> (Pallas, 1766) 4. <i>Dendrophyllia cornigera</i> (Lamarck, 1816) 5. <i>Desmophyllum pertusum</i> (Linnaeus, 1758) 6. <i>Dendrophyllia ramea</i> (Linnaeus, 1758) 7. <i>Desmophyllum dianthus</i> (Esper, 1794) 8. <i>Eunicella verrucosa</i> (Pallas, 1766) 9. <i>Funiculina quadrangularis</i> (Pallas, 1766) 10. <i>Isidella elongata</i> (Esper, 1788) 11. <i>Kophobelemnnon stelliferum</i> (Müller, 1776) 12. <i>Leiopathes glaberrima</i> (Esper, 1788) 13. <i>Leptogorgia sarmentosa</i> (Esper, 1791) 14. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758) 15. <i>Paramuricea clavata</i> (Risso, 1826) 16. <i>Parantipathes larix</i> (Esper, 1788) 17. <i>Savalia savaglia</i> (Bertoloni, 1819) 	Rueda <i>et al.</i> , 2019 ; Lo Iacono <i>et al.</i> , 2019
(5) “Golfe de Lion” (bassin Liguro-provençal)	Non précisé	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Antipathella subpinnata</i> (Ellis et Solander, 1786) 2. <i>Antipathes dichoto</i> 3. (Pallas, 1766) 4. <i>Callogorgia verticillata</i> (Pallas, 1766) 5. <i>Corallium Rubrum</i> (Linnaeus, 1758) 6. <i>Dendrophyllia cornigera</i> (Lamarck, 1816) 7. <i>Desmophyllum dianthus</i> (Esper, 1794) 8. <i>Desmophyllum pertusum</i> (Linnaeus, 1758) 9. <i>Eunicella cavolini</i> (Koch, 1887) 10. <i>Leiopathes glaberrima</i> (Esper, 1788) 11. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758) 12. <i>Paramuricea clavata</i> (Risso, 1826) 	Rossi <i>et al.</i> , 2008 ; Taviani <i>et al.</i> , 2011 ; Taviani <i>et al.</i> , 2017 ; Rueda <i>et al.</i> , 2019
	“Masina”, “ Massa d’Oros” et “Tres Fares”	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Corallium Rubrum</i> (Linnaeus, 1758) 2. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758) 	Rossi <i>et al.</i> , 2008

	“Canyon Cap de Creus” et “Canyon Lacaze-Duthiers”	<ol style="list-style-type: none">1. <i>Alcyonium palmatum</i> (Pallas 1766)2. <i>Dendrophyllia cornigera</i> (Lamarck, 1816)3. <i>Desmophyllum dianthus</i> (Esper, 1794)4. <i>Desmophyllum pertusum</i> (Linnaeus, 1758)5. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758)	Ambroso <i>et al.</i> , 2013 ; Rueda <i>et al.</i> , 2019
(6) “Capo Spartivento” (au Sud de la Sardaigne)		<ol style="list-style-type: none">1. <i>Acanthogorgia hirsuta</i> (Gray, 1857)2. <i>Amphianthus dohrnii</i> (Koch, 1878)3. <i>Bebryce mollis</i> (Philippi, 1842)4. <i>Caryophyllia</i> spp.5. <i>Cerianthus</i> spp.6. <i>Dendrophyllia cornigera</i> (Lamarck, 1816)7. <i>Desmophyllum dianthus</i> (Esper, 1794)8. <i>Desmophyllum pertusum</i> (Linnaeus, 1758)9. <i>Epizoanthus</i> spp.10. <i>Funiculina quadrangularis</i> (Pallas, 1766)11. <i>Javania cailleti</i> (Duchassaing et Michelotti, 1864)12. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758)13. <i>Peachia</i> spp.14. <i>Pennatula</i> spp.15. <i>Stenocyathus vermiformis</i> (Pourtalès, 1868)	Taviani <i>et al.</i> , 2017 ; Rueda <i>et al.</i> , 2019

Détroit de Gibraltar	Non précisé	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Astroides calycularis</i> (Pallas 1766) 2. <i>Caryophyllia cyathus</i> (Ellis et Solander, 1786) 3. <i>Caryophyllia inornata</i> (Duncan, 1878) 4. <i>Cladocora caespitosa</i> (Linnaeus, 1767) 5. <i>Cladocora debilis</i> (Milne Edwards et Haime, 1849) 6. <i>Corallium Rubrum</i> (Linnaeus, 1758) 7. <i>Dendrophyllia cornigera</i> (Lamarck, 1816) 8. <i>Desmophyllum cristagalli</i> (Milne Edwards et Haime, 1848) 9. <i>Desmophyllum dianthus</i> (Esper, 1794) 10. <i>Desmophyllum pertusum</i> (Linnaeus, 1758) 11. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758) 12. <i>Monomyces pygmaea</i> (Risso, 1827) 13. <i>Paracyathus pulchellus</i> (Philippi, 1842) 14. <i>Polycyathus mullerae</i> (Abel, 1959) 15. <i>Sphenotrochus andrewianus</i> (Milne Edwards et Haime, 1848) 16. <i>Stenocyathus vermiformis</i> (Pourtalès, 1868) 	Álvarez-Pérez <i>et al.</i> , 2005 ; Rueda <i>et al.</i> , 2019
	“Gazul Mud Volcano” et “Guadiario Canyon”	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Antipathella subpinnata</i> (Ellis et Solander, 1786) 2. <i>Caryophyllia smithii</i> (Stokes et Broderip, 1828) 3. <i>Dendrophyllia cornigera</i> (Lamarck, 1816) 4. <i>Desmophyllum pertusum</i> (Linnaeus, 1758) 5. <i>Eguchipsammia gaditana</i> (Duncan, 1873) 6. <i>Flabellum chunii</i> (Marenzeller, 1904) 7. <i>Leiopathes glaberrima</i> (Esper, 1788) 8. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758) 9. <i>Placogorgia</i> spp. (Wright et Studer, 1889) 10. <i>Viminella flagellum</i> (Johnson, 1863) 	Rueda <i>et al.</i> , 2019
Mer Égée		<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Alcyonium palmatum</i> (Pallas 1766) 2. <i>Antipathes dichotoma</i> (Pallas, 1766) 3. <i>Antipathella subpinnata</i> (Ellis et Solander, 1786) 4. <i>Balanophyllia europaea</i> (Risso, 1826) 5. <i>Balanophyllia regia</i> (Gosse, 1853) 6. <i>Callogorgia verticillata</i> (Pallas, 1766) 	Salomidi <i>et al.</i> , 2009b ; Dounas <i>et al.</i> , 2010 ; Otero <i>et al.</i> , 2022 ; ICGF, 2018 ; Mačić <i>et al.</i> , 2021

	<ol style="list-style-type: none"> 7. <i>Caryophyllia calveri</i> (Duncan, 1873) 8. <i>Caryophyllia inornata</i> (Duncan, 1878) 9. <i>Caryophyllia smithii</i> (Stokes et Broderip, 1828) 10. <i>Cladocora caespitosa</i> (Linnaeus, 1767) 11. <i>Cladopsammia rolandi</i> (Lacaze-Duthiers, 1897) 12. <i>Corallium Rubrum</i> (Linnaeus, 1758) 13. <i>Crassophyllum thessalonicae</i> (Vafidis et Koukouras, 1991) 14. <i>Dendrophyllia cornigera</i> (Lamarck, 1816) 15. <i>Desmophyllum pertusum</i> (Linnaeus, 1758) 16. <i>Eunicella cavolini</i> (Koch, 1887) 17. <i>Eunicella singularis</i> (Esper, 1791) 18. <i>Eunicella verrucosa</i> (Pallas, 1766) 19. <i>Funiculina quadrangularis</i> (Pallas, 1766) 20. <i>Guynia annulata</i> (Duncan, 1872) 21. <i>Hoplangia durotrix</i> (Gosse, 1860) 22. <i>Isidella elongata</i> (Esper, 1788) 23. <i>Leptogorgia sarmentosa</i> (Esper, 1791) 24. <i>Leiopathes glaberrima</i> (Esper, 1788) 25. <i>Leptopsammia pruvoti</i> (Lacaze-Duthiers, 1897) 26. <i>Madracis pharensis</i> (Heller, 1868) 27. <i>Madrepora oculata</i> (Linnaeus, 1758) 28. <i>Monomyces pygmaea</i> (Risso, 1827) 29. <i>Paramuricea clavata</i> (Risso, 1826) 30. <i>Paracyathus pulchellus</i> (Philippi, 1842) 31. <i>Paranemonia vouliagmeniensis</i> (Doumenc, England et Chintiroglou, 1987) 32. <i>Parantipathes larix</i> (Esper, 1788) 33. <i>Pennatula phosphorea</i> (Linnaeus, 1758) 34. <i>Phyllangia americana mouchezii</i> (Lacaze-Duthiers, 1897) 35. <i>Polycyathus muelleriae</i> (Abel, 1959) 36. <i>Savalia savaglia</i> (Bertoloni, 1819) 37. <i>Segonzactis hartogi</i> (Vafidis et Chintiroglou, 2002) 38. <i>Spinimuricea klavereni</i> (Carpine et Grasshoff, 1975) 	
--	---	--