

Cartographie des habitats du banc de la Nioulargue à partir des images du HROV Ariane



© photos illustration : Ifremer - HROV Ariane, campagne TELEPRESENCE (2018)

Stage Master 1 (Université de Toulon)

2023

Tuteur Ifremer : Marie-Claire Fabri
Tuteur Université : Bruno Zakardjian

Réalisé par : Clément Cabioch

Master Sciences de la Mer
Interactions biotiques et Perturbations Anthropiques en environnement marin

Table des matières

1. Introduction.....	3
2. Méthode	4
2.1 Localisation du banc de la Nioulargue	4
2.2 Acquisition de données	5
2.2.1 La Campagne d’essai océanographique CANHROV (Hors-stage).....	5
2.2.2 La Campagne d’essai océanographique TELEPRESENCE (Hors-stage).....	5
2.3 Identification des taxons	6
2.4 Recensement des impacts anthropiques.....	6
2.5 Reconstructions en 3 dimensions.....	7
2.6 Cartographies	7
2.7 Densités et Diversité	7
3. Résultats.....	8
3.1 Identifications taxinomiques.....	8
3.1.1 Distribution de la diversité.....	10
3.2 Densité des espèces ingénieuses	11
3.2.1 Distribution des densités.....	11
3.2.2 Comparaison des densités.....	12
3.3 Impacts anthropiques	12
3.3.1 Distribution des impacts anthropiques et des interactions avec la faune.....	12
3.3.2 Etat des populations d’espèces ingénieuses	14
4. Discussion	15
5. Conclusion	16
6. Références.....	18
7. Annexe	21
Annexe 1. Tableau 1. Listes des espèces épibenthiques identifiées au cours des quatre plongées sur le banc de la Nioulargue. En gras est représenté les espèces ingénieuses indicatrices des Ecosystèmes Marins Vulnérables (EMV).	21
Annexe 2. Figure 1. Photos capturées par le HROV Ariane sur les quatre plongées. Les espèces d'intérêts commerciales y sont représentées. (A) <i>Seriola dumerili</i> , (B) <i>Spicara smaris</i> , (C) <i>Helicolenus dactylopterus</i> , (D) <i>Palinurus mauritanicus</i> , (A) <i>Seriola dumerili</i> et (E) <i>Scyliorhinus</i> sp.....	23
Résumé.....	24

1. Introduction

Le développement des nouvelles technologies (bathyscaphes, sous-marins, robots) a considérablement élargi les perspectives de l'exploration des profondeurs marines, offrant l'opportunité d'acquérir de nouvelles connaissances précises sur les écosystèmes marins profonds (Pedel and Fabri, 2011). Ces avancées technologiques ont également ouvert une nouvelle dimension dans l'exploration des écosystèmes marins profonds notamment en Méditerranée qui a fait l'objet d'études approfondies ou de nombreux rapports faunistiques détaillés ont été publiés au cours de ces dernières années (Enrichetti et al., 2019; Fourt et al., 2015; Pedel and Fabri, 2011).

En raison de sa paléogéographie et de l'action d'autres facteurs historiques et écologiques, la Méditerranée offre une diversité d'habitats favorables à une grande biodiversité marine (Bianchi et Morri, 2000). Cette diversité d'habitat est en partie due à la topographie spécifique de la façade méditerranéenne qui est caractérisée par un plateau continental de faible largeur facilitant un accès plus direct et rapide au talus continental et à la plaine abyssale adjacente (Sánchez-Arcilla et Simpson, 2002; Gabert, 1964). De manière plus spécifique, la totalité de la façade méditerranéenne occidentale française est marquée par la présence de nombreuses entailles dans le plateau continental allant d'Ouest en Est parallèles à la ligne de côte (Gabert, 1964). L'érosion continue, les processus géologiques et hydrologiques (accident, ennoisement, thalwegs sous-marins, prolongement d'actuelles vallées terrestres) ont été suggérés comme une cause principale de ces zones de ruptures pouvant être plus ou moins profondes par endroits et s'apparentent à de véritables vallées sous-marines, que l'on appelle des canyons sous-marins (Orsolini, 1978). Un modèle de zonation bionomique, basé sur la délimitation en étage d'assemblage épibenthique a été établi par Pérès et Picard (Peres and Picard, 1964). Ce modèle s'appuie sur des facteurs physiques universels et permanents liés notamment à la durée d'immersion, à la profondeur et à l'éclairement du milieu (Masse, 1988). Les fondements du modèle permettent de diviser le domaine marin méditerranée en cinq étages bionomiques : Supralittoral (zone des embruns), Médiolittoral (zone de balancement des marées), Infralittoral (importance de la lumière, avec algues photophiles), Circalittoral (s'étend de la limite supérieure des algues sciaphiles jusqu'au rebord du plateau continental) et Bathyal (sur la pente continentale). Au-delà de 2 500 à 3 000 mètres de profondeur, on trouve la plaine abyssale.

L'écosystème circalittoral de la Méditerranée est reconnu comme une zone de biodiversité majeure, abritant un assemblage d'espèces épibenthiques (Porifera, Cnidaria, Vertebrata, Arthropoda, Mollusca...) unique (Bo et al., 2012; Cau et al., 2015). Frontière entre la zone euphotique et aphotique, l'écosystème marin de la zone mésophotique enregistre moins de 5% de l'intensité lumineuse de surface et présente des conditions biotiques et abiotiques spécifiques qui le distingue des autres écosystèmes marins (Augier, 2010). L'atténuation de la luminosité ne se traduit pas nécessairement par une réduction du potentiel de vie (Augier, 2010; Bo et al., 2012). En tant que véritable berceau du coralligène, la composition faunistique varie fortement et est principalement influencée par des facteurs physico-chimiques et hydrodynamiques tels que la température, la turbidité mais aussi par les courants et la nature du substrat (Cerrano et al., 2010; Bo et al., 2012a). Selon l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN), le peuplement de la roche du large situé au niveau des bancs rocheux est une zone de transition écotone entre l'étage circalittoral et l'étage bathyal. Les peuplements photophiles présents dans l'écosystème infralittoral, dominé majoritairement par une seule espèce, cèdent place à des peuplements sciaphiles qui se composent d'un assemblage d'espèces appelées forêts animales (Rossi et al., 2012; Rossi, 2013). Comme pour les herbiers marins, ces forêts animales jouent un rôle crucial dans l'équilibre écologique de la Méditerranée (Cau et al., 2015). Véritable lieu de refuge pour de nombreuses espèces bâtisseuses et démolisseuses, ils constituent également des zones d'alevinage pour plusieurs espèces de poissons et jouent un rôle clé dans l'établissement de nouveaux assemblages épibenthiques (Baillon et al., 2012; Ponti et al., 2014; Ballesteros, 2006; Cau et al., 2015). Cette succession écologique met en évidence la notion de biocénose définie par Pérès et Picard en 1964, qui repose sur la présence d'espèces caractéristiques et d'espèces associées ou accompagnatrices au sein de ces biocénoses (Dauvin et al., 2010; Dauvin et al., 2008; Pedel and Fabri, 2011). D'après l'INPN, la biocénose du coralligène et la biocénose de la roche du large possèdent tout deux un ensemble d'espèces caractéristiquement proches. Toutefois, le chevauchement entre la biocénose de la roche du large et la biocénose coralligène peut créer des variabilités spécifiques dans la composition de ces deux biocénoses rendant difficile leur séparation nette sur les bancs rocheux. Les deux biocénoses abritent

également des espèces d'intérêt commercial dont *Helicolenus dactylopterus*, *Palinurus mauritanicus* et *Seriola dumerili*. L'assemblée générale des Nations Unies a adopté en 2004 un ensemble de résolutions dans le but de conserver des zones clé de biodiversité benthiques, appelées Ecosystèmes Marins Vulnérables (EMV). L'établissement d'une liste d'espèces indicatrices qualifiée d'espèces dites "ingénieuses" permet l'identification de zones abritant des EMV ou susceptibles d'en avoir (Fournier et al).

Les écosystèmes marins profonds, demeurés longtemps méconnus et largement ignorés, font déjà face à diverses pressions anthropiques, notamment dûes à la pêche professionnelle utilisant des engins de fond où l'étendue des impacts causés n'est ni visible ni quantifiée (Bo et al., 2014a). Les bancs rocheux au large des côtes méditerranéennes sont des zones de pêche très appréciées par les pêcheurs professionnels et amateurs en raison de la diversité des espèces ichtyologiques qui y résident (Bo et al., 2014b). Le banc de la Nioulargue est un banc rocheux du plateau continental situé dans la région de Saint-Tropez, sur la Côte d'Azur. Un premier travail de recensement taxinomique des différentes espèces présentes sur le banc avait été entrepris à l'occasion de la campagne MEDSEACAN (2009-2010) d'exploration des bancs et des canyons de Méditerranée française (Aamp, Comex, ROV Achille), établissant ainsi une première liste des espèces épibenthiques présentes. Puis deux campagnes d'essais CANHROV (2016) et TELEPRESENCE (2018) de l'Ifremer avec le HROV Ariane ont apporté un complément d'information sur les espèces présentes sur ce banc rocheux. Au cours de ces deux campagnes de l'Ifremer avec le HROV Ariane, une acquisition de données photographiques et de fichiers vidéos sur différentes zones du banc a été réalisée.

A partir des données photos et vidéos des deux campagnes d'essais du HROV Ariane sur le banc de la Nioulargue, mes objectifs ont été de (i) établir d'une liste exhaustive des espèces épibenthiques et de représenter la distribution des diversités spécifiques sur les sommets Est et Ouest, (ii) cartographier les espèces ingénieuses *Paramuricea clavata* et *Eunicella cavolini* et évaluer leur densité, (iii) évaluer l'influence des pressions anthropiques et les interactions sur les espèces épibenthiques.

2. Méthode

2.1 Localisation du banc de la Nioulargue

Situé au large de la région de Saint-Tropez (France, département du Var (83)), sur la pente continental entre le Canyon de Pampelonne et le Canyon de Camarat, le banc de la Nioulargue est une formation géologique distincte caractérisée par sa nature rocheuse (Fig.1). L'origine probable de ce banc rocheux peut être attribuée à l'interaction des forces géologiques et hydrologiques décrites qui ont contribué à la formation des canyons de Pampelonne et de Camarat. Du fait de sa proximité à la côte, de sa faible profondeur (sommets le plus haut culmine à -74 m) et de sa topographie constituée de pentes abruptes ressemblant à celles d'un canyon, le banc de la Nioulargue s'est révélé être un site propice à la réalisation de tests pour le HROV (Hybrid Remotely Operated Vehicle) Ariane. L'agencement géomorphologique du banc présente deux têtes rocheuses distinctes, l'une située à une profondeur de -74 m et l'autre à -96 m et par la présence de pentes abruptes.

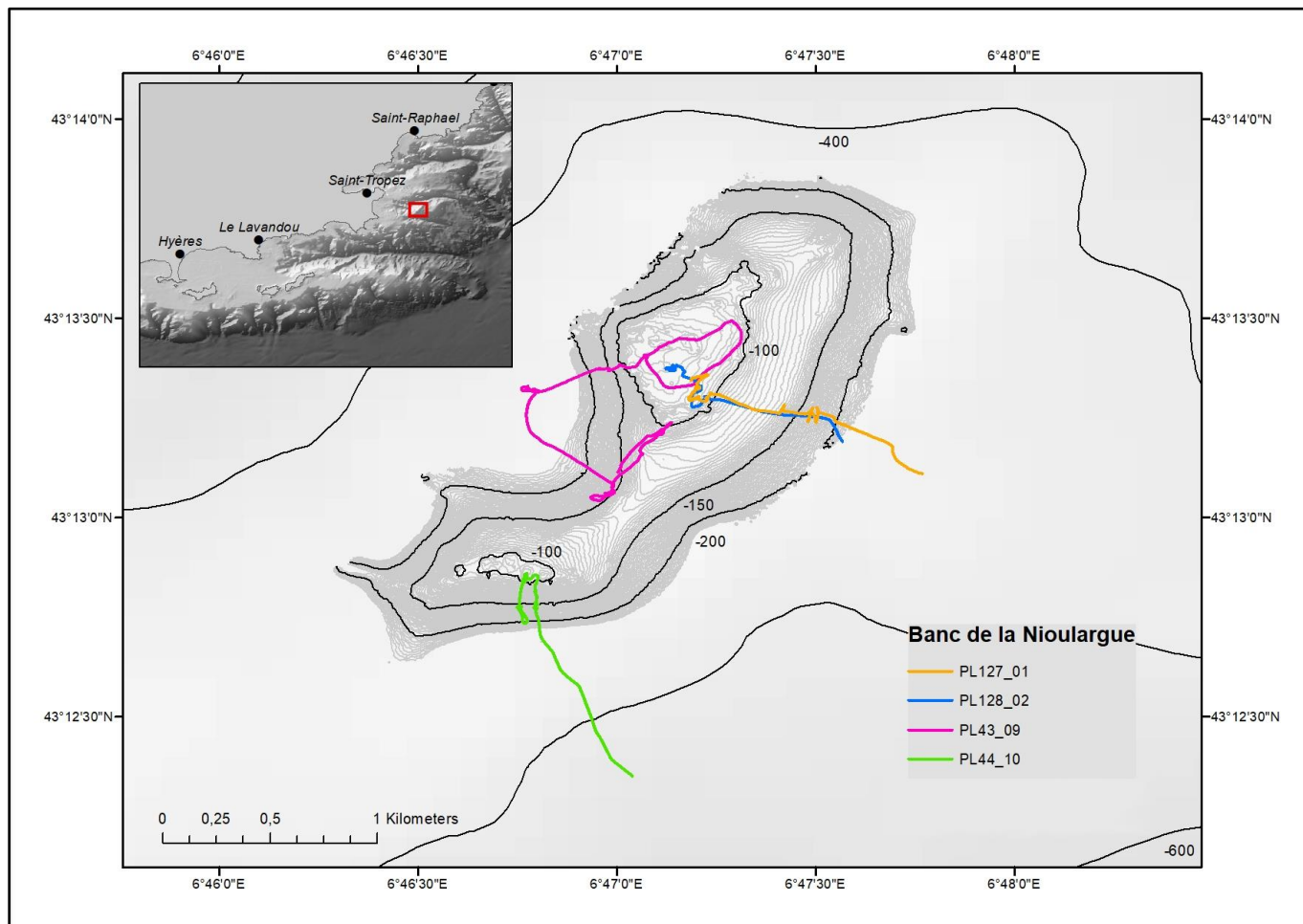


Figure 1. Carte de localisation du banc de la Nioulargue situé dans la région de Saint-Tropez, sur la Côte d'Azur.

2.2 Acquisition de données

2.2.1 La Campagne d'essai océanographique CANHROV (Hors-stage)

La campagne CANHROV s'est déroulée sur 6 jours du 22/10/2016 au 16/11/2016 à bord du navire océanographique "L'EUROPE". Elle fait suite aux 4 campagnes ESSHROV qui ont confirmé la viabilité technique du système HROV Ariane. Avec pour objectif de finaliser les fonctionnalités du HROV Ariane tels que la télémanipulations avec les outillages de prélèvement et l'appareil photo numérique. Mais également, de valider l'immersion maximale (2 500 m) ainsi que les capacités du HROV Ariane par faible fond et sur des fonds escarpés avec notamment le suivi des plongées à partir du poste scientifique, l'archivage et le traitement des données récoltées. (DOI, [10.17600/16012300](https://doi.org/10.17600/16012300))

Durant cette campagne, deux trajectoires de navigations du HROV Ariane ont été traitées : la trajectoire de navigation PL43_09 et trajectoire de navigation PL44_10 située au Nord-Est et au Sud-Ouest du banc respectivement (Fig. 1). Au cours de la plongée PL43_09, 1 225 photographies ont été capturées via la méthode d'acquisition automatique (acq) ainsi que 50 photographies capturées manuellement. De manière similaire, lors de la plongée PL44_10, 1 123 photographies ont été capturées par la méthode acq et 230 photographies ont été capturées manuellement. En parallèle 16 fichiers vidéos, comprenant les vidéos enregistrées avec la caméra principale et celle enregistrée avec la caméra scientifique, ont été enregistrés pour la plongée PL43_09 et pareillement pour la plongée PL44_10 ou un total de 23 fichiers vidéos chacun ont été enregistrés. Chaque fichier vidéo à une durée de 30 minutes chacun.

2.2.2 La Campagne d'essai océanographique TELEPRESENCE (Hors-stage)

La campagne TELEPRESENCE s'est déroulée sur 6 jours du du 01/12/2018 au 07/12/2018 à bord du navire océanographique "L'EUROPE". Elle aspirait à valider la pertinence du concept téléprésence à bord des

navires de la flotte océanographique française. Elle a permis à un plus grand nombre de scientifiques depuis la terre, souvent contraint au nombre de place disponible sur les navires, de suivre les plongées d'explorations sous-marines des engins télé-opérés. Cette campagne a également permis de partager une plongée complète du HROV Ariane en téléprésence sur le banc de la Nioulargue à l'ensemble des agents de l'Ifremer, le 03/12/2018 via l'intranet de l'Ifremer (DOI, [10.17600/18000850](https://doi.org/10.17600/18000850)).

Au cours de cette campagne, deux trajectoires de navigations du HROV Ariane ont été traitées : la trajectoire de navigation PL127_01 et la trajectoire de navigation PL128_02 située tout deux au Sud-Est du banc (Fig. 1). Un total de 508 photographies ont été capturées manuellement lors de la plongée PL127_01 et 240 photographies ont été capturées de la même méthode pour la plongée PL128_02. Simultanément, 19 fichiers vidéos, comprenant les vidéos enregistrées avec la caméra principale et celle enregistrée avec la caméra scientifique, ont été enregistrées pour la plongée PL127_01. De manière similaire que pour la plongée PL127_01, 17 fichiers vidéos ont été enregistrés pour la plongée PL128_02. Chaque fichier vidéo à une durée de 30 minutes chacun.

2.3 Identification des taxons

Les ensembles de données photographiques et fichiers vidéos des navigations lors des quatre plongées sur le banc de la Nioulargue revêtent une importance considérable dans le cadre de notre étude. L'analyse des images et vidéos récoltées par le HROV Ariane lors des campagnes CANHROV et TELEPRESENCE a permis d'établir une liste des espèces épibenthiques présentes sur le banc de la Nioulargue. L'utilisation de guide d'identification (Spongiaire de France (Le granché et al., 2018), Bryozoaires d'Europe (André et al., 2014), Guide des tuniciers de l'europe de l'Ouest (Bay-Nouailhat and Bay-Nouailhat, 2020)) complété avec les bases de données en libre d'accès [DORIS](https://doris.fr) (Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatiques) et [WoRMS](https://www.marinebiodiversity.org/) (World Register of Marine Species) ont servi d'outils à l'identification de ces espèces. L'intervention des biologistes marins et taxinomistes Jean Vacelet et Stéphane Sartoretto a joué un rôle crucial dans la confirmation et la suggestions d'identification de certaines espèces de Porifera et d'Anthozoa. Spécialiste des Porifera, Jean Vacelet à permis de suggérer la présence vraisemblable de *Axinella polyplodes*, *Axinella damicornis*, *Haliclona poecillastroides*, *Haliclona fulva*, *Haliclona (reniera) mediterranea*, *Hexadella racovitzai*, *Hexadella pruvoti*, *Pleraplysilla spinifera*, *Penares helleri* et la présence possible de *Haliclona magna*. Stéphane Sartoretto a quant à lui confirmé les identifications des espèces de *P. clavata*, *E. cavolini*, *Antipathella subpinnata*, *Dendrophyllia cornigera*, *Alcyonium coralloides*.

Cependant, en raison du volume de données et de la richesse du contenu des images, il est inévitable de recourir à l'utilisation d'outils informatiques pour faciliter le travail d'identification et d'analyse (Langenkämper et al., 2017). Dans le cadre d'un programme de recherche récent, des chercheurs de la faculté technologique de Bielefeld en Allemagne ont conçu une application web nommé BIIGLE 2.0 (<https://biigle.de/>) dans le but d'améliorer et de simplifier le processus d'annotation manuelle des contenus visuels. L'utilisation de l'outil BIIGLE 2.0 dans cette étude a permis l'annotation de toutes les espèces sur chaque photo pour les quatre plongées à partir d'une classification taxinomique propre à la zone, conçue au fur et à mesure des identifications taxinomiques. Dans le but de caractériser l'abondance et la diversité du banc de la Nioulargue, les images présentant une répétition de même espèce sur un même point de vue ou chevauchantes l'une par rapport aux autres n'ont pas été annotées.

2.4 Recensement des impacts anthropiques

Les données photographiques et des fichiers vidéos des quatre plongées ont également servi au recensement des impacts anthropiques visibles, présents sur le banc de la Nioulargue. Grâce à l'utilisation de BIIGLE 2.0, les impacts anthropiques observés ont été recensés. Les impacts anthropiques ont été divisés en trois catégories à savoir :

- (i) les déchets comprenant la céramique, les bouteilles en verre, les bouts (Rope), les filets fantômes, du métal, le lestage des filets (béton) et les déchets non identifiés,
- (ii) les interactions entre les déchets et la faune fixée dont l'installation d'organismes épibenthiques sur les déchets, l'emmêlement des déchets sur la faune érigée (gorgones) ainsi que les organismes détachés (Porifera et Cnidaria)

(iii) l'état (Nécrose, Mort, Parasitisme par *Alcyonium coralloides*) des deux espèces ingénieures *P. Clavata* et *E. cavolini*.

2.5 Reconstructions en 3 dimensions

Les données photographiques acquises automatiquement lors des plongées PL43_09 et PL44_10 par le HROV Ariane ont été traitées par le logiciel Matisse 2.0 (©Ifremer) afin de reconstruire des modèles 3D. De manière similaire, les plongées PL127_01 et PL128_02 ont également été traitées en décomposant les fichiers vidéo en image individuelles avant d'être recombinaées par le logiciel Matisse 2.0. La reconstruction tridimensionnelle des images et vidéos repose sur la technique du "Structure-from-Motion", qui exploite le chevauchement d'images successives pour reconstituer une représentation globale d'une scène (Arnaubec et al., 2015) (Fig.2). Au total, 7 modèles ont été produits.

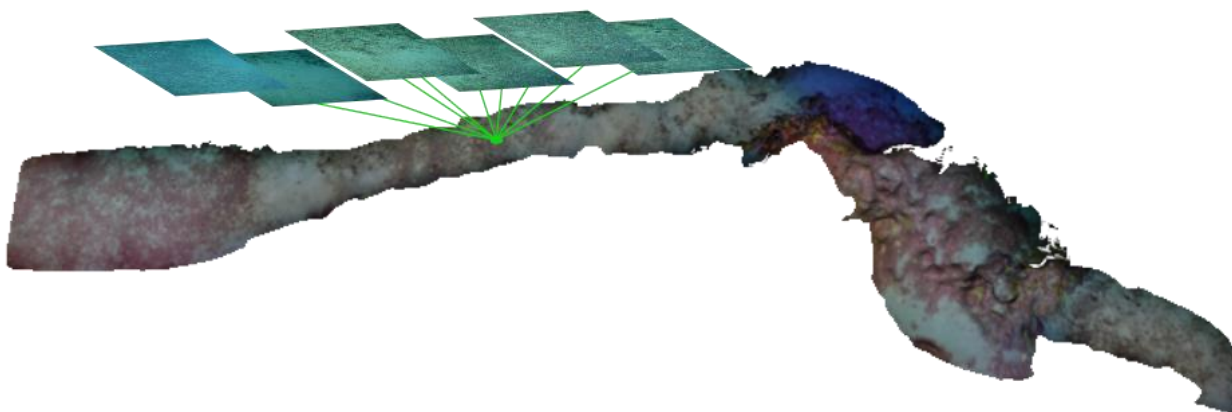


Figure 2. Principe de reconstruction des modèles 3D basés sur la technique du "Structure-from-Motion".

Grâce aux modèles 3D, il a été possible de déterminer la largeur de la fauchée des images capturées par Ariane lors des quatre plongées. Pour effectuer ces mesures, le logiciel 3DMetrics (©Ifremer) a été utilisé. La largeur moyenne des fauchées pour les plongées PL43_09 et PL44_10, a été mesurée à 4 m tandis que pour les plongées PL127_01 et PL128_02, elle a été estimée en moyenne à 5 m.

2.6 Cartographies

La première étape a consisté à extraire les annotations réalisées sur BIIGLE 2.0 pour les géoréférencer. Pour cela, les annotations ainsi que les données de navigation ont été converties en format shapefiles pour permettre une analyse SIG (ArcMap 10.7.1). Ensuite, l'utilisation de l'extension *Adelie* (©Ifremer) a permis la création de cartes de répartition d'espèces préalablement choisies. Seules deux espèces ingénieures indicatrices des EMV (*P. clavata* et *E. cavolini*) et les impacts anthropiques ont été cartographiées.

2.7 Densités et Diversité

Cette deuxième étape a consisté à calculer la densité des espèces sélectionnées à partir des annotations BIIGLE. Une zone tampon a été calculée autour des trajets de navigation, de 4 m ou 5 m de largeur selon la plongée. Puis cette zone tampon a été découpée en tronçons de 10 m de long de telle sorte que les plongées PL43_09 et PL44_10 ont été découpées en polygones de 40 m² et les plongées PL127_01 et PL128_02 en polygones 50 m². L'extension *AdelieObservation* (©Ifremer) a permis d'obtenir les abondances faunistiques par polygone. Le calcul de la densité a été réalisé en utilisant les données d'abondance et les surfaces de polygones.

Le nombre d'espèces par polygone a été utilisé pour cartographier et comparer la diversité spécifique par unité de 40 m² (PL43_09 et PL44_10) sur les sommets Est et Ouest du banc de la Nioulargue.

2.8 Analyses statistiques

La comparaison de la densité des deux espèces ingénieuses *P. Clavata* et *E. cavolini* au sein de chaque plongée a été réalisée sous R.4.2.2. Pour évaluer la normalité, il a été effectué un test de Shapiro-Wilk suivi d'une comparaison des moyennes des densités à l'aide du test de Mann-Whitney U.

La comparaison de la densité de chaque espèce entre les deux sommets Est et Ouest du banc de la Nioulargue a été soumise aux mêmes tests statistiques. Les histogrammes du pourcentage de populations des espèces ingénieuses dégradées ont été réalisé sous R.4.2.2 à l'aide de la fonction geombar (package ggplot).

3. Résultats

3.1 Identifications taxinomiques

Sur la totalité des plongées du banc de la Nioulargue analysées, 60 631 spécimens ont été recensés appartenant à 115 taxons différents (Annexe 1. Tab.1). Les groupes majoritaires comprennent les ascidies (*Ascidacea sp.1*, 6 860 spécimens, soit 11,31%; *Pycnoclavella sp.* 6 841 spécimens, soit 11,28%), les éponges (*Haliclona (Reniera) mediterranea*, 5 561 spécimens, soit 9,17%; *Porifera sp.*, 5 063 spécimens, soit 8,35%) et les cnidaires (*P. clavata*, 4 761 spécimens, soit 7,85%; *E. cavolini*, 4 364 spécimens, soit 7,18%). La figure 3 nous renseigne sur les abondances relatives des taxons majoritairement annotés au cours des quatre plongées.

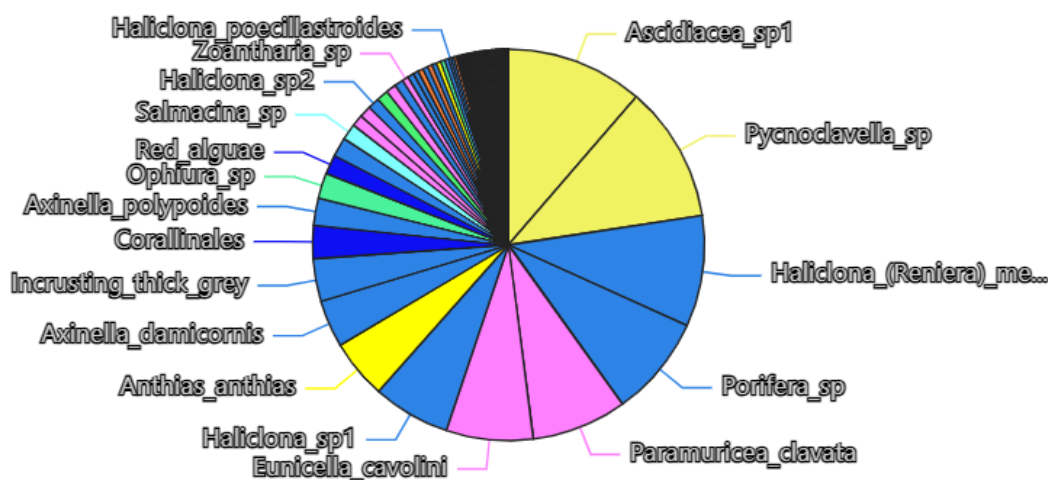
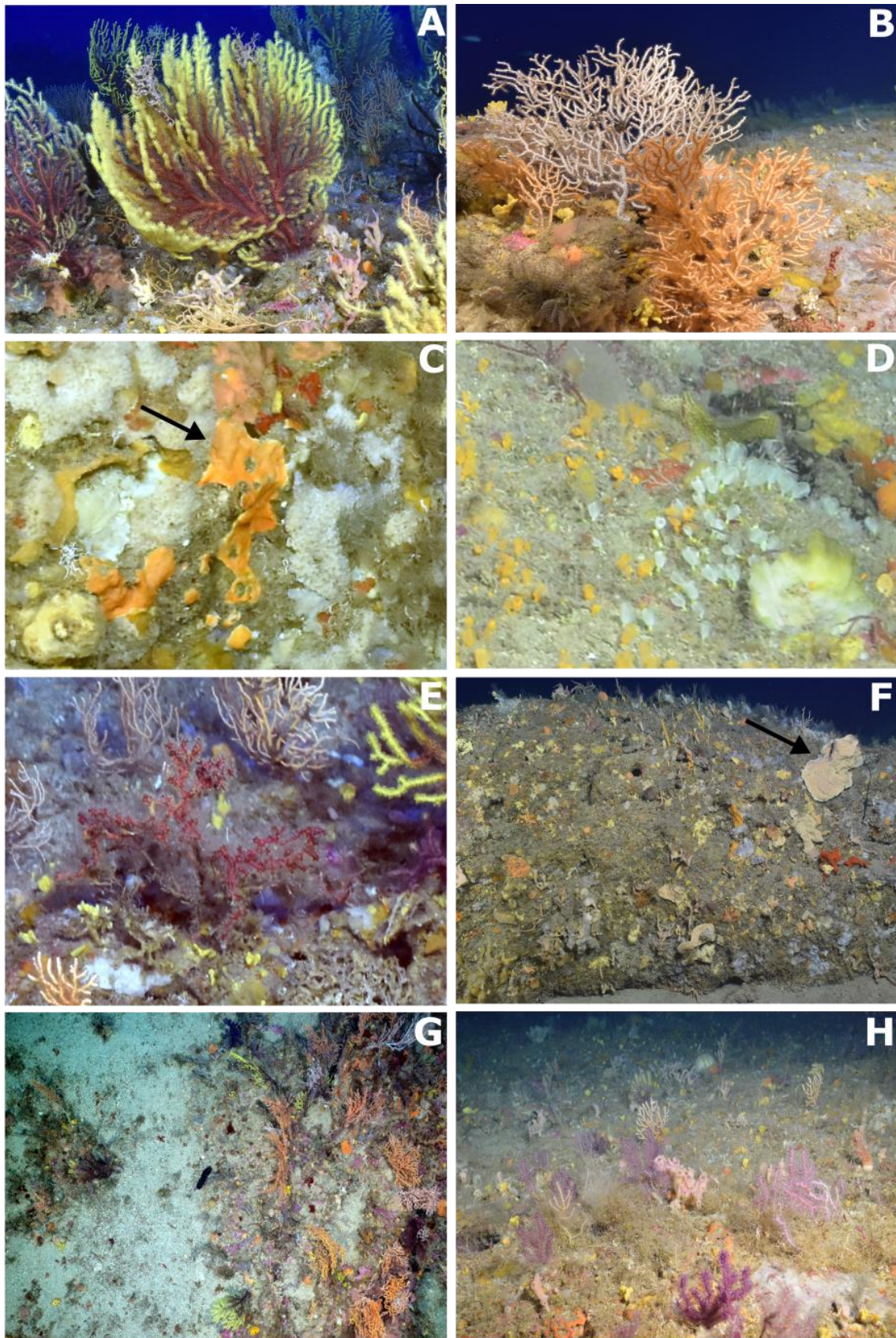


Figure 3. Compositions en espèces de l'ensemble du jeu annoté de BIIGLE.

La plongée PL43_09 présente 31 taxons différents pour 3 groupes majoritaires (*P. clavata*, *E. cavolini* et *Haliclona (Reniera) mediterranea*) et pour la plongée PL44_10, celle-ci en présente 56 pour 2 groupes majoritaires (*Pycnoclavella sp.* et *Porifera sp.*). Les plongées PL127_01 et PL128_02 révèlent quant à eux, respectivement la présence de 46 et 48 taxons différents, tous deux regroupés en 4 groupes majoritaires non identiques (PL127_01 : *Ascidacea sp.1*, *Pycnoclavella sp.*, *Porifera sp.* et *Haliclona (reniera) mediterranea*; PL128_02 : *Anthias Anthias*, *Haliclona sp.1*, *E. cavolini* et *P. clavata*). Seul la plongée PL43_09 est dominé par les Cnidaires (*P. clavata* et *E. cavolini*) qui représente 35% de l'abondance relatif de la plongée, suivie de *Haliclona (Reniera) mediterranea* (16,56 %). Les Ascidiacea ont été identifiées comme taxon dominant pour la plongée PL44_09 (44,01%) et la plongée PL127_01 (36,78%) suivis par *Porifera sp.* (17,1%) pour PL44_09 et par *Pycnoclavella sp.* (10,92 %) puis *Porifera sp.* (9,9%) pour PL127_01. La plongée PL128_02 présente une dominance par l'espèce *Anthias Anthias* pour une abondance relative à 13,65% suivies de *Haliclona sp.1* à 12,39% puis des Cnidaires (*P. clavata* et *E. cavolini*) à 18,2%. Il est également important de préciser la présence des espèces de *Dendrophyllia cornigera* (sur les quatre plongées), *Antipathella subpinnata* (uniquement sur PL43_09), *Corallium rubrum* (uniquement sur PL44_10) et *Antedon spp* (sur PL43_09, PL44_10 et PL127_01) sur le banc de la Nioulargue.



© photos illustration : Ifremer - HROV Ariane, (DGH) campagne CANHROV (2016); (ABCEF) campagne TELEPRESENCE (2018)

Figure 4. Photos capturées par le HROV Ariane sur les quatre plongées. Les espèces les plus abondantes y sont représentées. (A) *Paramuricea clavata*, (B) *Eunicella cavolini*, (C) *Asciacea sp.1*, (D) *Pycnoclavella sp.*, (E) *Alcyonium coralloides*, F-H : Exemples de paysages marins retrouvés sur les quatre plongées, (H) Roche sur laquelle une espèce *Haliclona poecillastroides* s'est développé, (G) Assemblage du coralligène (H) Substrat rocheux, au centre, *Haliclona (reniera) mediterranea*. Notez la présence de jeune individus de *P.clavata* (PL 44_10, Plateau Ouest).

3.1.1 Distribution de la diversité

Les diversités spécifiques au sein de chaque polygone ont permis une comparaison de la diversité entre les sommets Est et Ouest du banc de la Nioulargue. Cette approche a été adoptée dans le cadre du rapport pour garantir une comparaison appropriée des diversités entre les deux sommets étudiés. Cette distribution des diversités spécifiques par unités de 40 m² est représentée sur la figure 5.

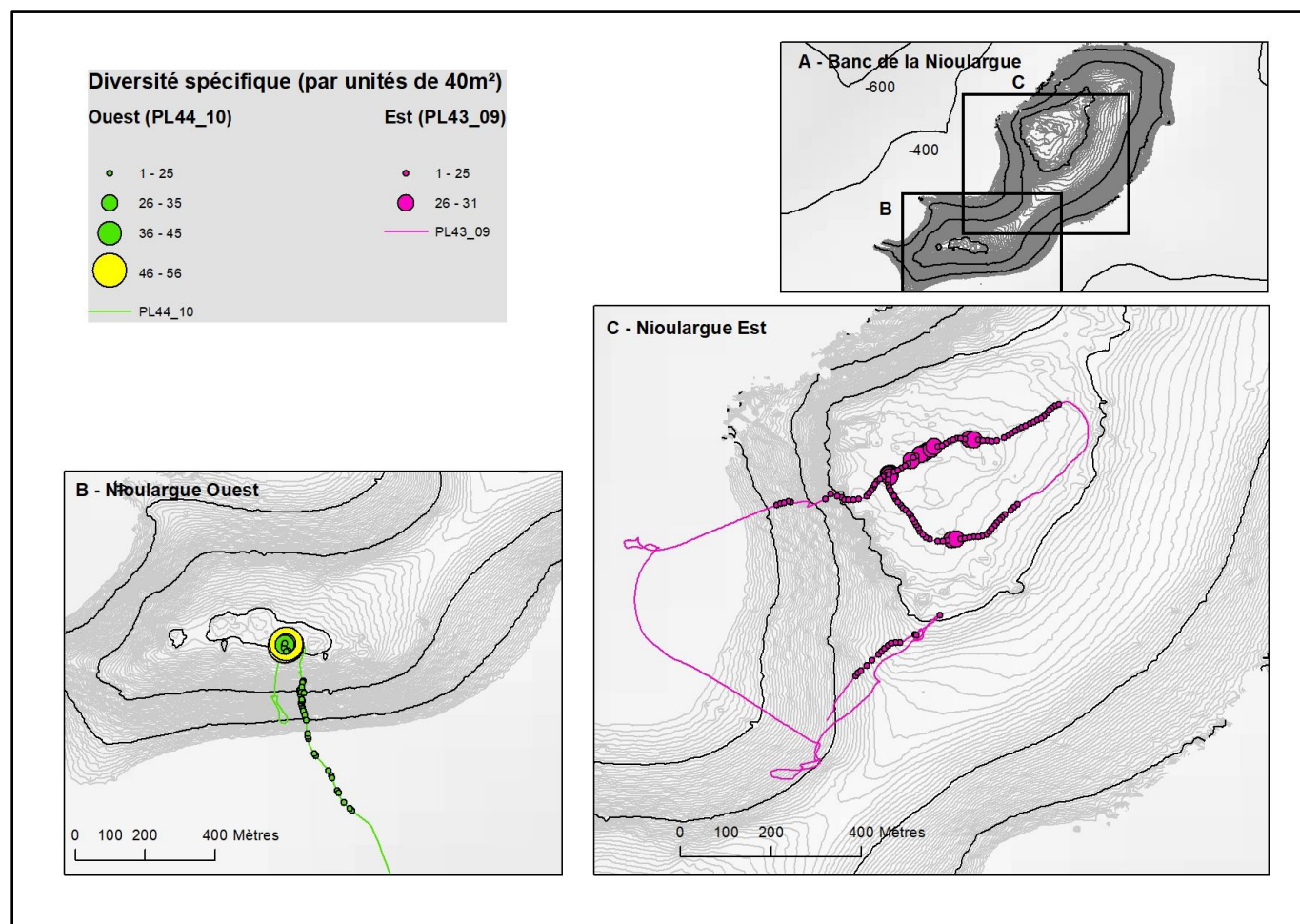


Figure 5. Distribution des diversités spécifiques par unités de 40 m² sur les sommets Est et Ouest du Banc de la Nioulargue. La classe de diversité la plus forte est représentée en jaune.

Le tableau 1 apporte des informations complémentaires sur le nombre de spécimens recensés au cours des plongées PL43_09 et PL44_10. Il a été recensé un nombre de spécimen supérieur pour la plongée PL43_09 (15 085) que pour la plongée PL44_10 (7 902).

Tableau 1. Nombre de spécimens recensés au cours des plongées PL43_09 et PL44_10

Plongée	Spécimens recensés
PL43_09 - Est	15 085
PL44_10 - Ouest	7 902

La partie Ouest du banc montre une concentration de la répartition des taxons sur le sommet du plateau (Fig.5B). La classe de diversité la plus forte pour ce sommet est comprise entre 46 et 56 taxons par unité de 40 m². Pour la partie Est du banc, la classe de diversité la plus forte est comprise seulement entre 26 et

31 taxons par unités de 40 m² (Fig.5C). Le sommet Est montre une répartition des taxons avec 11 polygones de grandes diversités qui sont majoritairement localisés au Nord du plateau.

3.2 Densité des espèces ingénieuses

3.2.1 Distribution des densités

Les distributions des densités des deux espèces ingénieuses (*P. clavata* et *E. cavolini*) sont représentées sur les figures 6 et 7. La figure 6 illustre la distribution des densités de la population de *P.clavata* sur les sommets Est et Ouest du banc de la Nioulargue. Le plateau Est du banc montre des fortes densités au Nord avec des valeurs comprises entre 4 à 6,8 individus par m² (densité maximum 6,37 indiv/m²) dans 9 polygones situés sur les hauteurs du plateau (Fig.6C). Les polygones de moyennes densités (2 et 4 individus par m²) sont majoritairement situées à proximité des polygones de forte densité mentionnées ci-dessus (Fig.6C). En ce qui concerne la partie Ouest du banc, toute la population de *P.clavata* est observée sur une zone spécifique du plateau, point le plus haut du plateau (densité maximum 6,87 indiv/m²)(Fig.6B).

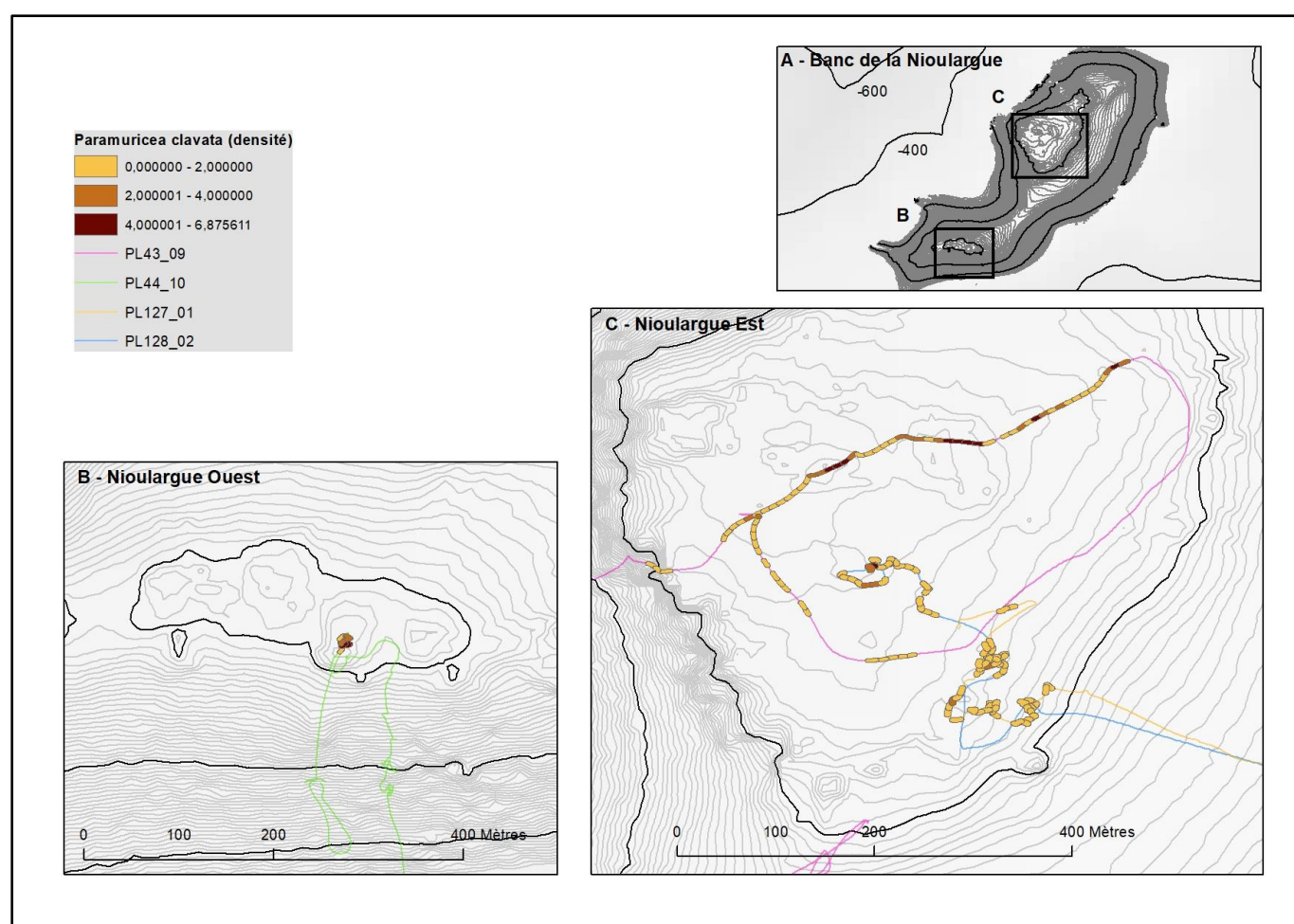


Figure 6. Distribution de la densité de *Paramuricea clavata* observée au cours des quatre plongées sur banc de la Nioulargue.

La Figure 7 représente la distribution de la densité de population d'*E. cavolini* sur les sommets Est et Ouest du banc de la Nioulargue. Sur la partie du plateau Est du banc, des fortes densités ont été observées au Nord, avec des valeurs comprises entre 4 et 6,3 individus par m² (densité maximum 6,35 indiv/m²) dont 4 polygones situés sur les hauteurs du plateau (Fig.7C). Les polygones de moyennes densités (3 et 4 individus par m²) sont majoritairement situées au Sud du plateau (Fig.7C). Quant à la partie Ouest du banc, toute la population de *E.cavolini* est observée sur une zone spécifique du plateau, point le plus haut du plateau (densité maximum 1,38 indiv/m²)(Fig.7B).

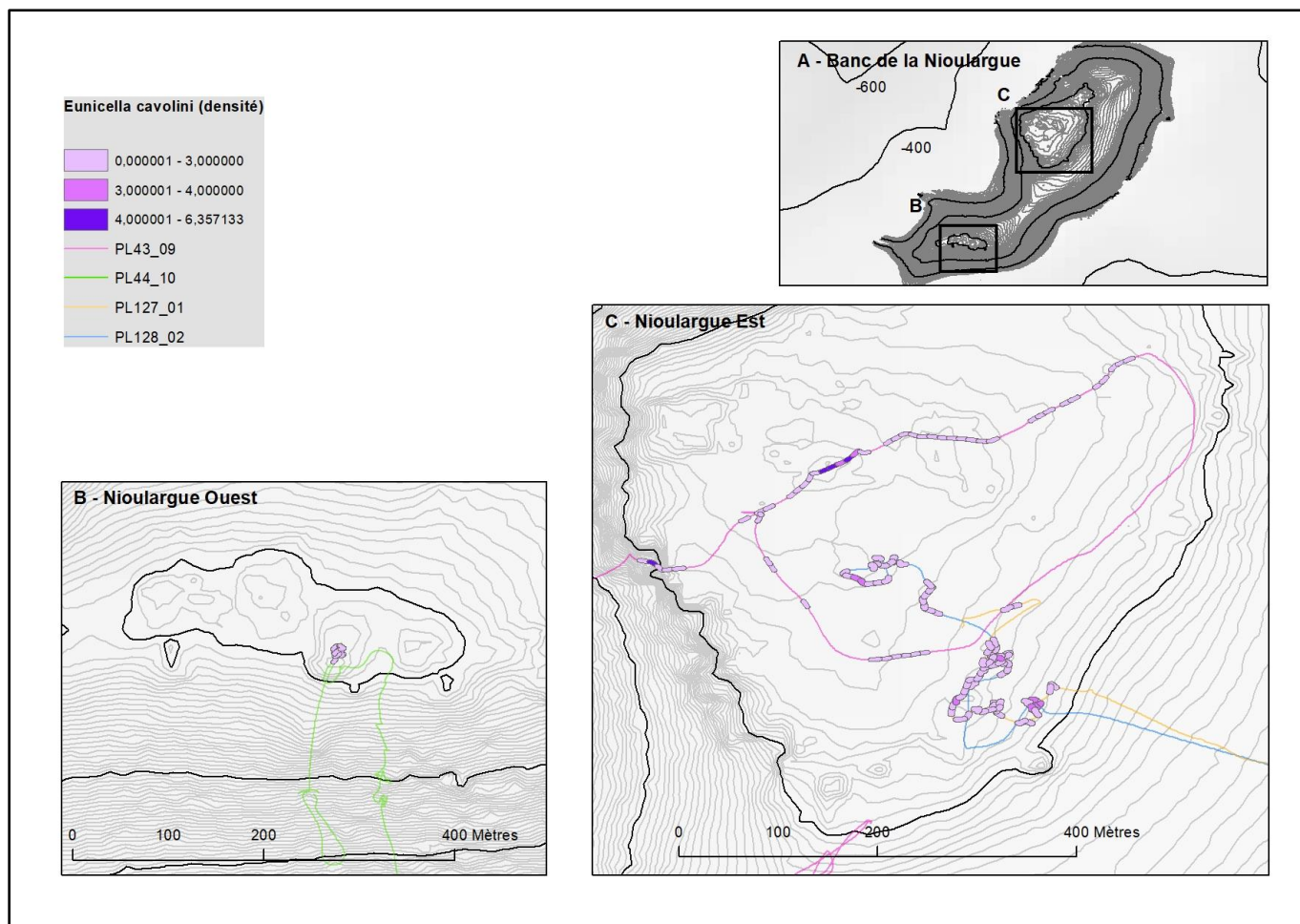


Figure 7. Distribution de la densité de *Eunicella cavolini* observée au cours des quatre plongées sur banc de la Nioulargue.

3.2.2 Comparaison des densités

La comparaison de la densité de *P.clavata* et de *E.cavolini* sur le plateau Ouest (PL44_09) ne présente aucune différence significative (wilcoxon.test, p-value = 0,79).

La comparaison de la densité de *P.clavata* et de *E.cavolini* sur le plateau Est (PL43_09) ne présente aucune différence significative (wilcoxon.test, p-value = 0,055).

Dans les deux cas, on ne peut pas conclure qu'il y ait une différence significative de densité entre les deux espèces dans chaque plongée. Les deux sommets présentent des conditions propices identiques à l'installation de ces deux espèces.

3.3 Impacts anthropiques

3.3.1 Distribution des impacts anthropiques et des interactions avec la faune

Dans le but d'évaluer la présence des impacts anthropiques et de leurs interactions avec la faune épibenthique, une cartographie de leurs distributions a été réalisée sur la partie Est et Ouest du banc de la Nioulargue (Fig.8).

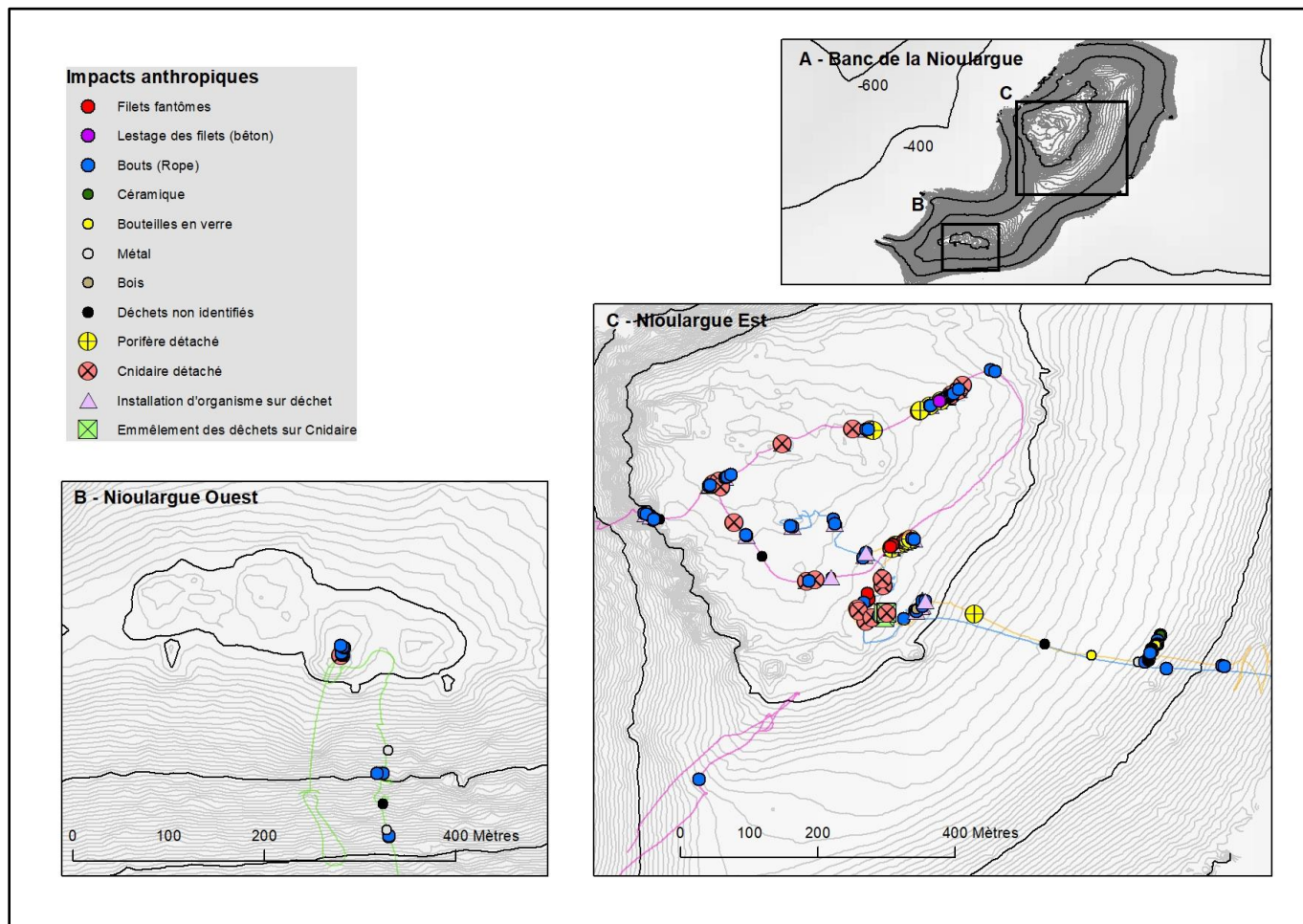


Figure 8. Distribution des impacts anthropiques et des interactions avec la faune observés au cours des quatre plongées sur le banc de la Nioulargue.

Les observations indiquent que sur le plateau Est, la présence de déchets liés à la pêche est majoritairement plus élevée que celle des déchets non liés à la pêche (Fig.8B). Cette observation est plus prononcée sur la partie Nord du plateau Est, où l'accumulation de cordages abandonnés et de lestage de filets prédomine (Fig.8B). La partie Sud du plateau Est est quant à elle principalement impactée par la présence de filets fantômes mais aussi par une présence de cordages abandonnés qui reste néanmoins bien moins importante que sur la partie Nord (Fig.8B). La pente Sud du plateau Est se distingue par la présence de déchets non liés à la pêche, comprenant des bouteilles en verre, de la céramique, des déchets métalliques et des déchets organiques (bois) (Fig.8B). En ce qui concerne le plateau Ouest du banc, les observations indiquent la présence exclusive de cordages abandonnés, jusque dans la pente Sud du plateau où des déchets métalliques sont également présents (Fig.8C). Les interactions des déchets avec la faune érigée sont majoritairement localisées sur le plateau Est à proximité de cordages abandonnés et de filets fantômes.

La Figure 9 illustre la présence relative des déchets liés à la pêche et des déchets non liés à la pêche sur les plateaux Est et Ouest du banc, ainsi que sur leur pente respective. Les deux parties du plateau, Est et Ouest du banc, sont fortement impactées par des déchets liés à la pêche, représentant respectivement 91% et 100% de la composition des déchets observés. Cela souligne l'ampleur de l'impact de l'activité de pêche sur les deux plateaux. En outre, les déchets non liés à la pêche, tels que la céramique et les bouteilles en verre, sont plus abondants au niveau de la pente des deux plateaux, constituant environ 38% de la composition des déchets sur la pente du plateau Est et 36% sur la pente du plateau Ouest.

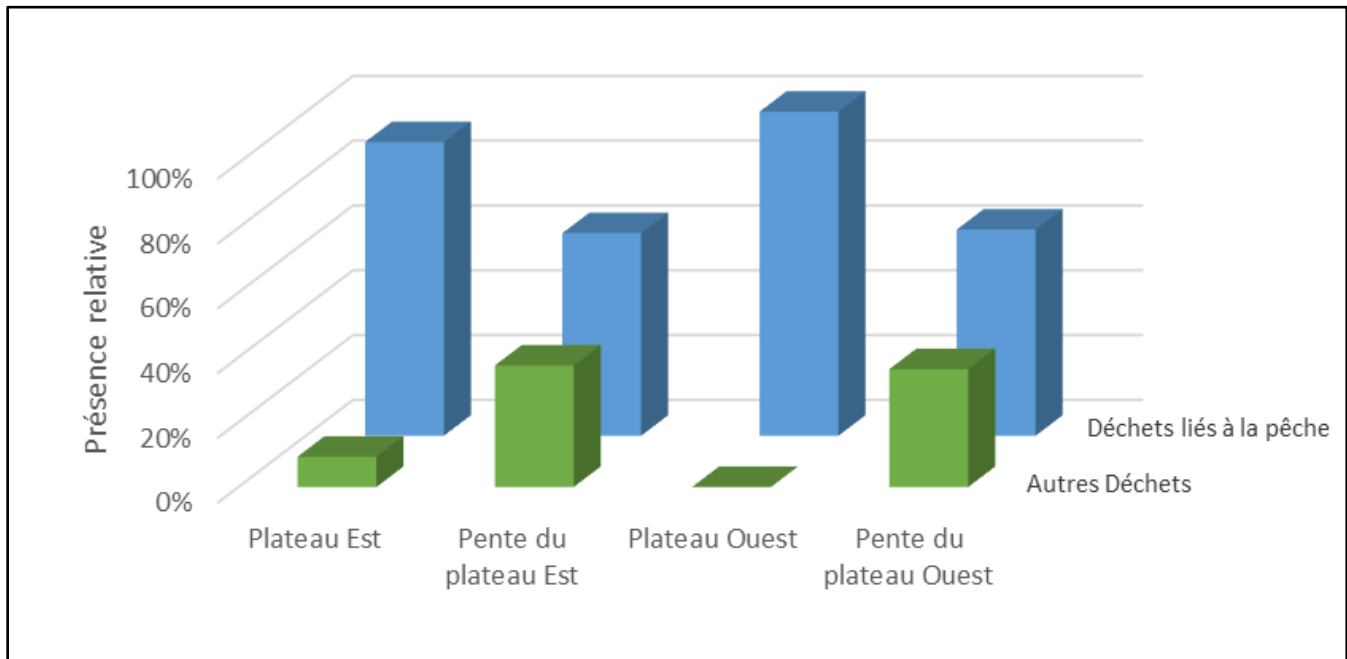


Figure 9. Présence relative des déchets liés à la pêche et des déchets non liés à la pêche sur les plateaux Est et Ouest du banc de la Nioulargue ainsi que sur leurs pentes respectives.

3.3.2 Etat des populations d'espèces ingénieuses

L'état de dégradation des populations de *P. clavata* et de *E. cavolini*, recensé au cours des quatre plongées a été représenté en pourcentage de colonies pour chaque état, "Mort", "Nécrosé", "Parasité par *Alcyonium coralloides*" (Fig.10). Les résultats obtenus pour les populations de *P.clavata* et *E.cavolini* ont révélé des pourcentages variables, que ce soit au sein d'une même population ou entre les deux populations de cnidaires. La population de *P.clavata* de la plongée PL43_09 (plateau Est) a montré un pourcentage de parasitisme par l'*A. coralloides* (2,5%) supérieur aux autres plongées, pour lesquelles les pourcentages restent inférieur à 1% (Fig.10A), alors que le pourcentage de nécrose observé au cours de cette plongée PL43_09 (0,58%) est inférieur à celui des plongées PL127_01 et PL44_10 qui ont enregistré respectivement des pourcentages de nécrose à 2,14% et 1,35% (Fig.10A). La plongée PL128_02 a quant à elle montré un pourcentage de nécrose inférieur aux autres plongées (0,35%). Seules les colonies de *P. clavata* des plongées PL127_01 et PL43_09 ont montré un pourcentage de mortalité, qui reste cependant inférieur à 1% (Fig.10A).

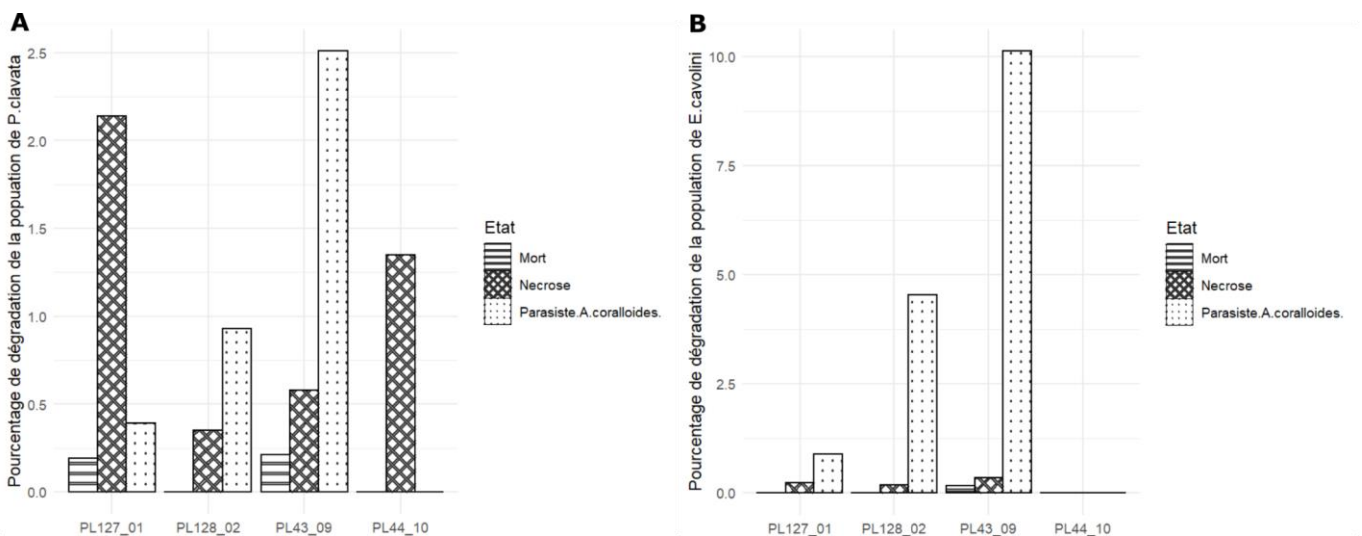


Figure 10. (A) Histogrammes du pourcentage de population de *P.clavata* dégradées; (B) histogrammes du pourcentage de population de *E.cavolini* dégradées.

Pour les colonies de *E.cavolini*, les résultats obtenus ont montré que 10% de la population présente à la plongée PL43_09 (plateau Est) est parasité par *A. coralloides*, suivie par la population de la plongée PL128_02, où le pourcentage de parasitisme s'élève à 4,53% (Fig.10B). Le pourcentage de mortalité et de nécrose pour les colonies de *E.cavolini* présentes aux plongées PL127_01, PL128_02 et PL43_09, est resté inférieur à 1% (Fig.10B). Une observation notable concerne la population de *E.cavolini* présente lors de la plongée PL44_10 (plateau Ouest), qui se distingue par l'absence de tout signe de dégradation (Fig.10B). En outre, ces résultats permettent notamment de mettre en évidence des différences entre les populations de *P.clavata* et *E.cavolini*. La population de *E.cavolini* montre un pourcentage de parasitisme par *A.coralloides* nettement supérieur à celle de *P.clavata*, alors que cette dernière semble être plus touchée par la nécrose et la mortalité. Pour les populations des deux espèces étudiées, la plongée PL43_09 (plateau Est) enregistre des pourcentages supérieurs de parasitismes par *A.coralloides*.

4. Discussion

Un travail de recensement taxinomique a été mené dans le cadre de cette étude sur les espèces épibenthiques du banc de la Nioulargue à partir d'images et de vidéos obtenues par le HROV Ariane. Sur les 115 espèces identifiées, un certain nombre d'espèces notamment celles appartenant au phylum des Porifera n'ont pas pu être identifiées. En dépit des progrès réalisés dans le développement des techniques d'exploration des écosystèmes marins profonds, les prélèvements sur substrat dur demeurent difficiles voire dans certains cas impossibles (Pedel and Fabri, 2011). Les campagnes d'essais CANHROV (2016) et TELEPRESENCE (2018) n'ont pas permis d'effectuer de prélèvements, ce qui a conduit à réaliser le travail de recensement taxinomique exclusivement à partir d'images et de vidéos. En l'absence de prélèvements, les espèces difficilement reconnaissables au niveau de l'espèce sur les images ont été rapportées à un niveau taxinomique supérieur, tandis que d'autres (les Porifera) ont été décrites en se basant sur des caractères morphométriques tels que la forme, la couleur et la taille. Il convient donc de souligner que cette liste d'espèces établie est très probablement incomplète et d'autres campagnes d'exploration de la zone permettront de la compléter et de la préciser.

Les observations ont permis de caractériser l'assemblage épibenthique du banc de la Nioulargue, révélant une prédominance de trois principaux groupes: les Ascidiées dominant la zone, suivies par les Porifera, puis les Cnidaires. Une zone remarquable est située dans la partie Nord du plateau Est du banc où deux populations de Cnidaires (*P. clavata* et *E. cavolini*) sont présentes en forte densité (6,37 et 6,35 colonies/m² respectivement). Cette distribution peut être attribuée en partie à l'influence du courant Ligure (ou courant géostrophique méditerranéen) qui circule d'Est en Ouest. Les travaux de Orsini (1978) mettent en évidence une augmentation de la vitesse et de la turbulence du courant aux abords de la presqu'île de Saint Tropez dont la conséquence proviendrait de l'agencement géomorphologique de la zone (Orsolini, 1978). Cette circulation favorise l'apport en nutriments et en particules organiques, créant ainsi des conditions environnementales propices aux développements de peuplements riches et diversifiées. Deux études d'observation ont été menées précédemment en 2004 et 2015 sur le banc de la Nioulargue (Fourt et al., 2015; SAFEGE CETIIS, 2004) présentes des résultats similaires rapportant des zones de fortes densités dans la partie Nord-Est du banc. Le banc de la Nioulargue présente également une remarquable diversité d'espèces épibenthiques tant au niveau des substrats rocheux (assemblage d'espèces avec dominance par les Cnidaires) qu'au niveau des substrats détritiques (dominé par les Porifera) (Fourt et al., 2015a). Les résultats obtenus mettent en évidence une diversité spécifique élevée sur le sommet du plateau Ouest (56 taxons par unité de 40 m²) par rapport au sommet du plateau Est (31 taxons par unité de 40 m²). Les facteurs géomorphologiques et hydrologiques dont la direction du courant, l'orientation du banc et l'augmentation de la vitesse et de la turbulence du courant dans la zone pourraient fournir des éléments explicatifs. La face Nord-Est du banc, étant plus exposée au courant Ligure, cela pourrait expliquer la présence des espèces structurantes en plus forte densité, favorisant ainsi la présence de diverses espèces associées. Des études complémentaires sur ce sujet pourront alors préciser cette hypothèse. Par ailleurs, la présence notable de 14 espèces considérées comme indicatrices d'un écosystème marin vulnérable (Annexe 1.table 1) confère à ce banc un statut de zone clé de biodiversité benthique.

Le banc de la Nioulargue est soumis à une forte pression anthropique, marqué par la présence de nombreux engins de pêche de fonds tels que les filets maillants et les palangres qui sont en majeure partie

liés à l'activité de pêche professionnelle locale. Il est envisageable que certains filets fantômes ou cordages abandonnés aient pu dériver sur le banc par le biais du courant ligure. De manière similaire, les déchets non liés à la pêche retrouvés de façon prédominante sur les pentes Sud des deux plateaux pourraient avoir été transportés par ce même courant. L'observation de 5 espèces d'intérêts commerciales (*Helicolenus dactylopterus*, *Palinurus mauritanicus*, *Seriola dumerili*, *Scyliorhinus sp* et *Spicara smaris* (Annexe 2.Fig1)) sur la zone du banc permet de mieux comprendre la présence de cette pression anthropique. Les résultats obtenus ont permis de montrer que les deux plateaux, Est et Ouest, du banc sont fortement impactés par des déchets liés à la pêche, notamment la partie Est sur laquelle un pourcentage nettement supérieur a été recensé. Ces observations ont également été rapportées dans les études menées précédemment (Fourt et al., 2015; SAFEGE CETIIS, 2004). L'impact mécanique des activités de pêche induisent à répétition une réduction de la diversité des habitats et par conséquent réduisent l'abondance de la faune associées (Blanchard et al., 2004; Althaus et al., 2009). Cette indication pourrait fournir une nouvelle piste d'étude pour mieux comprendre la différence de diversité entre le plateau Est et Ouest du banc. L'abrasion de ces habitats modifient également toute la structure et le fonctionnement des écosystèmes profonds en favorisant notamment l'établissement d'espèces opportunistes à croissance rapide au profit des espèces caractéristiques et associées de l'écosystème (Daskalov et al., 2007; Gilman et al., 2012; Clark and Koslow, 2007). Les filets de pêches ont un impact qui ne se limite pas seulement à la durée de leur utilisation (Brown and Macfadyen, 2007; Laist, 1995). De nombreux filets fantômes endommagent et enchevêtrent les organismes érigés lorsqu'ils dérivent sur les fonds marins (Matsuoka et al., 2005; Brown and Macfadyen, 2007). Les interactions des déchets avec la faune érigée sont majoritairement localisées sur le plateau Est à proximité de cordages abandonnés et de filets fantômes. Les gorgones *P.clavata* et *E. cavolini*, présentes sur le banc de la Nioulargue, sont les espèces les plus touchées par cette pression anthropique, car se sont des espèces fragiles face à l'abrasion (Iborra et al., 2022). Les lignes de pêche provoquent des lésions au collenchyme de la gorgone, ce qui favorise le développement d'organismes épibiontes (Bavestrello et al., 1997). Les résultats obtenus ont permis de montrer que les populations des deux Cnidaires (*P. clavata* et *E. cavolini*) situées sur la partie Nord-Est du plateau étaient plus touchées par le parasite *A. coralloides*, et que la population d'*E.cavolini* présente un pourcentage de parasitisme plus élevé que *P.clavata* (10% et 2,5% respectivement). La population de *P.clavata* est quant-à elle plus touchée par la nécrose notamment sur la partie Sud du plateau Est. L'état des populations de *P.clavata* et *E.cavolini* présentes sur le plateau Ouest montre que seule la population de *P.clavata* est touchée par la nécrose, la population de *E.cavolini* ne présente aucun signe de dégradation. Il est important de noter que ce raisonnement s'applique en termes de proportion du nombre de colonies impactées et non pas en termes de surface de colonies impactées. Si l'on regarde les surfaces de colonies impactées, alors on s'aperçoit que les populations de *P.clavata* et *E.cavolini* présentes sur la partie Nord du plateau Est possèdent des surfaces de nécrose et de parasitisme nettement supérieures à celles observées ailleurs. Les résultats des études antérieures confirment également cette tendance (Fourt et al., 2015; SAFEGE CETIIS, 2004). Durant cette étude, une attention particulière doit être accordée au sommet du plateau Ouest, où de jeunes individus de *P. clavata* ont été observés (Fig.4H). Il est pensable qu'un arrêt de pression anthropique sur ce sommet favorise le repeuplement de la zone.

5. Conclusion

L'analyse de la distribution des diversités spécifiques présentes sur les plongées des campagnes d'essais CANHROV (2016) et TELEPRESENCE (2018) a permis de mettre en évidence une riche diversité d'espèces épibenthiques sur les plateaux Est et Ouest du banc de la Nioulargue. Une attention particulière a été portée sur deux espèces de Cnidaires : *P. clavata* et *E. cavolini* considérées comme des espèces indicatrices d'Ecosystème Marin Vulnérable (EMV). Les deux plateaux offrent des conditions favorables à l'installation de ces deux espèces, avec des densités d'individus par m² plus élevées sur la partie Nord du plateau Est. Cette distribution peut être expliquée par l'influence du courant ligure Nord qui est très présent sur la zone. En parallèle, il a été montré que le banc de la Nioulargue subissait de fortes pressions anthropiques notamment liées à la pêche professionnelle où un nombre important de cordages abandonnés et de filets fantômes ont été majoritairement observés sur le plateau Est. D'autres déchets non liés à la pêche ont été retrouvés en grande partie au niveau des pentes Sud des deux plateaux. Les interactions des déchets avec la faune érigée (Cnidaires et Porifera) ont également été recensées et réparties en trois catégories :

l'installation d'organismes épibenthiques sur les déchets, l'emmêlement des déchets sur la faune érigée (gorgones) ainsi que les organismes détachés (Porifera et Cnidaria). Ces interactions ont principalement été observées sur le plateau Est, à proximité des déchets associés à l'activité de pêche. L'état des populations des deux espèces de Cnidaires (*P.clavata* et *E.cavolini*) a été évalué, révélant un état de dégradation plus prononcé au niveau de la partie Nord-Est du banc.

Des analyses écologiques approfondies pourraient être réalisées, afin de mieux expliquer les variations de la composition faunistique en fonction de la typologie des habitats présents sur le banc et de mieux quantifier la richesse spécifique.

Il serait également pertinent de mener des études complémentaires pour évaluer les impacts directs de la pêche sur les espèces structurantes de la zone. Cela pourrait impliquer de mettre en évidence des corrélations entre la présence d'engins de pêche de fonds et la dégradation des populations de Cnidaires (*P. clavata* et *E. cavolini*). En outre, la comparaison des deux plateaux en termes de populations de Cnidaires (*P.clavata* et *E.cavolini*) ne permet pas d'établir des comparaisons significatives en raison du fait que le plateau Ouest n'a été exploré que lors d'une seule plongée. De futures campagnes d'exploration du sommet Ouest seront nécessaires pour collecter des données supplémentaires afin de comparer de manière plus précise l'assemblage épibenthique des deux plateaux rocheux du banc.

Cette étude met en évidence l'importance de l'exploration des écosystèmes marins vulnérables et de la compréhension de leurs habitats pour la conservation de la biodiversité. Elle souligne également la nécessité de prendre en compte l'influence des pressions anthropiques dans la gestion et la protection de ces écosystèmes fragiles.

6. Références

Althaus, F., Williams, A. M., Schlacher, T. A., Kloser, R. J., Green, M., Barker, B., Bax, N. J., Brodie, P., & Schlacher-Hoenlinger, M. A. (2009). Impacts of bottom trawling on deep-coral ecosystems of seamounts are long-lasting. *Marine Ecology Progress Series*, 397, 279-294. <https://doi.org/10.3354/meps08248>

- Arnaubec, A., Opderbecke, J., Allais, A., & Brignone, L. (2015). *Optical mapping with the ARIANE HROV at IFREMER : The MATISSE processing tool*. <https://doi.org/10.1109/oceans-genova.2015.7271713>
- Augier, H. (2007). *Guide des fonds marins de Méditerranée : écologie, flore, faune, plongées*.
- Baillon, S., Hamel, J., Wareham, V. E., & Mercier, A. (2012). Deep cold-water corals as nurseries for fish larvae. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(7), 351-356. <https://doi.org/10.1890/120022>
- Ballesteros, E. (2006). MEDITERRANEAN CORALLIGENOUS ASSEMBLAGES : A SYNTHESIS OF PRESENT KNOWLEDGE. Dans *CRC Press eBooks* (p. 135-208). <https://doi.org/10.1201/9781420006391-7>
- Bavestrello, G., Cerrano, C., Zanzi, D., & Cattaneo-Vietti, R. (1997). Damage by fishing activities to the Gorgonian coral *Paramuricea clavata* in the Ligurian Sea. *Aquatic Conservation-marine and Freshwater Ecosystems*, 7(3), 253-262. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-0755\(199709\)7:3](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-0755(199709)7:3)
- Bay-Nouailhat, A., & Bay-Nouailhat, W. (2020). *Guide des Tuniciers de l'Europe de l'Ouest*. M&L éditions.
- Bertoncini, Á. A., Machado, L. D., Barreiros, J. P., Hostim-Silva, M., & Verani, J. R. (2009). Cleaning activity among Labridae in the Azores : the rainbow wrasse *Coris julis* and the Azorean blue wrasse *Centrolabrus caeruleus*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89(4), 859-861. <https://doi.org/10.1017/s002531540900040x>
- Bianchi, C. L., & Morri, C. (2000). Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea : Situation, Problems and Prospects for Future Research. *Marine Pollution Bulletin*, 40(5), 367-376. [https://doi.org/10.1016/s0025-326x\(00\)00027-8](https://doi.org/10.1016/s0025-326x(00)00027-8)
- Blanchard, F., LeLoc'h, F., Hily, C., & Boucher, J. P. (2004). Fishing effects on diversity, size and community structure of the benthic invertebrate and fish megafauna on the Bay of Biscay coast of France. *Marine Ecology Progress Series*, 280, 249-260. <https://doi.org/10.3354/meps280249>
- Bo, M., Bava, S., Canese, S., Angiolillo, M., Cattaneo-Vietti, R., & Bavestrello, G. (2014a). Fishing impact on deep Mediterranean rocky habitats as revealed by ROV investigation. *Biological Conservation*, 171, 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.01.011>
- Bo, M., Bertolino, M., Bavestrello, G., Canese, S., Giusti, M., Angiolillo, M., Pansini, M., & Taviani, M. (2012a). Role of deep sponge grounds in the Mediterranean Sea : a case study in southern Italy. *Hydrobiologia*, 687(1), 163-177. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0964-1>
- Bo, M., Canese, S., Spaggiari, C., Pusceddu, A., Bertolino, M., Angiolillo, M., Giusti, M., Loreto, M. F., Salvati, E., Greco, S., & Bavestrello, G. (2012b). Deep Coral Oases in the South Tyrrhenian Sea. *PLOS ONE*, 7(11), e49870. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049870>
- Bo, M., Cerrano, C., Canese, S., Salvati, E., Angiolillo, M., Santangelo, G., & Bavestrello, G. (2014b). The coral assemblages of an off-shore deep Mediterranean rocky bank (NW Sicily, Italy). *Marine Ecology*, 35(3), 332-342. <https://doi.org/10.1111/maec.12089>
- Boehlert, G. W., & Genin, A. (2013). A Review of the Effects of Seamounts on Biological Processes. Dans *American Geophysical Union eBooks* (p. 319-334). <https://doi.org/10.1029/gm043p0319>
- Brown, J. H., & Macfadyen, G. (2007). Ghost fishing in European waters : Impacts and management responses. *Marine Policy*, 31(4), 488-504. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2006.10.007>
- Bryozoaires d'Europe*. (2014).
- Cau, A., Follesa, M. C., Moccia, D., Alvito, A., Bo, M., Angiolillo, M., Canese, S., Paliaga, E. M., Orrù, P. E., Sacco, F., & Cannas, R. (2015). Deepwater corals biodiversity along roche du large ecosystems with different habitat complexity along the south Sardinia continental margin (CW Mediterranean Sea). *Marine Biology*, 162(9), 1865-1878. <https://doi.org/10.1007/s00227-015-2718-5>

Cerrano, C., Danovaro, R., Gambi, C., Pusceddu, A., Riva, A., & Oliverio, M. (2010). Gold coral (*Savalia savaglia*) and gorgonian forests enhance benthic biodiversity and ecosystem functioning in the mesophotic zone. *Biodiversity and Conservation*, 19(1), 153-167. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9712-5>

Clark, M. R., & Koslow, J. A. (2008). Impacts of Fisheries on Seamounts. Dans *Blackwell Publishing Ltd eBooks* (p. 413-441). <https://doi.org/10.1002/9780470691953.ch19>

Danovaro, R., Corinaldesi, C., D'Onghia, G., Galil, B. S., Gambi, C., Gooday, A. J., Lampadariou, N., Luna, G. M., Morigi, C., Olu, K., Polymenakou, P. N., Ramirez-Llodra, E., Sabbatini, A., Sardà, F., Sibuet, M., & Tselepides, 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>

Daskalov, G., Grishin, A. M., Rodionov, S. N., & Mihneva, V. (2007). Trophic cascades triggered by overfishing reveal possible mechanisms of ecosystem regime shifts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(25), 10518-10523. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701100104>

Dauvin, J., Bellan, G., & Bellan-Santini, D. (2008). The need for clear and comparable terminology in benthic ecology. Part I. Ecological concepts. *Aquatic Conservation-marine and Freshwater Ecosystems*, 18(4), 432-445. <https://doi.org/10.1002/aqc.865>

Dauvin, J., Bellan, G., & Bellan-Santini, D. (2010). Benthic indicators : From subjectivity to objectivity – Where is the line ? *Marine Pollution Bulletin*, 60(7), 947-953. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.03.028>

Enrichetti, F., Dominguez-Carrió, C., Toma, M., Bavestrello, G., Betti, F., Canese, S., & Bo, M. (2019). Megabenthic communities of the Ligurian deep continental shelf and shelf break (NW Mediterranean Sea). *PLOS ONE*, 14(10), e0223949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223949>

Fourt, M., Goujard, A., Canese, S., Salvati, E., Tunesi, L., Daniel, B., & Vissio, A. (2015). *Rapport de la campagne océanographique « RAMOGE Exploration canyons et roches profondes 2015 »* .

Gabert, P., 1964. La topographie sous-marine de la Méditerranée. *Méditerranée* 5, 266–270.

Gilman, E., Chaloupka, M., Read, A. F., Dalzell, P., Holetschek, J., & Curtice, C. (2012). Hawaii longline tuna fishery temporal trends in standardized catch rates and length distributions and effects on pelagic and seamount ecosystems. *Aquatic Conservation-marine and Freshwater Ecosystems*, 22(4), 446-488. <https://doi.org/10.1002/aqc.2237>

Iborra, L., Leduc, M., Fullgrabe, L., Cuny, P., & Gobert, S. (2022). Temporal trends of two iconic Mediterranean gorgonians (*Paramuricea clavata* and *Eunicella cavolini*) in the climate change context. *Journal of Sea Research*, 186, 102241. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2022.102241>

Laist, D. (1995). Marine Debris Entanglement and Ghost Fishing : A Cryptic and Significant Type of Bycatch ? *ResearchGate*.

Langenkämper, D., Zurowietz, M., Jones, D. O., & Nattkemper, T. W. (2017). BIIGLE 2.0 - Browsing and Annotating Large Marine Image Collections. *Frontiers in Marine Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00083>

Masse, J. (1988). L'étagement bionomique des milieux benthiques néritiques actuels : signification bathymétrique et implications paléobathymétriques. *Géologie méditerranéenne*, 15(1), 91-102.

Le granché, P., André, F., Rochefort, gael, 2018. Spongiaires de France, Edition neptune plongée. ed, Les carnets du plongeurs.

Matsuoka, T., Nakashima, T., & Nagasawa, N. (2005). A review of ghost fishing : scientific approaches to evaluation and solutions. *Fisheries Science*, 71(4), 691-702. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2005.01019.x>

Orsolini, P. (1978). *Contribution à l'étude géomorphologique et sédimentologique des domaines côtiers de la presqu'île de St Tropez (Var) : définition des équilibres naturels.*

Pedel, L., & Fabri, M.-C. (2011). *Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes Laboratoire Environnement Ressources Provence Azur Corse.* Convention MEDDTL – Ifremer pour l'Evaluation Initiale de la DCSMM

Ponti, M., Perlini, R. A., Ventra, V., Grech, D., Abbiati, M., & Cerrano, C. (2014). Ecological Shifts in Mediterranean Coralligenous Assemblages Related to Gorgonian Forest Loss. *PLOS ONE*, 9(7), e102782. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102782>

Rossi, S. (2013). The destruction of the 'animal forests' in the oceans : Towards an over-simplification of the benthic ecosystems. *Ocean & Coastal Management*, 84, 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.004>

Rossi, S., Bramanti, L., Broglio, E., & Gili, J. M. (2012). Trophic impact of long-lived species indicated by population dynamics in the short-lived hydrozoan *Eudendrium racemosum*. *Marine Ecology Progress Series*, 467, 97-111. <https://doi.org/10.3354/meps09848>

SAFEGE CETIIS. (2004). *Etude préalable a la mise en place de l'observatoire marin du littoral des maures le long des côtes de Ramatuelle.*

Sánchez-Arcilla, A., & Simpson, J. H. (2002). The narrow shelf concept : couplings and fluxes. *Continental Shelf Research*. [https://doi.org/10.1016/s0278-4343\(01\)00052-8](https://doi.org/10.1016/s0278-4343(01)00052-8)

Vacelet, J. (1969). *Eponges de la roche du large et de l'étage bathyal de Méditerranée : récoltes de la soucoupe plongeante Cousteau et dragages.*

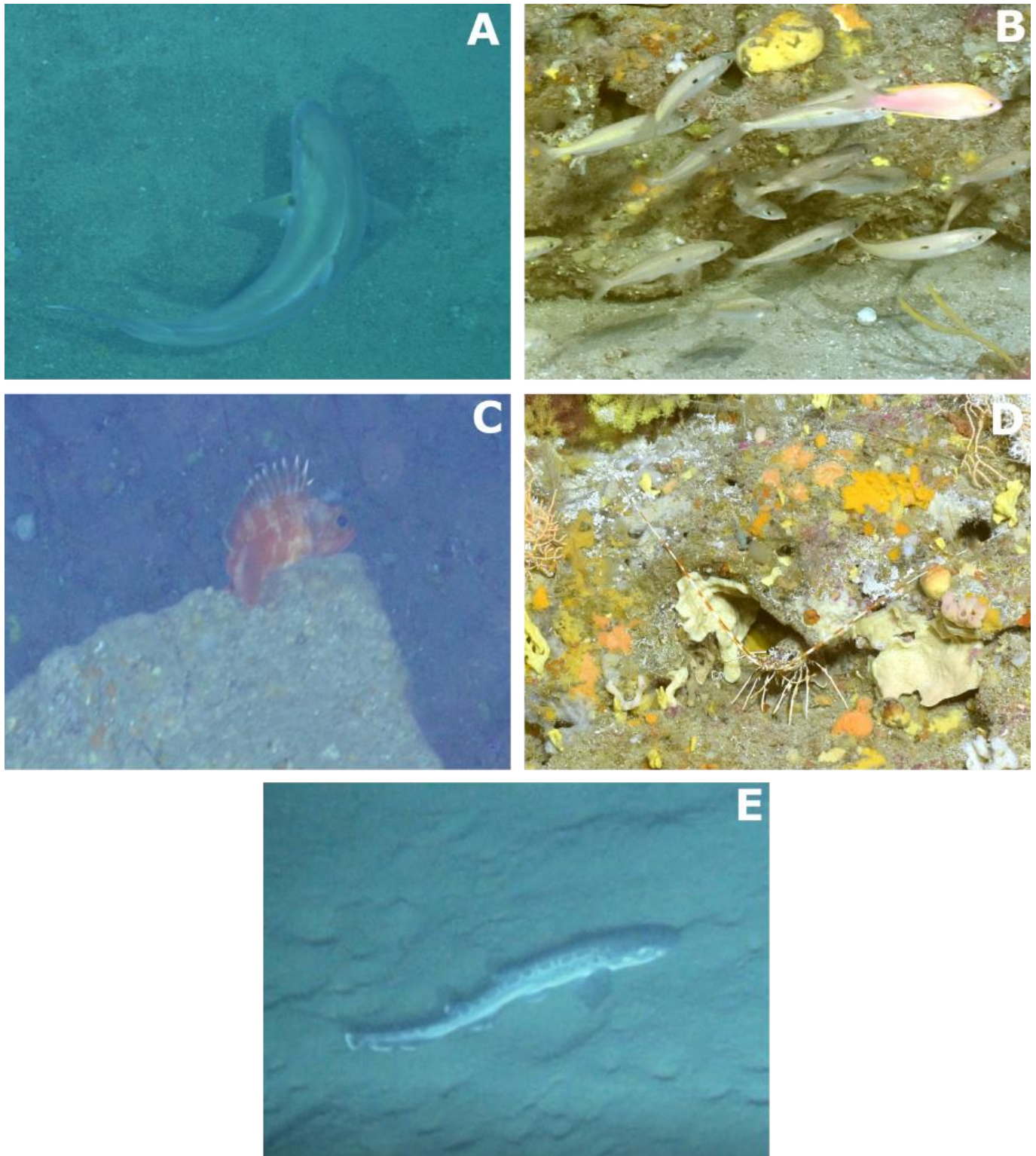
7. Annexe

Annexe 1. Tableau 1. Listes des espèces épibenthiques identifiées au cours des quatre plongées sur le banc de la Nioulargue. En gras est représenté les espèces ingénieuses indicatrices des Ecosystèmes Marins Vulnérables (EMV).

Porifera		Ascidacea	
Demospongiae	<i>Axinella polypoides</i>		<i>Ascidacea sp1</i>
	<i>Axinella damicornis</i>		<i>Ascidacea sp.2</i>
	<i>Poecillastra compressa</i>		<i>Clavelinidae sp.</i>
	<i>Haplosclerida sp (haliclona ou siphonochalina)</i>		<i>Pycnoclavella sp.</i>
	<i>Haliclona poecillastroides (Cf. Vacelet, 1969)</i>		<i>Halocynthia papillosa</i>
	<i>Haliclona (Reniera) mediterranea</i>		<i>Clavelina lepadiformis</i>
	<i>Haliclona sp.1 (cf. Haliclona fulva)</i>	Cnidaria	
	<i>Haliclona sp.2</i>	Malacalcyonacea	<i>Eunicella cavolini</i>
	<i>Haliclona sp.3 (cf. Haliclona magna)</i>		<i>Paramuricea clavata</i>
	<i>Aplysina cavernicola</i>		<i>Acyonium acaule</i>
	<i>Chondrosia reniformis</i>		<i>Alcyonium coralloides</i>
	<i>Pleraplysilla spinifera</i>		<i>Alcyonium palmatum</i>
	<i>Penares helleri</i>		<i>Alcyonium sp. (cf. Paralcyonium spinulosum)</i>
	<i>Raspailia (Raspailia) viminalis</i>	Myriopathidae	<i>Antipathella subpinnata</i>
	<i>Ciocalypa penicillus</i>	Scleractinia	<i>Dendrophyllia cornigera</i>
	<i>Crella (Grayella) pulvinar</i>		<i>Scleractinia sp</i>
	<i>Oscarella_sp (cf. Oscarella imperialis)</i>	Scleralcyonacea	<i>Corallium rubrum</i>
Homoscleromorpha	<i>Transparent_extension</i>	Zoantharia	<i>Zoantharia sp.</i>
Unnamed Porifera	<i>Massive white purple</i>		<i>Parazoanthus axinellae</i>
	<i>Massive lobed black</i>	Spirularia	<i>Cerianthus sp.</i>
	<i>Massive dull yellow</i>	Scyphozoa	<i>Pelagia noctiluca</i>
	<i>Massive cream</i>	Hydrozoa	<i>Hydrozoa sp1 (cf. Lytocarpia myriophyllum)</i>
	<i>Pyriform pale orange (dictionella incisa)</i>		<i>hydrozoa sp.2</i>
	<i>Incrusting thick grey</i>		<i>Hydrozoa sp.3</i>
	<i>Incrusting fine orange</i>	Annelida	
	<i>Incrusting fine yellow</i>		<i>Bonellia viridis</i>
	<i>Incrusting fine pink (cf. hexadella racovitzai)</i>		<i>Salmacina sp.</i>
	<i>Incrusting fine cream (cf. Hexadella pruvoti)</i>		<i>Protule sp.</i>
	<i>Incrusting fine blue</i>		<i>Sabella spallanzanii</i>
	<i>Incrusting grey warty</i>	Arthropoda	
	<i>Yellow warty</i>		<i>Decapoda sp.</i>
	<i>Pyriform transparent</i>		<i>Plesionika spp.</i>
	<i>Pyriform cream</i>		<i>Palinurus mauritanicus</i>
	<i>Orange Tapered (cf. Amphilectus fucorum)</i>		<i>Munida sp.</i>
	<i>Cylindrical white</i>	Mollusca	
	<i>Porifera sp.1 (unidentifiable)</i>	Gastropoda	<i>Gastropoda sp. (cf. Semicassis undulata)</i>
			<i>Calliostoma sp. (cf. Calliostoma granulatum)</i>
			<i>Peltodoris atromaculata</i>
			<i>Felimida sp.</i>
			<i>Flabellinidae</i>
			<i>Nemesignis banyulensis</i>
		Bivalvia	<i>Lima lima</i>

Bryozoa	
	<i>Bryozoa sp.1</i>
	<i>Bryozoa sp.2</i>
	<i>Bryozoa sp.3 (cf. Pentapora fascialis)</i>
Cheilostomatida	<i>Reteporella sp.</i>
	<i>Turbicellepora avicularis</i>
	<i>Myriapora truncata</i>
Brachiopoda	<i>Gryphus vitreus</i>
Plantae	
Rhodophyta	<i>Corallinales</i>
	<i>Red algae (cf. Peysonelia sp)</i>
Prasinodermatophyta	<i>Palmophyllum crassum (cf. Vacelet, 1969)</i>
Vertebrata	
Elasmobranchii	<i>Raja montagui</i>
	<i>Scyliorhinus sp.</i>
Teleostei	<i>Callanthias ruber</i>
	<i>Anthias anthias</i>
	<i>Seriola dumerili</i>
	<i>Seriola sp.</i>
	<i>Coris julis</i>
	<i>Juvenile of Coris julis (cf. Bertoncini, 2009)</i>
	<i>Serranus cabrilla</i>
	<i>Spicara smaris</i>
	<i>Scorpaena elongata</i>
	<i>Scorpaena sp.</i>
	<i>Helicolenus dactylopterus</i>
	<i>Lappanella fasciata</i>
	<i>Conger conger</i>
	<i>Macroramphosus scolopax</i>
	<i>Mullus sp.</i>
	<i>Muraena helena</i>
	<i>Coelorinchus caelorhincus</i>
Unnamed	Teleostei sp.1

Echinodermes	
Echinoidea	<i>Cidaris cidaris</i>
	<i>Echinus melo</i>
Holothuroidea	<i>Holothuria (Pamingothuria) forskali</i>
	<i>Parastichopus regalis</i>
Asteroidea	<i>Echinaster (Echinaster) sepositus</i>
	<i>Chaetaster longipes</i>
Ophiuroidea	<i>Astrospartus mediterraneus</i>
	<i>Ophiura sp.</i>
Crinoidea	<i>Antedonidae spp.</i>
Unclassified	
	<i>Transparent ball</i>



© photos illustration : Ifremer - HROV Ariane, (ACE) campagne CANHROV (2016); (BD) campagne TELEPRESENCE (2018)

Annexe 2. Figure 1. Photos capturées par le HROV Ariane sur les quatre plongées. Les espèces d'intérêts commerciales y sont représentées. (A) *Seriola dumerili*, (B) *Spicara smaris*, (C) *Helicolenus dactylopterus*, (D) *Palinurus mauritanicus*, (A) *Seriola dumerili* et (E) *Scyliorhinus* sp.

Résumé

Le développement de moyens sous-marins (bathyscaphes, sous-marins, robots) a considérablement élargi les perspectives de l'exploration des profondeurs marines, offrant l'opportunité d'acquérir de nouvelles connaissances précises sur les écosystèmes marins profonds. L'écosystème circalittoral de la Méditerranée est reconnu comme une zone de biodiversité majeure, abritant un assemblage d'espèces épibenthiques (Porifera, Cnidaria, Vertebrata, Arthropoda, Mollusca...) unique. L'exploration du Banc de la Nioulargue lors des campagnes d'essais océanographiques CANHROV (2016) et TELEPRESENCE (2018) de l'Ifremer a révélé la présence d'un écosystème caractéristique la zone circalittorale marqué par la coexistence de la biocénose coralligène et de la biocénose de la roche du large. Neanmoins ces habitats sont menacés par des activités anthropiques telles que la pêche professionnelle qui se font directement ressentir sur les habitats et par conséquent sur la faune associées. Dans le but de réduire les impacts anthropiques sur les écosystèmes marins vulnérables, des plans de conservation ont été mis en place en utilisant le concept d'espèces ingénieures pour surveiller ces zones. Avec l'aide du HROV Ariane une acquisition de données photographiques et de fichiers vidéos sur quatre zones du banc de la Nioulargue a été réalisée. Le traitement de ces données a permis d'établir une liste exhaustive des espèces épibenthiques présentes sur le banc de la Nioulargue dans le but de (i) cartographier la distribution des diversités spécifiques, (ii) cartographier la distributions des densités des espèces ingénieures *Paramuricea clavata* et *Eunicella cavolini* (iii) d'évaluer l'influence des pressions anthropiques et les interactions sur les espèces épibenthiques. Les résultats de cette analyse révèlent une grande diversité d'espèces épibenthiques sur le banc de la Nioulargue, avec une concentration plus élevée sur le plateau Ouest. La partie Nord du plateau Est du banc de la Nioulargue a été identifiée comme une zone de forte densité pour les deux espèces ingénieures, *Paramuricea clavata* et *Eunicella cavolini*. Cependant, cette zone présente également un état important de dégradation de ces populations. Il a été également observé une présence significative d'interactions entre les déchets liés à la pêche et ces populations sur la partie Est du banc, mettant en évidence l'importance de classer cet écosystème en tant qu'Écosystème Marin Vulnérable.

The development of underwater resources (bathyscaphes, submarines, robots) has considerably broadened the scope of deep-sea exploration, offering the opportunity to acquire new and precise knowledge of deep-sea ecosystems. The circalittoral ecosystem of the Mediterranean is recognised as a major area of biodiversity, home to a unique assemblage of epibenthic species (Porifera, Cnidaria, Vertebrata, Arthropoda, Mollusca, etc.). Exploration of the "Banc de la Nioulargue" during Ifremer's CANHROV (2016) and TELEPRESENCE (2018) oceanographic test campaigns revealed the presence of an ecosystem characteristic of the circalittoral zone, marked by the coexistence of a coralligenous biocenosis and an offshore rock biocenosis. However, these habitats are threatened by human activities such as professional fishing, which have a direct impact on the habitats and, consequently, on the associated fauna. In order to reduce the impact of human activities on vulnerable marine ecosystems, conservation plans have been put in place using the concept of engineer species to monitor these areas. With the help of the HROV Ariane, photographic data and video files were acquired on four areas of the Nioulargue bank. These data were processed to produce an exhaustive list of epibenthic species present on the Nioulargue bank, with the aim of (i) mapping the distribution of specific diversity, (ii) mapping the distribution of densities of the engineer species *Paramuricea clavata* and *Eunicella cavolini* and (iii) assessing the influence of anthropic pressures and interactions on epibenthic species. The results of this analysis reveal a high diversity of epibenthic species on the Nioulargue bank, with a higher concentration on the western plateau. The northern part of the eastern plateau of the Nioulargue bank was identified as an area of high density for the two engineer species, *Paramuricea clavata* and *Eunicella cavolini*. However, these populations are also in a serious state of decline. Significant interactions between fishing waste and these populations were also observed in the eastern part of the bank, highlighting the importance of classifying this ecosystem as a Vulnerable Marine Ecosystem.