

Document rédigé par Ecocean – mai 24

Convention N° 2021 0450

OP CORAL

Pilote de restauration écologique sur le coralligène

Rapport final

www.Ecocean.fr

Restauration écologique - Elevage raisonné - Engins de pêche et d'élevage - Diagnostic

1342, avenue de Toulouse - 34070 Montpellier - France / Tel. +33467670284 ECOCEAN SAS au capital de 106 337€ - RCS de Montpellier - SIRET 44750536300054

INFORMATIONS PRINCIPALES

Citation souhaitée	FONBONNE S. (2024). Projet OP Coral – Pilote de restauration écologique sur le coralligène – rapport final. Ecocean.
Rédacteur	Sébastien FONBONNE, Ecocean
Validation	Anaïs GUDEFIN, Ecocean
Date de rédaction	16 mai 2024
Ecocean *Adresse & interlocuteurs*	1342 Avenue de Toulouse 34070 Montpellier **Sébastien FONBONNE** (Pilotage du projet) sebastien.fonbonne@ecocean.fr **Damien EINSARGUEIX** (Responsable technique) damien.einsargueix@ecocean.fr **Anaïs GUDEFIN** (Responsable scientifique) anais.gudefin@ecocean.fr
Objet de l'opération	Convention AERMC : N°2021 0450 Description de l'opération : - Gestion du projet et des demandes administratives concernant les prélèvements - Conception, construction et mise en fonctionnement des bassins d'élevage au sein de la ferme expérimentale CasCioMar sur Marseille - Identification des espèces cibles du coralligène et le prélèvement in situ du matériel naturel. Cela concerne la rédaction d'un protocole de prélèvement pour chacune des espèces retenues - L'élevage et le bouturage des espèces prélevées - La réalisation d'une campagne de prélèvement - La réalisation d'une campagne de repeuplement - Le suivi scientifique de la vitalité des espèces repeuplées sur la période du projet **La rédaction du rapport final présente les protocoles opérés et les résultats obtenus. Ce rapport précise également les mises en perspectives concernant le déploiement de la méthode. Il est illustré pour chaque étape clé de photographies permettant de décrire les différentes phases de l'opération.**

Synthèse du pilote de restauration écologique sur le coralligène OP-CORAL

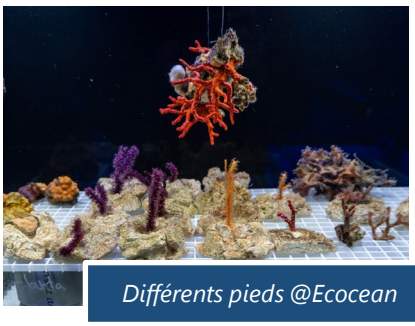
Le pilote de restauration écologique sur le coralligène OP-CORAL avait pour but de mettre au point un procédé complet de transplantation de différentes espèces formant les massifs coralligènes. Le projet était divisé en trois phases majeures :

- Le développement de méthodes de prélèvement et de maintien en vie de boutures,
- La mise en place de méthodes de reproduction et de développement de ces boutures,
- Le test de méthodes de repeuplement des boutures en milieu naturel.

Chacune des phases représentait des défis à la fois techniques, écologiques ou règlementaires, qui ont tous pu être relevés au cours du projet. Parmi les 17 espèces prélevées, 15 ont bien survécu, mais 11 espèces n'ont pas montré de signes de croissance significatifs. Seules les 4 espèces s'étant bien développées ont pu être repeuplées. Les premiers suivis réalisés au bout d'un mois ont montré de très bons taux de survie. La réussite du projet permet donc d'envisager de pouvoir réitérer cette expérimentation sur d'autres espèces ou à des fins opérationnelles de restauration.



C. rubrum @Ecocean



Différents pieds @Ecocean



E. clavolinii @Ecocean

POINTS CLES A RETENIR

- **3 années de projet, 2020 – 2023**
- **1 ferme d'élevage développée spécifiquement**
- **17 espèces prélevées et élevées dont 15 ont bien survécu**
- **Très bons taux de survie (de 60 à 100%) et de croissance pour 4 espèces : *P. clavata, P. axinellae, C. rubrum, E. cavolinii***
- **Repeuplement de 111 pieds : 29 géniteurs et 82 boutures**
- **87.5% de survie au bout d'un mois de repeuplement**

- **Les résultats permettent de valider les différents protocoles de prélèvement, élevage, bouturage et repeuplement mis en œuvre dans ce projet**

SOMMAIRE

1. Contexte de l'étude 6
   1.1. Introduction 6
   1.2. Objectifs du projet 6
   1.3. Verrous à lever 7
2. Organisation du projet 9
3. Conception, construction et mise en fonctionnement de la ferme d'élevage expérimentale 11
4. Identification des espèces cibles et prélèvement de matériel naturel 12
   4.1. Identification des espèces cibles 12
   4.2. Phase de prélèvement 21
5. Elevage et bouturage 24
   5.1. Campagnes de bouturage 24
   5.2. Protocole d'élevage 25
   5.3. Résultats 2021 27
      a. Algues rouges, spongiaires et bryozoaires 27
      b. Algues vertes 27
      c. Gorgonaires et Zoanthide 27
   5.4. Résultats 2022 28
      a. Paramuricea clavata 28
      b. Parazoanthus axinellae 29
      c. Corallium rubrum 30
      d. Mortalité observée 30
   5.1 Résultats 2023 31
   5.2 A retenir : 36
6. Repeuplement et suivis 37
   6.1. Contexte (articulation OP-CORAL / RESCOR) 37
   6.2. Préparation des lots et fixation 37
7. Conclusion et perspectives 42
8. Annexes 45

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : organisation du travail 10
Figure 2 : plan d'installation de la ferme 11
Figure 3 : vue extérieure et intérieure du container d'élevage 11
Figure 4 : boutures de Paramuricea clavate (à gauche), de Parazoanthus axinellae (à droite) et de Corallium rubrum (en bas) 24
Figure 5 : recouvrement d'un individu d'algue verte par l'algue filamenteuse 27
Figure 6 : encroûtement des pieds mère de Paramuricea clavata (en mauve) et de Eunicella cavolinii (en orange) 28
Figure 7 : géniteur 1. Paramuricea clavate 28
Figure 8 : géniteur 2. Paramuricea clavata 29
Figure 9 : têtes de polype. Parazoanthus axinellae 29
Figure 10 : évolution de la taille axiale d'une colonie. Parazoanthus axinellae (avril 2022 – juin 2022) 30
Figure 11 : nécroses de boutures de Paramuricea clavata 30
Figure 12 : développement d'une colonie de polypes 31
Figure 13 : collage d'une bouture 39
Figure 14 : carte d'implantation des Transplants 40
Figure 15 : exemple d'illustration photogrammétrique utilisée pour les suivis 40

Tableau 1 : liste des espèces cibles du projet 12
Tableau 2 : protocole de prélèvement adapté à la liste des espèces cibles du projet 22
Tableau 3 : détail des bouturages réalisés par espèce 25
Tableau 4 : protocole d'élevage mis en place par espèce 26
Tableau 5 : stock en élevage dans la ferme (Janvier 2023) sur les 4 espèces ciblées en 2022 . 31
Tableau 6 : quantité de boutures et géniteurs repeuplés en octobre 2023 38

1. CONTEXTE DE L'ETUDE

1.1. INTRODUCTION

Le coralligène est un type de milieu de fond dur d'origine biogénique, principalement produit par l'accumulation d'algues calcaires encroûtantes vivant dans l'étage circalittoral. Le terme de "coralligène", employé pour la première fois en 1883 par A.F Marion, signifie « producteur de corail » car il est lié à l'abondance du corail rouge qui s'y développe, même si les fonds coralligènes sont essentiellement construits par des algues calcifiées.

La distribution du coralligène est soumise à une combinaison de facteurs biotiques et abiotiques dont les principaux sont la lumière, l'hydrodynamisme, la température, la salinité, le dépôt de sédiments et les interactions biologiques. Le coralligène se rencontre sur les parois rocheuses ou sur les roches où les algues calcaires peuvent constituer des constructions biogènes. Il représente l'écosystème majeur de Méditerranée au-delà de 30-40 m de profondeur, où ils sont pratiquement les seuls récifs biogènes. Selon la turbidité de l'eau, on peut en trouver entre 12 et 120 m de profondeur.

En milieu naturel, la croissance du coralligène est très lente (entre 1 et 4 mm/an). Les massifs ne se développent qu'à partir de certaines profondeurs car les algues qui les édifient craignent une trop forte lumière : ce sont des algues sciaphiles (vivant à l'ombre). S'ils ne sont pas perturbés, ces récifs peuvent ainsi perdurer plusieurs siècles, mais mettront aussi très longtemps à se régénérer s'ils sont détruits. Ces récifs sont ainsi particulièrement fragiles à la pollution, au réchauffement climatique et aux méthodes de pêche destructive et les scientifiques estiment ainsi qu'ils auraient déjà énormément régressé pendant le XXème siècle. L'étude de cet écosystème constitue donc un enjeu environnemental important, tant pour améliorer les connaissances sur son fonctionnement que pour développer des opérations de préservation et de régénération.

1.2. OBJECTIFS DU PROJET

Le projet OP CORAL cherche à répondre à des objectifs environnementaux généraux tels que :

- Développer des méthodes de prélèvement et de maintien en vie de boutures de coralligène,
- Mettre en place des méthodes de reproduction et de croissance de ces boutures,
- Tester des méthodes de repeuplement des boutures dans des sites appauvris.

Plusieurs objectifs techniques sont ainsi ciblés dans ce projet :

- Construire une ferme d'élevage et de grossissement expérimentale, spécifique aux espèces caractéristiques du coralligène.
- Finaliser et appliquer un protocole de prélèvement d'espèces en milieu naturel (par bouturage et recrutement),
- Elever et reproduire les espèces cibles. Le but est de recréer de manière artificielle des conditions de maintien les plus proches du milieu naturel, en s'inspirant du « système Berlinois » en circuit fermé. Une attention particulière sera apportée au système d'éclairage, à la régulation thermique, la turbidité, la salinité, la température de l'eau et au brassage des aquariums,

- Concevoir et expérimenter un protocole de repeuplement sur site naturel en identifiant au préalable un site pilote d'expérimentation,
- Suivre/évaluer in situ l'évolution de cette action.

1.3. VERROUS A LEVER

Plusieurs verrous ont été identifiés dans ce projet, à la fois techniques, scientifiques et règlementaires.

Les principaux verrous techniques du projet reposent sur :

- La profondeur de prélèvement des espèces. Le prélèvement de boutures de coralligène nécessitent des opérations sous-marines à des profondeurs supérieures à 40m, sur des temps d'immersion importants, afin de trouver l'ensemble des espèces. Cette mise à l'eau demande une bonne connaissance du milieu à ces profondeurs, un équipement adapté et une expérience dans ce type de plongée profonde. Ecocean s'est ainsi appuyé sur l'équipe d'experts et de plongeurs d'Andromède océanologie qui travaille depuis 10 ans sur le suivi du coralligène et qui est à même de pouvoir apporter son expertise sur les espèces et les zones prioritaires d'intervention. Ils possèdent également des compétences spécifiques, un personnel qualifié et tout le matériel nécessaire pour réaliser les prélèvements d'individus et leur transport jusqu'à la ferme d'élevage. Ils sont également à même d'assurer les repeuplements en milieu naturel, à l'issue de la phase de reproduction et de développement des individus.

- La technicité de la création d'une ferme d'élevage de coralligène. Dimensionner une telle ferme d'élevage spécifiquement conçue pour accueillir des espèces des grandes profondeurs nécessite une connaissance particulière de l'écosystème et du matériel adapté. Ecocean possède une infrastructure adaptée et un personnel qualifié (capacitaire) pour mener à bien ce type d'expérimentations. Ecocean est en effet dotée d'une structure d'élevage en eau de mer contrôlée (basée dans le Grand Port Maritime de Marseille) qui permet, moyennant quelques aménagements spécifiques prévus dans le cadre de ce projet, de pouvoir réaliser les tests in vitro sur les différentes espèces de coralligènes ciblées.

Quelques verrous scientifiques ont également dû être levés au cours de ce travail, liés à :

- La rareté des études sur l'écologie des espèces de coralligène. En effet, ces études ne concernent généralement qu'une poignée d'espèces. Dans le projet OP CORAL, une vingtaine d'espèces ont cependant été pré-identifiées, selon les critères suivants :
    - Intérêt écologique du type d'espèces (ingénieures, complexifiantes, pionnières…)
    - Conditions d'élevage (sensibilité au brassage, à la lumière)
    - Types de prélèvement nécessaires (avec substrat, bouturage, fragilité, sécrétion…)

- L'expérimentation réalisée sur chacune des boutures permettant d'améliorer les connaissances scientifiques sur ces paramètres écologiques, nécessaires à un élevage optimal.

Enfin, 2 verrous réglementaires ont également été préalablement identifiés :

- La qualification nécessaire pour des interventions en plongée profonde. La plongée profonde nécessite des équipements et de l'expérience mais également des qualifications et une réglementation stricte en milieu professionnel. L'équipe de la société Andromède basée à Carnon possède ces compétences et ce savoir-faire, pour réaliser les plongées de prélèvement.

- Les autorisations obligatoires pour l'élevage d'espèces coralligènes. Damien Einsargueix (salarié d'Ecocean, responsable de la ferme d'élevage de Marseille) possède un capacitaire en coraliculture (pour l'élevage, la vente et le transport d'animaux non domestiques poissons et invertébrés tropicaux et méditerranéens), préalable indispensable pour réaliser ce type d'élevage.

2. ORGANISATION DU PROJET

Le projet peut être découpé en 6 lots de travail ou « work package » (WP) comprenant pour l'essentiel (Figure 1) :

WP0 : Gestion du projet et des autorisations (ECOCEAN)

- Obtenir les Autorisation d'ouverture et d'exploitation d'une ferme expérimentale
- Gestion administrative et financière du projet
- Autorisation d'ouverture et d'exploitation de la ferme expérimentale
- Habilitation du personnel (capacitaire salarié d'Ecocean)
- Autorisation de prélèvement de coralligène (DIRMM) -– cf. Annexe 1

WP 1 : Conception, construction et mise en fonctionnement de la ferme d'élevage expérimentale (ECOCEAN)

- Conception de la ferme d'élevage expérimentale en fonction des espèces et des besoins identifiés
- Réalisation de(s) salle(s) d'élevage
- Mise en eau et validations techniques du fonctionnement de(s) salle(s) d'élevage

WP 2 : Identification des espèces cibles et prélèvements de matériel naturel (ECOCEAN + ANDROMEDE)

- Identification des espèces cibles
- Définition des besoins en fonction des espèces ciblées
- Rédaction d'un protocole de prélèvement pour chacune des espèces retenues
- Identification des sites de prélèvement
- Mise en place des campagnes de prélèvement

WP 3 : Elevage et bouturage (ECOCEAN)

- Rédaction des protocoles de bouturage et d'élevage du coralligène
- Réception et acclimatation du matériel prélevé.
- Bouturage et élevage

WP 4 : Repeuplement (ECOCEAN + ANDROMEDE)

- Identification des sites de repeuplement
- Conditionnement pour le repeuplement
- Réalisation des campagnes de repeuplement

WP 5 : suivis (ANDROMEDE)

- Réalisation des premiers suivis scientifiques
- Rédaction des rapports de suivis

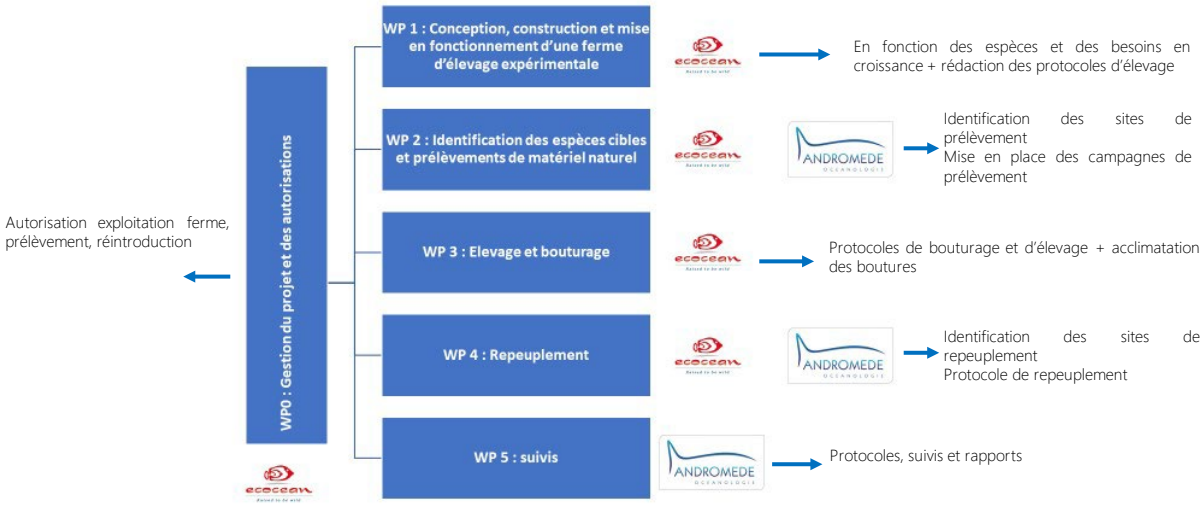


Figure 1 : organisation du travail

Le projet a volontairement été découpé en deux phases :

- La phase 1 (septembre 2020 – septembre 2023) – qui fait l'objet du financement de l'AERMC via la convention N°2021 0450 et qui porte sur la faisabilité technique du projet (test de capture / recrutement, réintroduction, premiers suivis) qui doit permettre au procédé de passer de TRL 4 à TRL 5 par la validation de la technique et les premiers résultats de suivis. Ce rapport traite spécifiquement de cette première phase.

- La phase 2 (janvier 2023 – août 2026) qui portera plus spécifiquement sur la prolongation des suivis à plus long terme (sur financements spécifiques hors convention N°2021 0450) devant permettre de passer d'unTRL 5 à TRL 7. Cette seconde phase est sous maîtrise d'ouvrage d'Andromède.

3. CONCEPTION, CONSTRUCTION ET MISE EN FONCTIONNEMENT DE LA FERME D'ELEVAGE EXPERIMENTALE

En 2021, la ferme OP CORAL a été créée sur le site d'élevage d'ECOCEAN à Marseille. Développée dans un container de 20 pieds, elle est équipée du système de Filtration TMC 5000, couplé à un bassin de 290 litres avec des pierres vivantes permettant d'augmenter le volume de filtration biologique. La ferme possède un climatiseur et un groupe froid pour maintenir de manière constante une température de 16 degrés (Figure 2).
Le container ne possède pas de fenêtre, ce qui permet de recréer artificiellement la luminosité des grands fonds (50 mètres), à l'aide de rampes LED ALPHEUS. Ces rampes sont autonomes et capables de simuler des aurores et des crépuscules, ainsi que des passages nuageux et des cycles lunaires. Elles ont été construites et réglées sur mesure pour les besoins du coralligène.

Deux types de bacs constituent la ferme (Figure 3) :

- 4 aquariums de 90 litres (80x30x40cm) en verre, équipés de grilles pour le bouturage. Chaque organisme ou colonie est espacé d'environ 2 à 5 cm pour être mieux brassé et pour limiter également la compétition alimentaire. Le verre permet de mieux observer l'émancipation des polypes et le gonflement des éponges,
- 4 bassins de 290 litres (60x80x60cm) accueillant les pieds mères et d'autres boutures.

Chaque bassin et aquarium a été équipé de brasseurs pour recréer une courantologie particulière à ces organismes.
L'installation et la rénovation partielle du container pour l'adapter au coralligène ont été effectives le 11/06/2021. Les premiers pieds mères sont arrivés le 23/06/2021.

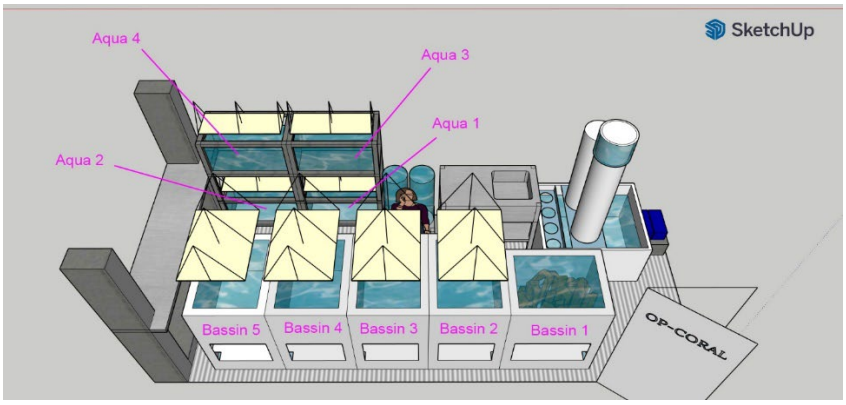


Figure 2 : plan d'installation de la ferme



Figure 3 : vue extérieure et intérieure du container d'élevage

4. IDENTIFICATION DES ESPECES CIBLES ET PRELEVEMENT DE MATERIEL NATUREL

4.1. IDENTIFICATION DES ESPECES CIBLES

Une vingtaine d'espèces (Tableau 1) ont été pré-identifiées pour prélèvement en fonction de leur facilité de bouturage, d'élevage et d'acclimatation, mais également car ils sont tous situés dans une même « zone de vie ». Les différentes espèces sont détaillées ci-après.

Tableau 1 : liste des espèces cibles du projet

Groupe	Espèce
Algue verte	*Halimeda tuna*
	Flabellia petiolata
Algue rouge	*Mesophyllum spp*
	Lithophyllum stictaeforme
	Peyssonnelia squamaria
Spongiaire	*Axinella polypoides*
	Axinella damicornis
	Axinella verrucosa
	Aplysina carvernicola
Bryozoaire	*Reteporella grimaldii*
	Myriapora truncata
	Adeonella calveti
	Schizomavella mamillata
Gorgonaire	*Paramuricea clavata*
	Eunicella cavolinii
	Corallium rubrum
Zoanthide	*Parazoanthus axinellae*

ALGUE VERTE

Halimeda tuna – Monnaie de Poséidon







- L'algue est composée d'éléments aplatis superposés, de forme discoïde ou en raquette, légèrement calcifiés.
- Les disques varie de 5 à 25 mm pour une épaisseur de 1 mm environ.

❑ **Biotope** : elle colonise les substrats durs sciaphiles (vivant à l'ombre) et les tombants, de quelques mètres sous la surface jusqu'à 75 mètres environ, sur les fonds rocheux d'eaux moyennement agitées

❑ **Alimentation** : autotrophe (produit elle même sa matière organique) grâce à la photosynthèse, processus chimique par lequel elle utilise l'énergie lumineuse pour effectuer la synthèse de molécules organiques à partir de dioxyde de carbone et d'eau. Les éléments minéraux dissous dans l'eau sont assimilés par absorption.

❑ **Répartition géographique** : L'espèce est présente dans toutes les mers chaudes du monde : Atlantique, Méditerranée etIndo-Pacifique. Outre la métropole, elle est présente à la Réunion et en Nouvelle Calédonie

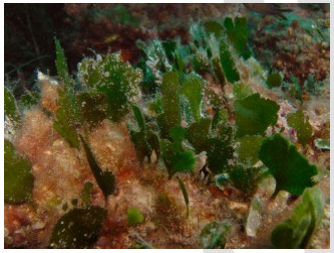
❑ **Prédateur :** elle héberge souvent un de ses prédateurs, une petite limace de mer de couleur verte, *Bosellia mimetica*, remarquable par la qualité de son mimétisme avec l'algue.

ALGUE VERTE

Flabellia petiolata – Udotée

- Algue verte en forme d'éventail fixée par un pédoncule.
- 1 à 10 cm de hauteur. Plus ou moins recouverte d'épiphytes





❑ **Biotope** : elle colonise les substrats durs sciaphiles* (vivant à l'ombre) et les tombants, de quelques mètres sous la surface jusqu'à 120 mètres environ, sur les fonds rocheux d'eaux moyennement agitées.

❑ **Alimentation** : autotrophe (produit elle même sa matière organique) grâce à la photosynthèse, processus chimique par lequel elle utilise l'énergie lumineuse pour effectuer la synthèse de molécules organiques à partir de dioxyde de carbone et d'eau. Les éléments minéraux dissous dans l'eau sont assimilés par absorption.

❑ **Répartition géographique** : L'espèce est présente en Méditerranée et dans l'Atlantique Est tempéré (Maroc, Canaries et Cap Vert).

❑ **Prédateur :** Bosellia mimetica (limace).

ALGUE ROUGE

Mesophyllum spp – mésophylle



Mesophyllum expansum

Mesophyllum expansum

- Algue calcifiée de couleur variant du rose clair ou orangé au rouge foncé
- Forme un massif étendu de lames fines, foliacées, et superposées
- Lames pouvant atteindre 12 cm de diamètre, aux bordures claires et aux ondulations concentriques
- Espèce sciaphile, fragile, peu adhérente au substrat



Mesophyllum alternans

Mesophyllum alternans

- Il peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres de diamètre et est relativement épais (jusqu'à 1,2 mm).
- Il se développe sur roche et sur d'autres organismes encroûtant. le plus souvent entièrement adhérent au substrat.
- C'est la principale espèce édificatrice du coralligène.

❑ **Biotope** : se rencontre depuis les zones ombragées des petits fonds jusqu'à 90 m de profondeur. Elle est relativement commune sur les rhizomes de posidonies ainsi que dans le coralligène.

❑ **Alimentation** : autotrophe (produit elle même sa matière organique) grâce à la photosynthèse, processus chimique par lequel elle utilise l'énergie lumineuse pour effectuer la synthèse de molécules organiques à partir de dioxyde de carbone et d'eau. Les éléments minéraux dissous dans l'eau sont assimilés par absorption.

❑ **Répartition géographique** : Elle est présente en Méditerranée occidentale et l'Atlantique proche. (Madère, Açores, îles Canaries).

❑ **Paramètres d'élevage**:

ALGUE ROUGE

Lithophyllum stictiforme – Feuille de pierre encorbellée

- Algues calcifiées de couleur rose à violacée
- Lames horizontales, arrondies et minces, souvent superposées et aux bords ondulés
- Thalle partiellement adhérent au substrat





❑ **Biotope** : On les trouve près de la surface dans les zones peu éclairées et soumises à de forts courants. A plus grandes profondeurs (15 à 40 m), elles se développent de concert avec d'autres algues Corallinales telles que Mesophyllum spp

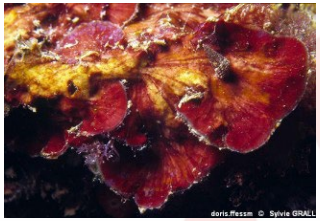
❑ **Alimentation** : autotrophe (produit elle même sa matière organique) grâce à la photosynthèse, processus chimique par lequel elle utilise l'énergie lumineuse pour effectuer la synthèse de molécules organiques à partir de dioxyde de carbone et d'eau. Les éléments minéraux dissous dans l'eau sont assimilés par absorption.

❑ **Répartition géographique** : Elle est présente en Méditerranée et en Atlantique (côtes françaises)

❑ **Important à savoir :** Le thalle, peu adhérent au substrat, est détachable en partie avec la pointe d'un couteau. Ce geste qui permettrait d'identifier sur le terrain le genre et parfois l'espèce (L. stictiforme) est fatal pour l'individu. Toutefois si un prélèvement doit être réalisé, il doit se limiter à un petit fragment de lobe

ALGUE ROUGE

Peyssonnelia squamaria – Peyssonnelia







- Frondes rouges en forme d'éventail de 10 cm maximum, se chevauchant plus ou moins.
- Consistance membraneuse mais souple

❑ **Biotope** : Sciaphile, on la trouve fixée sur des pierres ou sur des algues calcaires dans des endroits sombres (fentes, grottes, surplombs) en mode calme, de l'étage infralittoral.

❑ **Alimentation** : autotrophe (produit elle même sa matière organique) grâce à la photosynthèse, processus chimique par lequel elle utilise l'énergie lumineuse pour effectuer la synthèse de molécules organiques à partir de dioxyde de carbone et d'eau. Les éléments minéraux dissous dans l'eau sont assimilés par absorption.

❑ **Répartition géographique** : Cette espèce est présente en Méditerranée et en Atlantique proche (Açores, Portugal)

❑ **Divers :** espèce pérenne (durée de vie de plusieurs années)

SPONGIAIRE

Axinella polypoides – Axinelle commune





- Arbuste jaune à orangé
- De petits oscules régulièrement groupés en étoile ou en cercle Surface légèrement rugueuse.
- Une forme générale modelée par l'agitation de l'eau, les flux et la force des courants

❑ **Biotope** : se trouve souvent sur des roches plus ou moins envasées et plutôt en profondeur (jusqu'à 100 m), voire sur des surplombs rocheux dès 10 à 15 m.

❑ **Alimentation** : Se nourri de plancton, bactéries, algues unicellulaires, débris organiques . En créant un courant d'eau formé par les choanocytes (cellules ciliées).

❑ **Répartition géographique** : Tout le bassin méditerranéen ainsi qu'en Atlantique Nord-Est ,Manche et Mer du Nord

❑ **Divers** :

SPONGIAIRE

Axinella damicornis – Axinelle plat





- Couleur jaune orangé, vif
- Courte et compacte, parfois repliée sur elle -même
- Surface d'apparence veloutée
- Embranchements rares, plats et épais, en forme d'éventail

❑ **Biotope** : fixée, en général sur le sol ou les surplombs des grottes superficielles, entre 2 et 10 m de profondeur. On la trouve également sur les fonds rocheux riches en sédiments, à plus grande profondeur (jusqu'à 30 m). Elle préfère très nettement les roches envasées ou boueuses. Elle accepte des milieux où l'exposition aux vagues varie.

❑ **Alimentation** : Se nourri de plancton, bactéries, algues unicellulaires, débris organiques . En créant un courant d'eau formé par les choanocytes (cellules ciliées).

❑ **Répartition géographique** : Tout le bassin méditerranéen ainsi qu'en Atlantique Nord-Est ,Manche et Mer du Nord

❑ **Divers** : Elle ne se contracte pas lorsqu'on la sort de l'eau

SPONGIAIRE

Axinella verrucosa – Axinelle commune





- Colonnes rigides en forme de doigts.
- Jaune vif à orange
- Nombreuses ramifications à section cylindrique
- Grosse veines translucides terminées par des oscules ronds . Surface lisse et veloutée (si contractée)

❑ **Biotope** : espèce benthique où l'éclairement est faible. On la trouve fixée sur des fonds rocheux, au-dessous de 15 m de profondeur, et à l'intérieur de grottes sous-marines.

❑ **Alimentation** : Se nourri de plancton, bactéries, algues unicellulaires, débris organiques . En créant un courant d'eau formé par les choanocytes (cellules ciliées).

❑ **Répartition géographique** : Tout le bassin méditerranéen ainsi qu'en Atlantique Nord-Est ,Manche et Mer du Nord

❑ **Divers** : Cette éponge est étudiée en médecine pour sa composition alcaloïde.

❑ Elle entre par exemple dans la composition de remèdes contre le cholestérol.

SPONGIAIRE

Aplysina cavernicola – Eponge cavernicole jaune





- Eponge jaune clair sciaphile
- Tubulures en forme de doigts de 3 à 6 cm de hauteur
- Tubulures dont le sommet en légère dépression porte un oscule en son centre
- Elle se déchire très facilement

❑ **Biotope** : Se trouve dans les grottes, les surplombs entre 10 et 100m de profondeur

❑ **Alimentation** : Se nourri de plancton, bactéries, algues unicellulaires, débris organiques . En créant un courant d'eau formé par les choanocytes (cellules ciliées).

❑ **Répartition géographique** : Méditerranée

❑ **Divers** : Dès qu'elles subissent une attaque, les éponges du genre Aplysina synthétisent des alcaloïdes bromés pour leur défense chimique. Ces éponges n'ont pas de spicules mais un squelette formé de fibres de spongine* formant un réseau tridimensionnel

BRYOZOAIRE

Reteporella mediterranea – Dentelle des grottes



- Colonies rigides (calcifiées) en forme de coupe très évasée
- Coloration variant du blanchâtre, du jaune vert à l'orange brillant
- Structure finement dentelée de quelques centimètres, très fragile
- Espèce restreinte aux grottes semi -obscures

❑ **Biotope** : Dans des zones sombres entre 10 et 70 m de profondeur : grotte, cavité, anfractuosité, surplomb rocheux.... Elle se développe souvent sur des substrats qui favorisent sa croissance dans les trois dimensions, comme les axes de gorgones. Étant donnée la fragilité de la colonie, on trouve généralement cette espèce à l'abri des eaux brassées par de trop forts courants. Par rapport à l'espèce proche et la plus communément observée, *Reteporella grimaldii, Reteporella mediterranea* est plus évidement contrainte à l'intérieur des grottes semi-obscures.



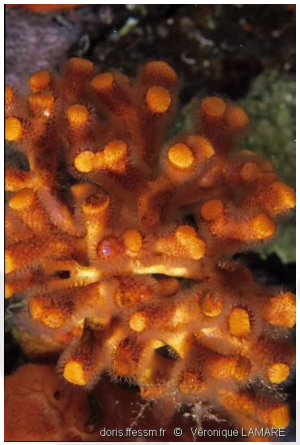
❑ **Alimentation** : filtreurs actifs par la capture de particules alimentaires (phytoplancton, en particulier) par les tentacules .

❑ **Répartition géographique** : Méditerranée (endémique)

❑ **Divers** : Espèce sensible à l'élévation de la température

BRYOZOAIRE

Myriapora truncata – Faux corail





- **Intérêt : espèce ingénieure et indicatrice. Sensible au changement climatique**

- Espèce coloniale buissonnante, rameuse, de couleur orange
- Section des rameaux ronde, constante pour une même colonie
- Extrémité des rameaux tronquée
- Surface lisse et criblée de pores minuscules d'où sort le panache de tentacules de chaque individu

- **Biotope** : on le trouve sur les fonds rocheux, dès une dizaine de mètres de profondeur, lorsque la lumière n'est pas directe, au niveau des ouvertures des grottes, des cavités, des anfractuosités, sous les surplombs. On peut aussi la rencontrer sur les fonds de sable grossier au delà de 40 m de profondeur.

- **Alimentation** : filtreurs actifs par la capture de particules alimentaires (phytoplancton, en particulier) par les tentacules .

- **Répartition géographique** : Méditerranée, Atlantique oriental

- **Divers** : Espèce sensible à l'élévation de la température. Il est souvent confondu avec du corail, d'où son nom.

- **Paramètres d'élevage**:

BRYOZOAIRE

Adeonella calveti - Adéonelle







- **Intérêt : espèce ingénieure et indicatrice. Sensible au changement climatique**

- Colonies rigides et branchues de 10 à 20 cm
- Rameaux bien aplatis et fourchus ; largeur 1 cm max
- Fragiles, couleur beige à jaune clair
- Division dichotomes des rameaux dès la base

- **Biotope** : Sur des substrats durs, cette espèce vit à partir de 5 m, dans les endroits ombragés et protégés d'un trop fort courant. Ce grand bryozoaire arbustif se rencontre particulièrement sur des zones verticales et sous les surplombs. et des grottes semi-obscures qui sont son vrai habitat.

- **Alimentation** : filtreur actif par la capture de particules alimentaires (phytoplancton, en particulier) par les tentacules.

- **Répartition géographique** : Méditerranée (endémique)

- **Divers** : Espèce sensible à l'élévation de la température

BRYOZOAIRE

Schizomavella mamillata – Schizomavelle mamelonné





- Bryozoaire encroûtant commun des fonds coralligènes
- Plaques jusqu'à 20 mm d'épaisseur
- Coloration jaune vif à orange vif
- Surface régulièrement mamelonnée
- Aspect de surface grenu
- Duvet de lophophores très discret

❑ **Biotope** : Ce bryozoaire est caractéristique des fonds coralligènes où il abonde sur divers supports calcaires vivants ou morts. Colonise entre 10 et 60 m de profondeur les pierres, les roches et les parois coralligènes avec une nette préférence pour les parois verticales ou en surplomb bien exposées au courant nourricier.

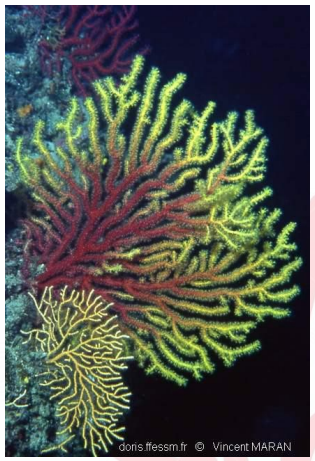
❑ **Alimentation** : filtreur actif par la capture de particules alimentaires (phytoplancton, en particulier) par les tentacules.

❑ **Répartition géographique** : Méditerranée (endémique)

❑ **Divers** : La distribution des individus de la colonie au niveau des creux et des mamelons correspond à une adaptation morphologique pour permettre une meilleure efficacité de la filtration de l'eau environnante en vue d'augmenter la capacité de nourrissage de la colonie.

GORGONE

Paramuricea clavata – Gorgone pourpre





- Pourpre, parfois jaune, en partie ou en totalité
- Rameaux gros, courts et de section ronde
- Colonies atteignant 1 m d'envergure

❑ **Biotope** : Espèce sciaphile des fonds rocheux, tombants, surplombs ou entrées des grottes. Souvent fixée sur les parois verticales en peuplement dense. Depuis 7m min jusqu'à 110m. Considérée comme une espèce caractéristique de la biocénose coralligène.

❑ **Alimentation** :L'organisation coloniale de plusieurs milliers d'individus permet à la nourriture capturée par quelques-uns de nourrir toute la communauté. De manière à optimiser les chances de capture, les arborescences sont surtout orientées perpendiculairement au courant afin de capter les particuliers organiques en suspension.

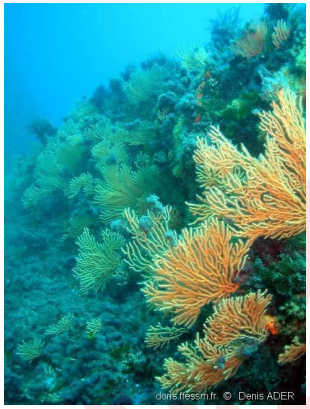
❑ **Répartition géographique** : Espèce très abondante en Méditerranée occidentale est absente dans le secteur oriental. Quelques observations en Atlantique.

❑ **Important à savoir** : espèce fragile, victime des coups de palmes, filets de pêches et mouillages de bateau elle est aussi la proie de nudibranches. Elle contient une substance psychotrope puissante.

❑ Sur certains sites, certaines populations ont été victimes d'une mortalité importante dont on ignore l'origine

GORGONE

Eunicella cavolinii – Gorgone jaune





- Couleur jaune-orangé
- Arborescence ramifiée, irrégulière et souvent dans un plan
- Polypes sur 4 rangées

❑ **Biotope** : Elle se rencontre à flanc de parois, plus rarement dans des anfractuosités ou des grottes. Espèces sciaphile de la biocénose coralligène. Présente de 10 à 30 m, et le plus souvent au dessus de *Paramuricea clavata*.

❑ **Alimentation** : L'organisation coloniale de plusieurs milliers d'individus permet à la nourriture capturée par quelques-uns de nourrir toute la communauté. De manière à optimiser les chances de capture, les arborescences sont surtout orientées perpendiculairement au courant afin de capter les particuliers organiques en suspension.

❑ **Répartition géographique** : commune dans toute la Méditerranée.

❑ **Important à savoir** : Elle craint le sédiment, ce qui explique qu'elle affectionne les tombants. Sa croissance est de 05 à 2 cm/an seulement, mais sa capacité de régénération est très importante. Cette espèce est la proie de nudibranches.

GORGONE

Corallium rubrum – Corail rouge de Méditerranée





- Colonie igide, arborescente
- Squelette axial entièrement minéralisé
- De couleur rouge, rose en grande pofondeur
- Polypes bancs très protubérants

❑ **Biotope** : Espèce sessile, benthique, fixée sur substrats durs. Colonise les substrats rocheux facilement exposés à la lumière. Présent à faibles profondeurs, au plafond des grottes. Se rencontre dés 5 m mais plutôt par 30 jusqu'à 100 m et même 400 m de profondeur.

❑ **Alimentation** : Filtreur passif, la nourriture est prélevée par les tentacules des polypes alimentés par le courant qui filtrent l'eau. Pas de système de pompage. Peut également se nourrir de substances dissoutes dans l'eau de mer.

❑ **Répartition géographique** : Espèce plus ou moins endémique de Méditerranée, localisée dans la partie occidentale. Quelques observations en Atlantique entre le Portugal et le Cap vert.

❑ **Important à savoir** : espèce sensible aux variations de température, la vitesse de croissance varie selon le lieu et l'alimentation mais reste faible avec seulement quelques mm/an. Espèce prélevé par hommes. Inscrite en annexe III de la convention de Berne et en annexe III de la convention de Barcelone.

❑ **Paramètres d'élevage**:

ZOANTHIDAE

Parazoanthus axinellae – Anémone encroûtante jaune





- Polype jaune vif pédonculé
- Taille de 0,5 à 2 cm
- Coloniale encroûtante forme des tapis
- Nombre de tentacule variable mais toujours un multiple de 6

❑ **Biotope** : Vit toujours fixé sur un support dur, à l'entrée des grottes, surplomb rocheux (environnement obscur). Balayées par un courant relativement important entre 1 à 100m de fond. L'espèce est sciaphile et craint l'ensablement.

❑ **Alimentation** : Cette espèce est microphage, zoophage prédateur. Le courant apporte des proies microscopiques du zooplancton principalement. Si celles-ci frôlent les tentacules, les cnidocytes (cellules urticantes) des anémones déployées, piquent la proie, et lui injectent un poison. La proie est ensuite amenée jusqu'à la bouche puis digérée.

❑ **Répartition géographique** : Atlantique, Méditerranée, Manche, mer du Nord

❑ **Divers** : Les anémones encroûtantes jaunes se fixent fréquemment sur de la roche, du bois mort (épaves, etc...) mais aussi sur des tuniciers, coquilles, gorgones et sur d'autres êtres vivants.

4.2. PHASE DE PRELEVEMENT

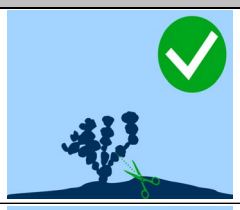
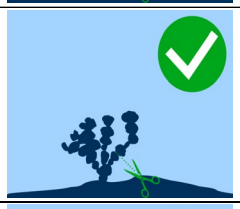
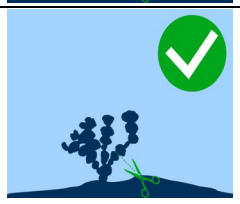
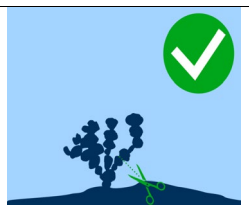
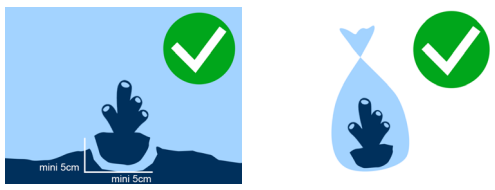
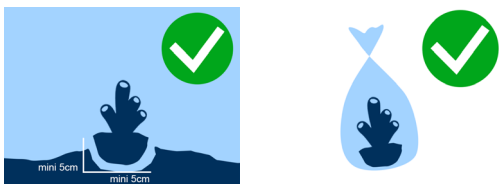
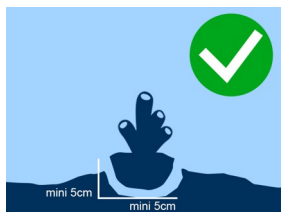
Le prélèvement a été réalisé au large du Cap Ferrat les 22 et 23 juin 2021 entre 40 et 50 mètres de profondeur.

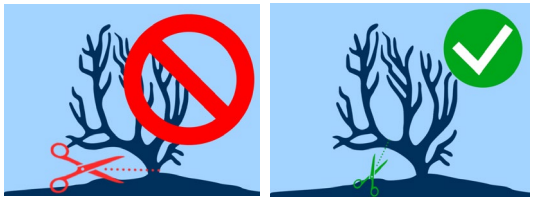
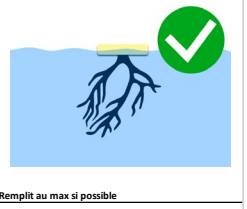
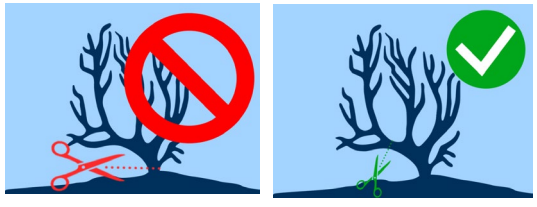
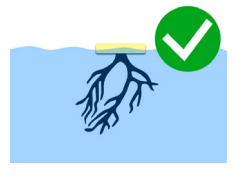
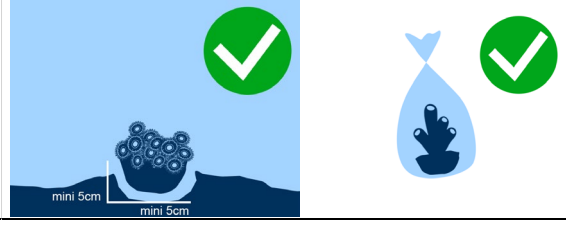
Plusieurs techniques de prélèvement ont été utilisées en fonction des espèces, selon le protocole décrit ci-après (Tableau 2).

- Algues : prélevées avec leur substrat et/ou en conservant les rhizoïdes, à l'aide d'un filet,
- Spongiaires et ascidies : prélevées avec leur substrat dans des poches à poisson, avec une poche immergée pour éviter le contact avec l'air et les microbulles,
- Bryozoaires : prélevés avec leur substrat.
- Gorgones et zoanthides : prélevés avec leur substrat et /ou fragmentation in situ. A suspendre tête en bas pour éliminer l'hypersécrétion de mucus.

La quantité de pieds mères prévue initialement n'a pas pu être entièrement collectée lors des plongées, car les tailles recherchées n'ont pas toutes été trouvées. Les espèces prélevées ont intégré la ferme le 23/06/2021.

Tableau 2 : protocole de prélèvement adapté à la liste des espèces cibles du projet

Groupe	Espèce	Nombre de bouture	Taille moy. des boutures	Technique de prélèvement	Schéma prélèvement	Matériel de prélèvement	Glacière de stockage	Volume d'eau Glacière de stockage
Algue verte	*Halimeda tuna*	40	10cm max	En prélevant son substrat et /ou en conservant les rhizoïdes - Taille possible		filet de prélèvement + sécateur ou pince coupante et/ou marteau et petit burin. Possibilité de regrouper tout dans le même filet 1	Glacière 1 avec bullage 	Remplir à moitité
Algue verte	*Flabellia petiolata*	40	10cm	En prélevant son substrat et /ou en conservant le pédoncule - Taille possible		filet de prélèvement + sécateur ou pince coupante et/ou marteau et petit burin. Possibilité de regrouper tout dans le même filet 1	Glacière 1 avec bullage 	Remplir à moitité
Algue rouge	*Mesophyllum spp (M. Alternans, M. expansum)*	40	10cm	Se détache facilement - En prélevant son substrat et taille possible		filet de prélèvement + sécateur ou pince coupante et/ou marteau et petit burin. Possibilité de regrouper tout dans le même filet 2	Glacière 2 avec bullage 	Remplir à moitité
Algue rouge	*Lithophyllum stictaeforme*	40	10cm	En prélevant son substrat (plutôt très adhérente)		filet de prélèvement + sécateur ou pince coupante et/ou marteau et petit burin. Possibilité de regrouper tout dans le même filet 3	Glacière 2 avec bullage 	Remplir à moitité
Algue rouge	*Peyssonnelia spp (P. suamaria, P. Rosa-marine, P. polymorpha)*	40	>10cm	En prélevant son substrat et /ou en conservant les rhizoïdes - Taille possible		filet de prélèvement + sécateur ou pince coupante et/ou marteau et petit burin. Possibilité de regrouper tout dans le même filet 3	Glacière 2 avec bullage 	Remplir à moitité
Spongiaire	*Axinella spp (A. polypoides, A. damicornis, A. verrucosa)*	20 de chaque	*A. polypoides* 20cm *A. damicorni* s 10cm *A verrucosa* 10cm	En prélevant son substrat 5x5cm + Prélever avec poche immergée pour éviter le contact avec air et les micro-bulles		marteau burin + Poche à poisson (5 par poches max)	Glacière 3 avec brasseur immergé attention pas de microbulles ! Libérer les spongiaires sous l'eau dans une glacière remplit	Remplir à moitité
Spongiaire	*Aplysina cavernicola*	20	10cm	En prélevant son substrat 5x5cm + Prélever avec poche immergée pour éviter le contact avec air et les micro-bulles		marteau burin + Poche à poisson (5 par poches max)	Glacière 3 avec brasseur immergé attention pas de microbulles ! Libérer les spongiaires sous l'eau dans une glacière remplit	Remplir à moitité
Ascidie	*Microcosmus sabatieri*	20	10cm	En prélevant son substrat 5x5cm + Prélever avec poche immergée pour éviter le contact avec air et les micro-bulles		marteau burin + Poche à poisson (5 par poches max)	Glacière 3 avec brasseur immergé attention pas de microbulles ! Libérer les spongiaires sous l'eau dans une glacière remplit	Remplir à moitité
Bryozoaire	*Reteporella spp (R. grimaldii et R. mediterranea)*	20 de chaque	*R. grimaldii* 10cm *R. mediterranea* 5cm	En prélevant son substrat 5x5 cm		marteau burin + filet 4 et filet 5 (1 espèce par filet)	Glacière 4 avec barsseur immergé attention pas de microbulles ! t 	Remplir à moitité
Bryozoaire	*Myriapora truncata*	20	10 à 15cm	En prélevant son substrat 5x5 cm		marteau burin + filet 6	Glacière 4 avec brasseur immergé attention pas de microbulles ! 	Remplir à moitité
Bryozoaire	*Adeonella calveti*	20	10 à 15cm	En prélevant son substrat 5x5 cm		marteau burin + filet 7	Glacière 4 avec brasseur immergé attention pas de microbulles ! 	Remplir à moitité
Bryozoaire	*Schizomavella mamillata*	20	10cm	En prélevant son substrat 5x5 cm		marteau burin + filet 8	Glacière 4 avec barsseur immergé attention pas de microbulles ! 	Remplir à moitité

Gorgonaire	*Paramuricea clavata*	20	20-25cm forme arborescente	en prélèvement son substrat et /ou fragmentation in situ.		sécateur ou pince coupante + filet de prélèvement 9	Galcière 5 + brassage fort A suspendre tête en bas pour éliminer hypersécrétion de mucus 	 Remplit au max si possible
Gorgonaire	*Eunicella cavolinii*	20	20-25cm forme arborescente	en prélèvement son substrat et /ou fragmentation in situ.		sécateur ou pince coupante + filet de prélèvement 10	Galcière 6 + brassage fort A suspendre tête en bas pour éliminer hypersécrétion de mucus 	 Remplit au max si possible
Gorgonaire	*Corallium rubrum*	4-5	10 cm	Captage sur plaque ?		filet de prélèvement + polystyrène pour stockage	Galcière 7 + suspendre avec polystyrène	
Zoanthide	*Parazoanthus axinellae*	20	10 cm	En prélevant son substrat 5x5 cm		marteau burin + Poche à poisson (5 par poches max)	glacière 8 avec brassage faible	attention Palytoxine ne pas gratter ni sortir hors de l'eau (jet). Se laver les mains , rincer à l'eau douce si plaies, ne pas toucher muceuses et yeux en cas de contact. Utiliser gants et lunetet de protection lors de manipulation

5. ELEVAGE ET BOUTURAGE

5.1. CAMPAGNES DE BOUTURAGE

En 2021, les premières phases de test de bouturage ont débuté, tout en laissant suffisamment de temps entre chaque test pour vérifier que le taux de cicatrisation des boutures était satisfaisant. L'ensemble des espèces de coralligène a ainsi pu être progressivement bouturé. 4 sessions de bouturage ont été réalisées entre juillet et septembre (Tableau 3).

En 2022, deux sessions supplémentaires ont lieu en mars. Elles ont permis de réaliser une centaine de boutures supplémentaires.

La manipulation des organismes a été réalisée à l'aide de pinces et de gants en nitrite. Les éponges ont été manipulées et déplacées à l'aide de bassines pour rester continuellement immergées, afin d'empêcher le contact avec l'air et d'éventuelles microbulles.

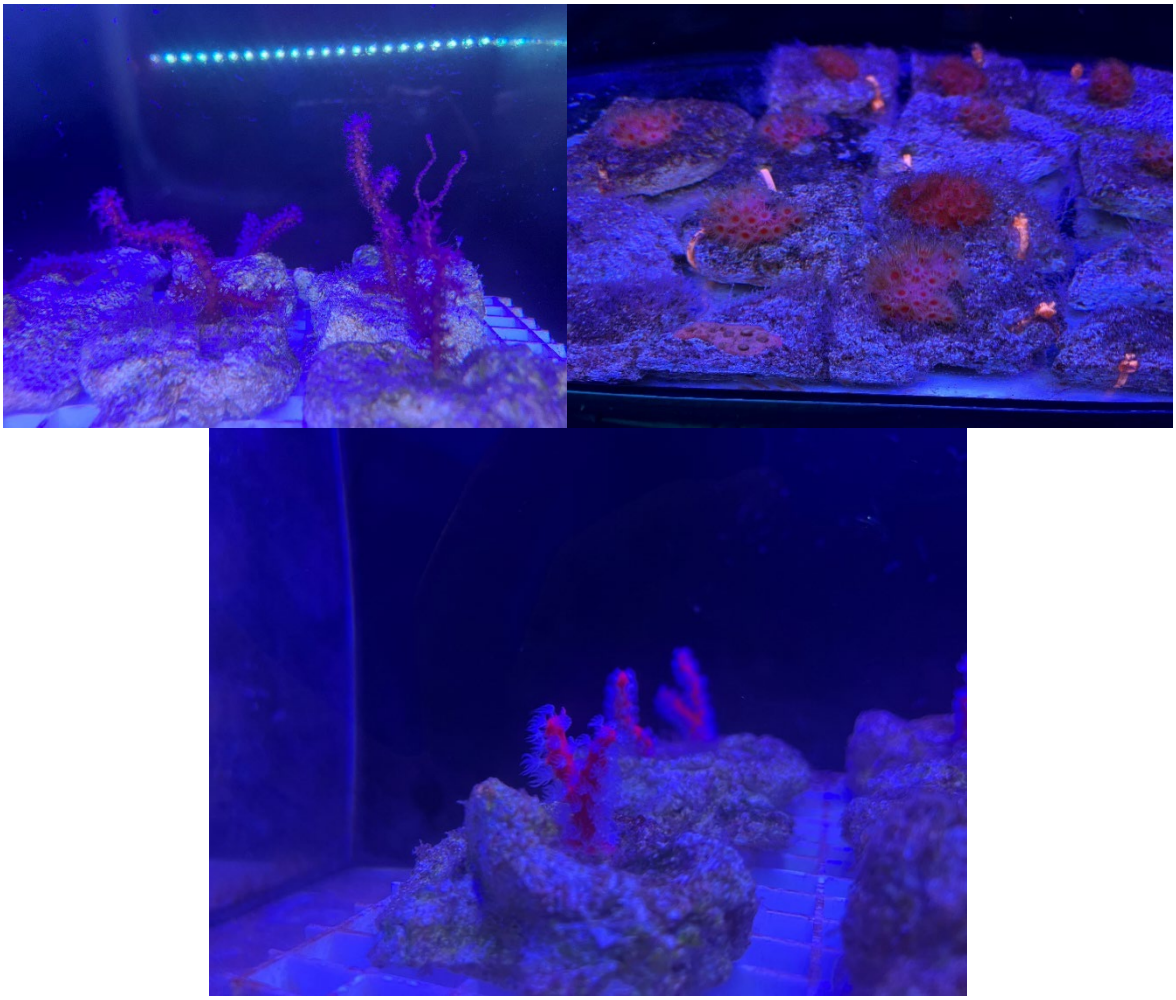


Figure 4 : boutures de Paramuricea clavate (à gauche), de Parazoanthus axinellae (à droite) et de Corallium rubrum (en bas)

Tableau 3 : détail des bouturages réalisés par espèce

Groupe	Espèce	Quantité prélevées	Quantité bouturées	Fixation géniteurs	Bouturage						Boutures en stock au 01/04/22	Géniteurs en stock au 01/04/22
					Session 1 13/07/21	Session 2 21/07/21	Session 3 09/09/21	Session 4 16/09/21	Session 5 22/03/22	Session 6 31/03/22		
Algue verte	*Halimeda tuna*	5	x15 (13/07/21)								4	5
	Flabellia petiolata	10	x16 (13/07/21)								2	reste fragments
Algue rouge	*Mesophyllum spp* *Lithophyllum stictaeforme*	10	x10 (17/09/21)								10	10
	Peyssonnelia squamaria	4	x4 (09/09/21)								4	4
Spongiaire	*Axinella polypoides*	4	x1 (16/09/21) **~2 à 3 cm**								1	4
	Axinella damicornis	4	x4 (16/09/21) **~2 à 3 cm**								4	4
	Axinella verrucosa	3	x1 (16/09/21) **~2 à 3 cm**								1	3
	Aplysina carvernicola	12	0								0	12
Bryozoaire	*Reteporella grimaldii*	1	0								0	0
	Myriapora truncata	10 petits fragments	x4 (21/07/2021) **~3 à 4 cm**			x4 (~3 à 4cm)					0	8 petits fragments
	Adeonella calveti	1+ fragments	x4 (21/07/21) **~3 à 4 cm**			x4 (~3 à 4cm)					0	1
	Schizomavella mamillata	8	x4 (21/07/21) **~2 à 3 cm**			x4 (~3 à 4cm)					4	5
Gorgonaire	*Paramuricea clavata*	10	x8 (13/07/21) **~3,2 cm**	x10 (20/07/21)	x8 (~3.2cm)				x20 (~3-4cm)	x15 (~3-4cm)	39	10
	Eunicella cavolinii	20	x5 (9/09/21) **5 cm**	x20 (20/07/21)			x5 (5cm)		x20 (~3-4cm)	x10 (~3-4cm)	35	20
	Corallium rubrum	2	x1 (16/09/21) **5 cm**					x1 (5cm)	x9 (~3-4cm)		10	2
Zoanthide	*Parazoanthus axinellae*	2	x6 (9/09/21)							x22 (~2-3cm)	26	2

5.2. PROTOCOLE D'ELEVAGE

Le protocole d'élevage mis en place est détaillé par espèce dans le tableau ci-après (Tableau 4).

Tableau 4 : protocole d'élevage mis en place par espèce

Groupe	Espèce	Intérêts	Associations	Condition d'élevage	Lumière	Courant	Technique de prélèvement	Mode de prélèvement	Technique Reproduction	ZOOtechnique
Algue verte	*Halimeda tuna*	espèces ingénieures	AQUARIUM 1 BAS / Bassin 2	Lumière & Brassage modérée	Sciaphile mais peu être photophile	modéré à fort	en prélèvement son substrat et /ou en conservant les rhizoïdes	Bouturage	fragmentation du thalle	Eclairage puissant possible
Algue verte	*Flabellia petiolata*	espèces ingénieures	AQUARIUM 1 BAS / Bassin 2	Lumière & Brassage modérée	Sciaphile mais peu être photophile	modéré à fort	en prélèvement son substrat et /ou en conservant le pédoncule	Bouturage	fragmentation du thalle	Eclairage puissant possible
Algue rouge	*Mesophyllum spp (M. Alternans, M. expansum)*	espèces ingénieures	AQUARIUM 4 HAUT / Bassin 5	Lumière faible & Brassage Modérée	Sciaphile	faible	se détache facilement	Bouturage	fragmentation du thalle	Eclairage spécifique algue rouge
Algue rouge	*Lithophyllum stictaeforme*	espèces ingénieures	AQUARIUM 4 HAUT / Bassin 5	Lumière faible & Brassage Modérée	Sciaphile		prélèvement avec son substrat (plutôt très adhérente)	Bouturage	fragmentation du thalle	Eclairage spécifique algue rouge
Algue rouge	*Peyssonnelia spp (P. suamaria, P. Rosa-marine, P. polymorpha)*	espèces ingénieures	AQUARIUM 4 HAUT / Bassin 5	Lumière faible & Brassage Modérée	Sciaphile		en prélèvement son substrat et /ou en conservant les rhizoïdes	Bouturage	fragmentation du thalle	Eclairage spécifique algue rouge
Spongiaire	*Axinella spp (A. polypoides, A. damicornis, A. verrucosa)*	espèces complexifiantes	AQUARIUM 3 HAUT / Bassin 4	Lumière faible & Brassage Fort	Sciaphile	modéré	en prélèvement son substrat, garder immegée, attention au micro bulles !!!!!	Bouturage	fragmentation et ligature	
Spongiaire	*Aplysina cavernicola*	espèces complexifiantes	AQUARIUM 3 HAUT / Bassin 4	Lumière faible & Brassage Fort	Sciaphile/cavernicole	modéré	en prélèvement son substrat, garder immegée, attention au micro bulles !!!!!	Bouturage	fragmentation et ligature	
Ascidie	*Microcosmus sabatieri*		AQUARIUM 4 HAUT / Bassin 5	Lumière faible & Brassage Modérée				Captage		
Bryozoaire	*Reteporella spp (R. grimaldii et R. mediterranea)*	espèces pionnaires	AQUARIUM 4 HAUT / Bassin 6	Lumière faible & Brassage Modérée	Sciaphile	faible	en prélèvement son substrat et /ou fragmentation in situ	Bouturage	?	
Bryozoaire	*Myriapora truncata*	espèces ingénieures	AQUARIUM 4 HAUT / Bassin 7	Lumière faible & Brassage Modérée	Sciaphile		en prélèvement son substrat et /ou fragmentation in situ			
Bryozoaire	*Adeonella calveti*	espèces ingénieures	AQUARIUM 4 HAUT / Bassin 8	Lumière faible & Brassage Modérée	Sciaphile	faible	en prélèvement son substrat et /ou fragmentation in situ	Bouturage	fragmentation	
Bryozoaire	*Schizomavella mamillata*	espèces pionnaires	AQUARIUM 4 HAUT / Bassin 9	Lumière faible & Brassage Modérée	Sciaphile		en prélèvement son substrat	Bouturage	fragmentation	
Gorgonaire	*Paramuricea clavata*	espèces complexifiantes	AQUARIUM 3 HAUT / Bassin 4	Lumière faible & Brassage Fort	Sciaphile	modéré à fort	en prélèvement son substrat et /ou fragmentation in situ. A suspendre tête en bas pour éliminer hypersécrétion de mucus	Bouturage	fragmentation	cicatrisation puis repeuplement (croissance 1 à 5cm/an)
Gorgonaire	*Eunicella cavolinii*	espèces complexifiantes	AQUARIUM 3 HAUT / Bassin 4	Lumière faible & Brassage Fort	Sciaphile	modéré à fort	en prélèvement son substrat et /ou fragmentation in situ. A suspendre tête en bas pour éliminer hypersécrétion de mucus	Bouturage	fragmentation	cicatrisation puis repeuplement (croissance 1 à 2cm/an)
Gorgonaire	*Corallium rubrum*	espèces complexifiantes	AQUARIUM 3 HAUT / Bassin 4	Lumière faible & Brassage Fort				Captage		
Zoanthide	*Parazoanthus axinellae*	espèces complexifiantes	AQUARIUM 4 HAUT / Bassin 5	Lumière faible & Brassage Modérée	Sciaphile	modéré	en prélèvement son substrat et /ou fragmentation in situ	Bouturage	fragmentation	

Maintien / facilté bouturage	Facile	Moyen	Dur (captage plus adpaté)
Lumière	Faible	Modérée	
Brassage	Faible	Fort	

5.3. RESULTATS 2021

En 2021, les résultats ont été assez différents suivant les espèces.

a. Algues rouges, spongiaires et bryozoaires

Concernant les algues rouges, les spongiaires et les bryozoaires, les résultats sont mitigés. Bien que la cicatrisation semble s'être faite, aucune croissance n'a été observée. Il est difficile de savoir si cela est lié au stress de l'élevage, ou à leur croissance naturellement lente.

b. Algues vertes

La fixation des différentes espèces était correcte et nous avons également observé un départ de bourgeonnement notamment sur *Halimeda tuna* et *Flabellia petiolata*.

Néanmoins, il s'est avéré rapidement que les boutures étaient massivement colonisées par une algue primaire filamenteuse (Figure 5). Malgré les soins apportés et un entretien accru, l'algue s'est développée dans la ferme et a provoqué la mort des boutures.

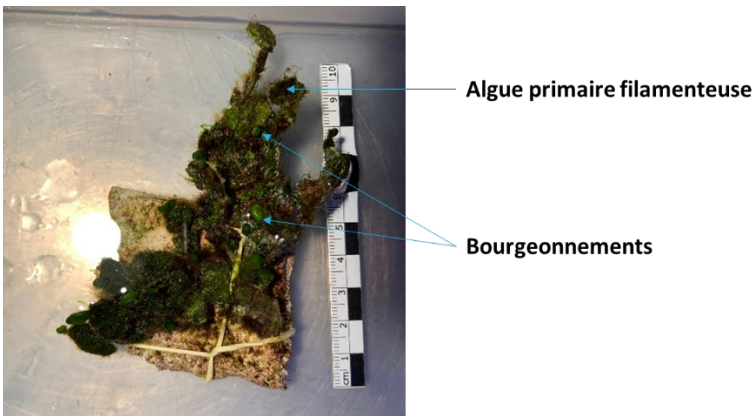


Figure 5 : recouvrement d'un individu d'algue verte par l'algue filamenteuse

c. Gorgonaires et Zoanthide

Concernant les gorgonaires et zoanthide, nous avons constaté un encroutement important dès les premières semaines après le bouturage. En effet, les pieds mère et les boutures d'*Eunicella cavolinii* et de *Paramuricea clavata* ont montré un encroûtement d'environ 1 cm^2 sur les supports, à peine 1,5 mois après leur fixation (Figure 6).

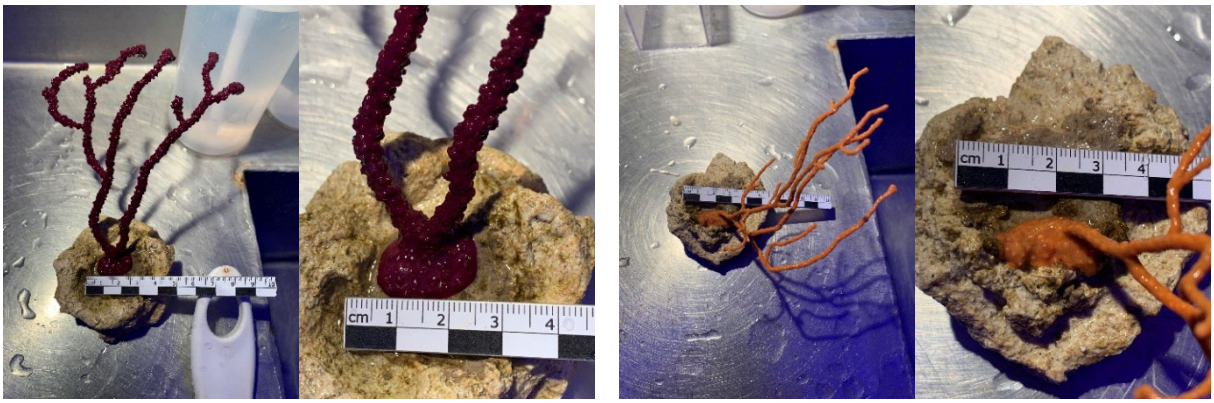


Figure 6 : encroûtement des pieds mère de Paramuricea clavata (en mauve) et de Eunicella cavolinii (en orange)

5.4. RESULTATS 2022

Afin de maximiser la réussite du bouturage et de la survie des individus, il a été décidé de privilégier les espèces qui se sont démarquées des autres via leur taux de cicatrisation et leur croissance. Le choix a donc été de ne poursuivre l'expérimentation que sur quatre espèces : ***Parazoanthus axinellae, Paramuricea clavata, Eunicella cavolinii* et *Corallium rubrum.***

En effet, en continuité de l'encroutement rapide observé en 2021, ces espèces ont poursuivi leur développement en 2022, avec également d'importantes pousses au niveau axial.

a. Paramuricea clavata

Le suivi de la croissance a permis d'observer un certain nombre de pousses pour cette espèce, avec notamment un développement axial très important.

Certaines pousses ont en effet doublé voire quadruplé de taille en l'espace de 9 mois (Figure 7 & Figure 8).

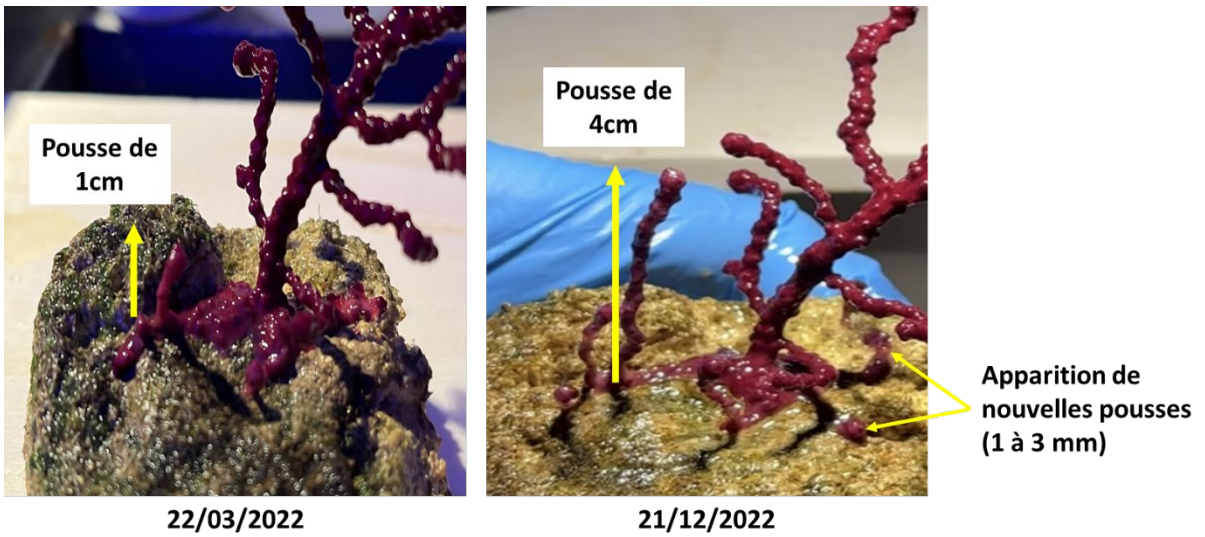


Figure 7 : géniteur 1. Paramuricea clavate

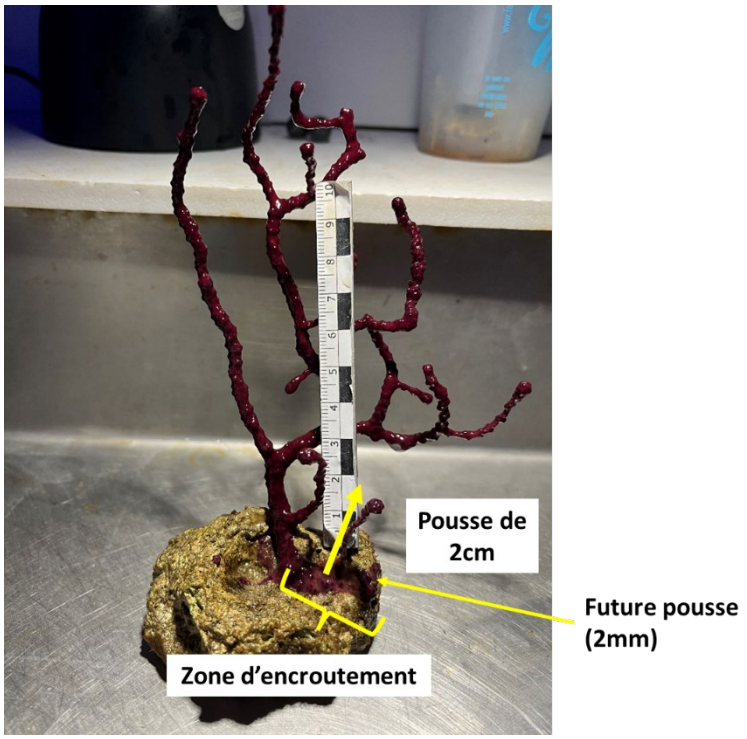


Figure 8 : géniteur 2. Paramuricea clavata

b. *Parazoanthus axinellae*

Les colonies ont continué de croître en 2022, aussi bien en largeur (encroûtement) qu'en hauteur (développement axial).

Des têtes de polypes sont apparues sur la zone périphérique d'encroutement, indiquant une expansion de la colonie (Figure 9).



Figure 9 : têtes de polype. Parazoanthus axinellae

La taille a presque été multipliée par deux en l'espace de quelques mois seulement (Figure 10).

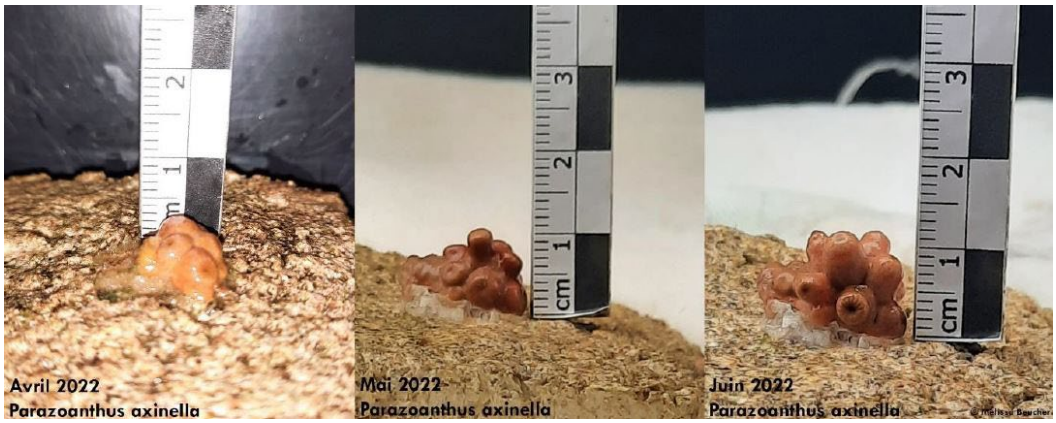


Figure 10 : évolution de la taille axiale d'une colonie. Parazoanthus axinellae (avril 2022 – juin 2022).

c. *Corallium rubrum*

Le corail rouge, espèce emblématique et protégée de Méditerranée, est représenté par deux colonies de 12 cm dans notre ferme, dont l'âge est estimé à 120 ans. Une dizaine de boutures ont été faites et se maintiennent avec succès, grâce à l'observation régulière du déploiement des polypes.

La croissance de cette espèce est très lente, d'environ 1 à 3 mm par an, nous n'avons donc pas pu clairement mesurer de croissance sur cette espèce.

d. *Mortalité observée*

Nous avons rencontré un bref épisode de nécrose sur les gorgones, aussi bien sur les géniteurs que les boutures (Figure 11). Ce phénomène, assez commun malgré la mise en place de protocoles de désinfection, est lié à la prolifération, sur des zones lésées, d'un protozoaire qui va entrainer la nécrose des tissus.

Nous avons pu stopper ce phénomène, grâce à des bains d'iode (désinfectant naturel). Nous n'avons ainsi perdu que neuf boutures et deux géniteurs de *Paramuricea axinellae* ainsi qu'un géniteur de *Eunicella cavolinii*. *E. Cavolinii* semble plus résistant que *P.clavata*.

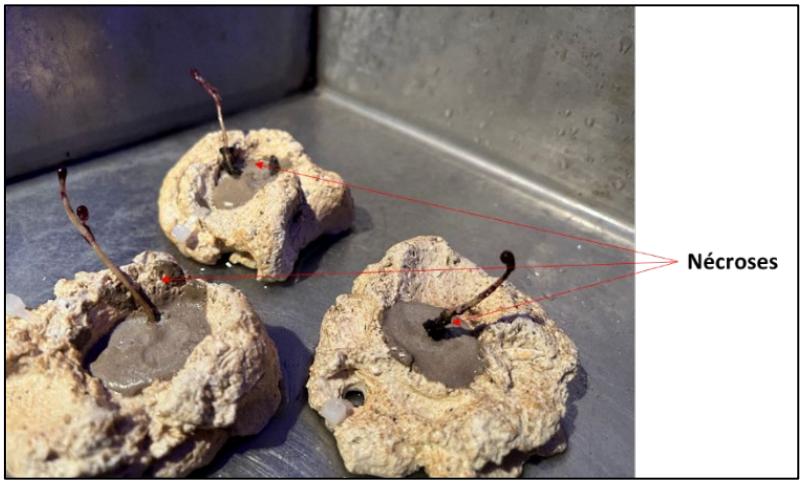


Figure 11 : nécroses de boutures de Paramuricea clavata

Ainsi, en fin d'année 2022, étaient présents dans la ferme 103 boutures et 31 géniteurs des quatre espèces présentées ci-avant (Tableau 5).

Tableau 5 : stock en élevage dans la ferme (Janvier 2023) sur les 4 espèces ciblées en 2022

Groupe	Espèce	Boutures en stock le 27/01/2023	Géniteurs en stock le 27/01/2023
Gorgonaire	*Paramuricea clavata*	30	8
	Eunicella cavolinii	35	19
	Corallium rubrum	10	2
Zoanthide	*Parazoanthus axinellae*	28	2
		103	**31**

5.1 RESULTATS 2023

En 2023, l'élevage des 4 espèces sélectionnées en 2022 s'est prolongé au sein de la ferme de Marseille. Des suivis de croissance par photographie sur les 4 espèces de coralligène ont été réalisés et ont permis de mettre en évidence comme en 2022 une bonne prise d'encroutement sur les supports ainsi que de la croissance axiale. Nous suspectons sur *Paramurica clavata* de la reproduction sexuée par émission de larve, puis une fixation de colonies de polypes à différents endroits sur le support (Figure 12).



Figure 12 : développement d'une colonie de polypes

Corallium rubrum (Corail rouge)

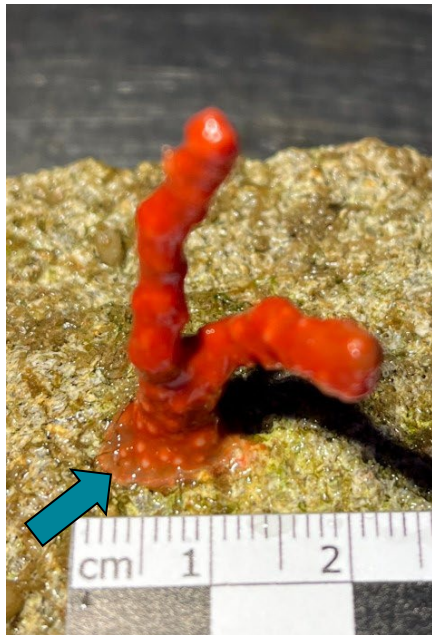
- Géniteurs



Juillet 2021
Avant bouturage

Mai 2023
Après bouturage

- Boutures



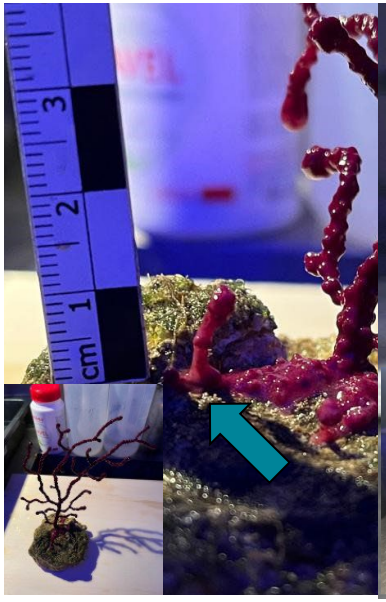
Février 2023 J-0
Début de la photométrie

Mai 2023 J+90

	Quantités	Taux de survie	Taux encroutement
Pieds mères	2	100%	100%
Boutures	10	100%	50%

Paramuricea clavata (Gorgone pourpre)

- Géniteurs:



22 Mars 2022 J-0
Début suivi par photométrie



14 Avril 2023 J+388

- Boutures:



13 Juillet 2021 J-0
Début suivi par photométrie



14 Avril 2023 J+640

	Quantités	Taux de survie	Taux encroutement	Croissance axiale (suivi par photométrie)
Pieds mères	10	70%	30%	0,897-2,65 cm/an **Moyenne**: 0,77 cm/an
Boutures	43	81%	16%	0,3-0,93 cm/an **Moyenne**: 0,741

Eunicella cavolinii (Gorgone jaune)

- Géniteurs:

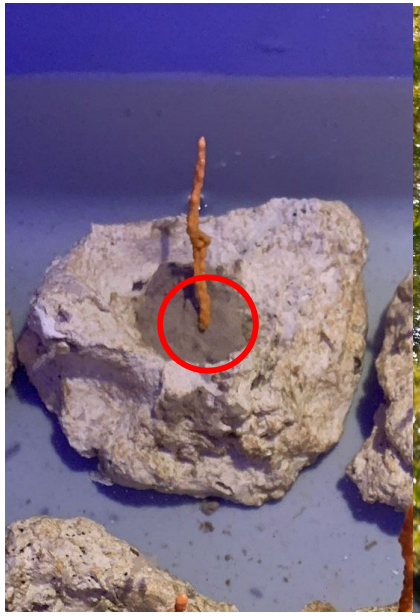


20 Juillet 2021 J-0
Avant bouturage, Mise sur support



14 Avril 2023
Bouturage en septembre 2022

- Boutures:



09 Juillet 2021 J-0
Mise sur support



15 Mai 2023 J+ 678

	Quantités	Taux de survie	Taux encroutement	Croissance axiale (suivi par photométrie)
Pieds mères	20	90%	55%	0,037-0,945 cm/an moyenne 0,225 cm/an
Boutures	35	63%	28%	0,018-0,978 cm/an moyenne 0,617 cm/an

Parazoanthus axinellae (Anémone encroûtante jaune)

Bouture 1:





09 Septembre 2021 J-0
7 Polypes

14 Avril 2023 J+577
52 Polypes

Bouture 2:





14 Février 2023 J-0
13 Polypes

14 Avril 2023 J+59
18 Polypes

	Quantités	Taux de survie	Taux encroutement	Croissance
Boutures	28	96%	100%	2,5 Polypes/mois

5.2 A RETENIR :

Plus de deux ans après leur prélèvement sur le site RESCOR, le taux de survie des 34 pieds mères prélevés est de 79 %, et celui des 116 boutures créées à partir des pieds mères et élevées à la ferme est de 85 % (chiffre du 29 août 2023).

Ce taux de survie varie selon les espèces prélevées :

- 100 % de survie pour le corail rouge *Corallium rubrum* (géniteurs comme boutures),
- 60 % de survie pour les gorgones rouges *Paramuricea clavata* géniteurs et 63 % pour les boutures,
- 85 % de survie pour les gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* géniteurs et 97 % pour les boutures,
- 100 % de survie pour les anémones *Parazoanthus axinella* (géniteurs comme boutures).

6. REPEUPLEMENT ET SUIVIS

Cette phase 2 du projet a fait l'objet d'un financement spécifique via le projet TRANSCOR (porté par ANDROMEDE). Elle est néanmoins présentée ici succinctement car elle s'inscrit dans le prolongement direct du projet OP-CORAL.

(Cf. détails en Annexe 2 : Projet RESCOR – OP CORAL – Rapport d'intervention, rédigé par Andromède en décembre 2023)

6.1. CONTEXTE (ARTICULATION OP-CORAL / RESCOR)

A Cap Ferrat (Alpes Maritimes), des récifs coralligènes, préalablement ensevelis par la formation d'un talus sédimentaire provenant d'opérations de forage, ont fait l'objet en 2018 d'un retrait de sédiment et d'un nettoyage. Ce projet, appelé RESCOR, a d'abord débuté par une étude des caractéristiques physico-chimiques des sédiments des zones de projet et de dépôt qui n'a montré aucune contre-indication à la réalisation des opérations de nettoyage et de retrait des sédiments. La cartographie des zones de projet et de dépôt par levés au sonar latéral et vérités terrain a confirmé l'absence de substrats durs sur la zone de dépôt ainsi que l'absence d'espèce protégée ou d'intérêt patrimoniale. Durant vingt jours répartis entre septembre 2018 et avril 2019, les opérations de retrait de sédiments et de nettoyage par jet d'eau ont permis de retirer 50 m^3 de sédiments, de mettre à jour 150 m^2 de substrat dur situé à droite de l'émissaire et de nettoyer 500 m^2 de récif coralligène. Andromède a ensuite procédé au suivi temporel des communautés des récifs coralligènes pendant cinq ans. Les récents résultats (ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2023) ont montré que cette méthode innovante de restauration est efficace puisqu'elle a permis de rétablir la dynamique de l'écosystème préexistant avant son recouvrement.

En parallèle du suivi de ces communautés des récifs coralligènes, le projet « OP CORAL » mené par ECOCEAN en partenariat avec l'Agence de l'eau et ANDROMEDE OCEANOLOGIE, a consisté à prélever sur le même site différentes espèces en 2021. ECOCEAN a ensuite assuré leur élevage et bouturage dans leur ferme expérimentale à Marseille pendant plus de deux ans. A l'automne 2023, le projet RESCOR se poursuit par la conception et l'expérimentation d'un protocole de repeuplement de quatre espèces associées aux récifs coralligènes (corail rouge *Corallium rubrum*, la gorgone rouge *Paramuricea clavata*, la gorgone jaune *Eunicella cavolinii* et l'anémone *Parazoanthus axinellae*) afin que le site RESCOR soit un site atelier complet de restauration écologique de récifs coralligènes. Ce projet, soutenu par l'Agence de l'eau et la Métropole Nice Côte d'Azur, sera suivi durant cinq ans.

6.2. PREPARATION DES LOTS ET FIXATION

Cette phase a nécessité au préalable un travail spécifique d'acclimatation à la ferme et de préparation des lots à repeupler.

Tableau 6 : quantité de boutures et géniteurs repeuplés en octobre 2023

Espèce	Boutures	Géniteurs	TOTAL
Corallium rubrum	10	2	12
Eunicella cavolini	28	19	47
Paramuricea clavata	20	6 (+2 in-situ)	28
Parazoanthus axinellae	24		24
			111

La phase de réimplantation a débuté en octobre 2023 par une campagne de repiquage de 111 individus (82 boutures et 29 géniteurs) appartenant à quatre espèces associées aux récifs coralligènes (Tableau 8) :

- 12 individus de corail rouge,
- 47 gorgones jaunes,
- 28 gorgones rouges
- 24 anémones encroûtantes.

Les transplants et leur support ont été positionnés à l'aide d'un mastic époxy bi-composants (Figure 13) de manière diffuse sur le site, de part et d'autre de l'émissaire de la Causinière, entre 34 et 38 mètres de profondeur (Figure 14).

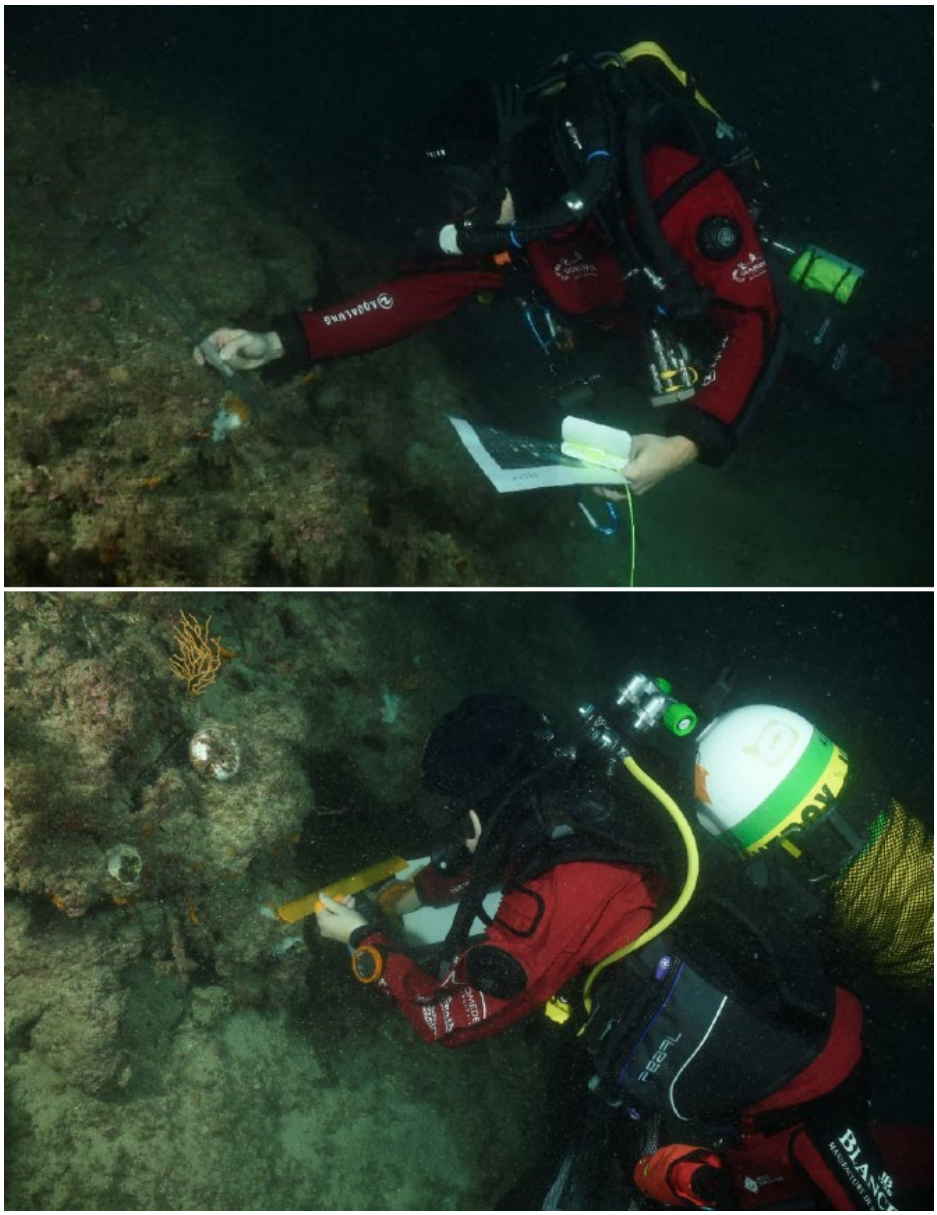


Figure 13 : collage d'une bouture



Figure 14 : carte d'implantation des Transplants

Afin de maximiser les chances de recrutement et le succès de la fixation, les zones présentant des espèces naturellement présentes ont été privilégiées, ainsi que des zones présentant des macro-nécroses et/ou ayant fait l'objet d'un désensevelissement dans le cadre du projet RESCOR en 2018. Après la campagne de repiquage, une photogrammétrie globale du site a été effectuée (Figure 15).

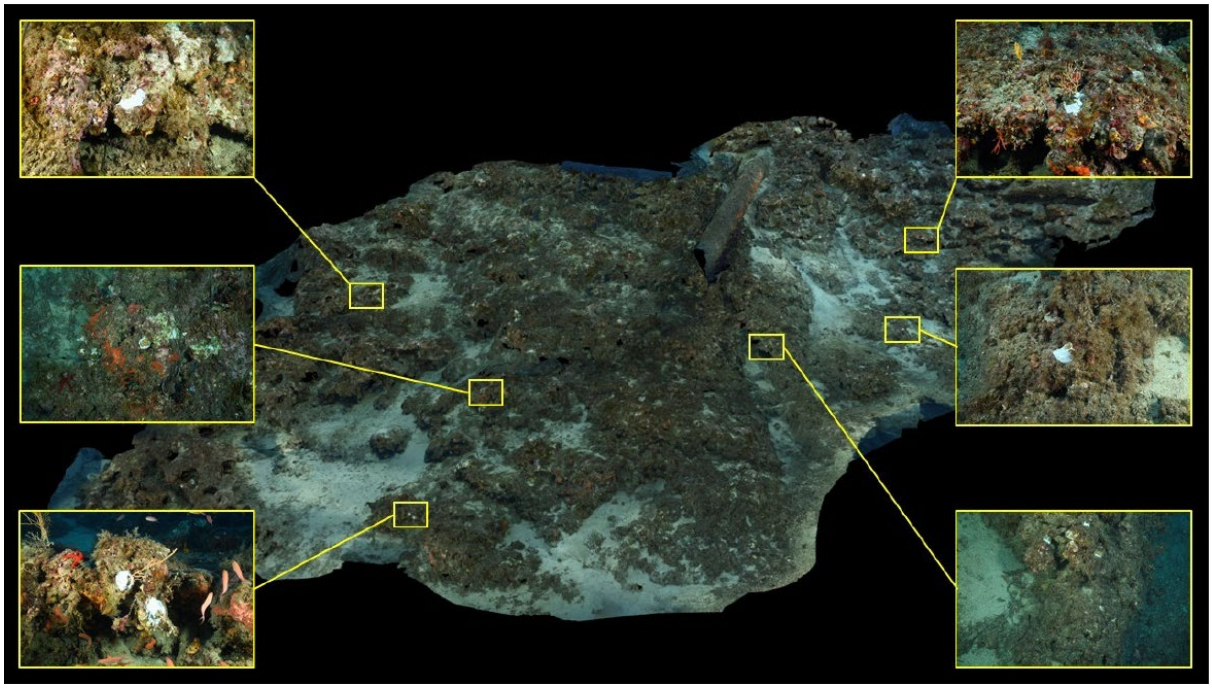


Figure 15 : exemple d'illustration photogrammétrique utilisée pour les suivis

L'analyse de ce modèle 3D initial produit par photogrammétrie a permis de pointer et identifier chacun des transplants. Un identifiant unique a été attribué à chaque transplant et permet d'évaluer leur survie dans le temps (présence / absence).

Compte tenu de la réimplantation diffuse, du nombre important de transplants, et la grande surface de la zone de repiquage (670 m^2), nous avons défini quatre zones. Faciles à repérer sous l'eau, elles permettent de suivre un nombre représentatif de transplants (n=38). Pour suivre plus spécifiquement ces transplants, deux méthodes sont appliquées à chaque suivi :

- 1/ une photogrammétrie à fine échelle permettant de mesurer le taux de survie (et éventuellement compléter les mesures de croissance et de nécrose) ;
- 2/ des mesures in-situ des dimensions de chaque transplant et son taux de nécrose afin de suivre la croissance des individus transplantés.

Le premier suivi post-repiquage réalisé en novembre 2023 montre un taux de survie moyen de 87,5 % sur les quatre zones suivies (n=38 individus). Ce premier suivi a été réalisé après une forte période de tempêtes (Ciaran, Domingos, Elisa) qui ont eu une influence importante notamment sur l'apport en sédimentation, la fixation des transplants mais également sur la température de l'eau. En effet, lors de la fixation des transplants une thermocline était présente vers -30 m. Les transplants transportés dans les glacières depuis la ferme étaient dans de l'eau à 14-15 degrés. Après les tempêtes, la thermocline avait disparu, et lors du suivi du 16 novembre 2023, la température était de 19 degrés au fond et la visibilité très mauvaise montrant un apport en sédiments. Lors de ce suivi, quasiment tous les individus ont pu être mesurés (à 0,5 cm près) permettant un suivi de leur croissance. Enfin, ce premier suivi confirme que la méthode de photogrammétrie est adaptée et permet d'évaluer la survie des individus transplantés.

Le prochain suivi aura lieu au printemps 2024. Une photogrammétrie globale de l'ensemble du site sera effectuée afin d'évaluer la survie de tous les individus transplantés (n=111), ainsi que des photogrammétries à plus fine échelle et des mesures in situ des individus au niveau des quatre zones de suivi.

7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le projet OP CORAL, mené sur la période comprise entre septembre 2020 et septembre 2023 visait à valider la faisabilité technique et administrative du prélèvement, du bouturage, du grossissement et de la réintroduction de différentes espèces constituant le coralligène.

Le travail mis en œuvre pendant ces 3 années a ainsi permis de répondre aux principaux objectifs fixés par le projet en permettant de :

1. Concevoir, fabriquer et mettre en fonctionnement une ferme expérimentale spécifiquement dédiée au bouturage et au grossissement d'espèces présentent dans le coralligènes.

2. Obtenir les autorisations d'ouverture et d'exploitation pour cette ferme expérimentale.

3. Valider la capacité (habilitation) du responsable de la ferme à travailler sur les espèces ciblées (capacitaire salarié Ecocean).

- ⇨ *Perspectives : La ferme, installée au sein de la station MIR-Ecocean dans le grand Port maritime de Marseille a ainsi fonctionné de juin 2021 à septembre 2023. Le matériel et le savoir faire acquis, peuvent permettre aujourd'hui de facilement et rapidement dupliquer ou reproduire ce type d'opération soit à des fins scientifiques soit de manière plus opérationnelle dans le cadre de projets de restauration ciblés sur un petit nombre d'espèces.*

4. Obtenir les autorisations de prélèvement de coralligène auprès de la DIRMM.

5. Identifier une vingtaine d'espèces cibles du coralligène pour lesquelles un protocole de prélèvement spécifique a pu être conçu et mis en œuvre (permettant le prélèvement effectif d'une douzaine d'espèces parmi les espèces cibles).

- ⇨ *Perspectives : Les protocoles de prélèvement proposés et validés sont aujourd'hui potentiellement duplicables sur de nouvelles espèces. Les échanges menés auprès de la DIRMM indiquent que les autorisations de prélèvement d'espèces sont possibles dans le cadre d'opérations à caractère scientifique ou dans une perspective de restauration d'espèces.*

6. Elaborer et mettre en place un protocole d'élevage et de bouturage pour les espèces prélevées. Réaliser les premières expérimentations en élevage et cibler un nombre plus restreint d'espèces pour prolonger l'expérimentation (espèces offrant un fort potentiel de bouturage et d'élevage).

7. Réaliser l'élevage et les suivis (sur 2 ans) des géniteurs et des boutures pour 4 espèces en particulier : le corail rouge *Corallium rubrum*, les gorgones rouges *Paramuricea clavata*, les gorgones jaunes *Eunicella cavolinii*, les anémones *Parazoanthus axinaellae*.

8. Valider les protocoles de prélèvement, de bouturage et d'élevage pour ces 4 espèces sur la base des résultats obtenus en élevage (taux de survie, taux de cicatrisation et taux de croissance) :

- Pour le corail rouge Corallium rubrum : 100 % de survie (géniteurs comme boutures) – taux de croissance naturellement trop faible pour être mesuré sur la période.
- Pour les gorgones rouges Paramuricea clavata : 60 % de survie pour les géniteurs et 63 % pour les boutures – taux de croissance moyen en élevage de 0,7 cm/an pour les boutures et 0,8 cm/an pour les géniteurs.
- Pour les gorgones jaunes Eunicella cavolinii : 85 % de survie pour les géniteurs et 97 % pour les boutures – taux de croissance moyen en élevage de 0,6 cm/an pour les boutures et 0,2 cm/an pour les géniteurs.
- Pour les anémones Parazoanthus axinaellae : 100 % de survie (géniteurs comme boutures) – taux de croissance de 2,5 polypes/mois en moyenne pour les boutures.

⇨ *Perspectives : Les protocoles de prélèvement, bouturage et élevage ainsi que les suivis mis en œuvre sur ces 4 espèces sont aujourd'hui validés et duplicables. Il pourrait être pertinent de prolonger ce type d'opérations sur de nouvelles espèces issues du coralligène afin de pouvoir diversifier à terme les repeuplements.*

9. Identifier un site de repeuplement (pour cela le projet OP-CORAL a pu s'appuyer sur le site d'expérimentation RESCOR) et élaborer et mettre en place un protocole de repeuplement pour ces 4 espèces, qui a permis :

- Pour le corail rouge *Corallium rubrum* : 2 géniteurs prélevés et réintroduits, 10 boutures réalisées et réintroduites.
- Pour les gorgones rouges *Paramuricea clavata* : 10 géniteurs prélevés, 4 entièrement bouturés, et 4 ont été repeuplés (2 n'ont pas survécu à l'élevage). 43 boutures ont été réalisées dont 26 ont été réintroduites.
- Pour les gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* : 20 géniteurs prélevés, dont 19 ont été réintroduits et 35 boutures réalisées dont 28 ont été réintroduites.
- Pour les anémones *Parazoanthus axinaellae* : 2 géniteurs prélevés, 28 boutures ont été réalisées dont 24 ont été réintroduites.

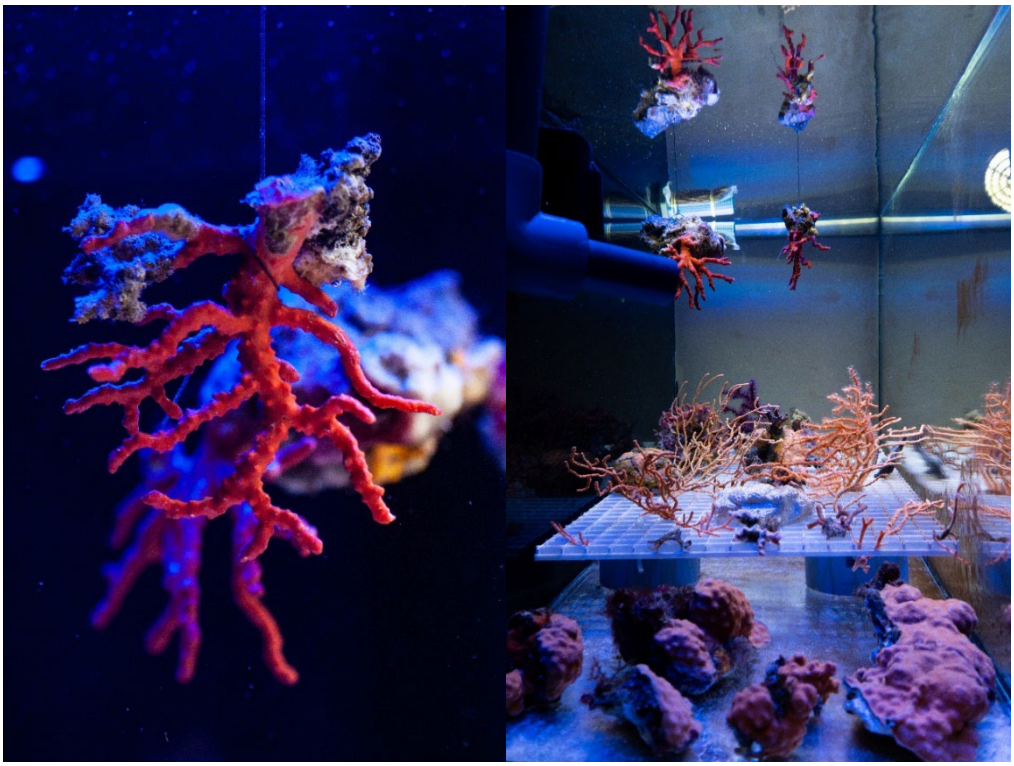
10. Définir et réaliser un protocole de suivi scientifique portant sur la vitalité des espèces repeuplées : un premier suivi a pu être réalisé sur cette première phase (suivi réalisé sur financements spécifiques hors de cette convention N°2021 0450). Les résultats de ce premier suivi (réalisés en novembre 2023 après une période de fortes tempêtes : Ciaran, Domingos, Elisa) sont encourageants, ils montrent un taux de survie moyen de 87,5 % sur les quatre zones suivies. Lors de ce suivi, quasiment tous les individus ont pu être mesurés (à 0,5 cm près) permettant par la suite un suivi de leur croissance. Enfin, ce premier suivi confirme que la méthode de photogrammétrie est adaptée et permet d'évaluer la survie des individus transplantés.

⇨ *Perspectives : Une nouvelle étape est maintenant engagée (phase 2 : janvier 2023 - août 2026) qui porte plus spécifiquement sur la prolongation des suivis scientifiques in situ (sur financements spécifiques hors convention N°2021 0450). Cette seconde phase portée par Andromède doit permettre d'évaluer les taux de survie et de croissance à plus long terme*

des individus transplantés sur la zone du Cap Ferrat et contribuer à valider la globalité du process mis en œuvre.

A ce stade le travail mené aura donc permis de lever les principaux verrous techniques ou administratifs liés au prélèvement, au bouturage, et à l'élevage d'espèces de coralligènes développé dans OP-Coral. Même si les premiers suivis réalisés en novembre 2023 sont positifs (pour les 4 espèces repeuplées), il reste cependant encore à valider à plus long terme la survie des individus, avant de pouvoir mettre en place des opérations de plus grande ampleur visant notamment à :

- « booster » des zones et/ou de restaurer des zones dépeuplées. Cela suppose au préalable d'avoir bien identifié l'origine de cette perte d'espèces ou d'individus et d'agir en amont sur ces phénomènes.
- Intervenir sur des opérations de maintien et de conservation de ces écosystèmes fragiles et anciens, dans le cadre de zones de protection ou d'aires marines protégées.
- Ou bien encore proposer des solutions « de réparation », de réduction ou de compensation de dommages avérés ou à venir sur le coralligène (zones de travaux, de rejets, …)



8. ANNEXES

ANNEXE 1 : Autorisation de prélèvement de la DIRMM (Décision N° 16_2021 portant autorisation au mandataire d'Ecocean d'effectuer en scaphandre autonome des prélèvements de faune et de flore à des fins scientifiques).

ANNEXE 2 : Projet RESCOR – OP CORAL – Rapport d'intervention (rédigé par Andromède en décembre 2023)

PRÉFET
DE LA RÉGION
PROVENCE- ALPES-
CÔTE D'AZUR

Liberté
Égalité
Fraternité

Direction Interrégionale
de la mer Méditerranée
Service Réglementation/Contrôles

Décision n° 16
portant autorisation aux mandataires d'ECOCEAN d'effectuer en scaphandre autonome des prélèvements de faune et de flore à des fins scientifiques.

Le préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur,
Préfet de la zone de défense et de sécurité Sud,
Préfet des Bouches-du-Rhône,

VU le règlement (CE) n° 1967/2006 du Conseil du 21 décembre 2006 modifié (notamment l'article 13 alinéa 1), concernant des mesures de gestion pour l'exploitation durable des ressources halieutiques en Méditerranée et modifiant le règlement (CEE) n° 2847/93 et abrogeant le règlement (CE) n°1626/94 ;

VU le règlement (CE) n°1224/2009 du Conseil du 20 novembre 2009 modifié instituant un régime communautaire de contrôle afin d'assurer le respect des règles de la politique commune de la pêche ;

VU le règlement (UE) 2019/1241 du parlement européen et du conseil en date du 20 juin 2019 relatif à la conservation des ressources halieutiques et à la protection des écosystèmes marins par des mesures techniques, modifiant les règlements (CE) n°2019/2006 et n°1224/2009 du conseil et les règlements (UE) n°1380/2013, (UE) 2016/1139, (UE) 2019/472 et du 2019/1022 du parlement européen et du conseil ;

VU le livre IX du code rural et de la pêche maritime et notamment l'article R 921-76 et suivants ;

VU le décret n° 2004-374 du 29 avril 2004 modifié relatif aux pouvoirs des préfets, à l'organisation et à l'action des services de l'Etat dans les régions et départements ;

VU le décret n° 2010-130 du 11 février 2010 modifié relatif à l'organisation et aux missions des Directions Interrégionales de la Mer ;

VU l'arrêté ministériel du 28 décembre 2012 encadrant les différentes opérations de pêche aux fins scientifiques définies par la réglementation européenne ou nationale et applicables aux navires français immatriculés dans l'Union européenne ;

VU l'arrêté du 28 janvier 2013 modifié déterminant la taille minimale ou le poids minimal de capture et de débarquement des poissons et autres organismes marins pour la pêche professionnelle;

VU l'arrêté préfectoral du 24 août 2020 portant délégation de signature à Monsieur Eric LEVERT, Directeur interrégional de la mer Méditerranée ;

VU la demande présentée par Ecocean en date du 17 décembre 2020 ;

.../...

16, rue A. Zattara - CS 70248 – 13331 Marseille Cedex 03 -
Tel 04 86 94 67 00
www.dirm.mediterranee.developpement-durable.gouv.fr

DÉCIDE

ARTICLE 1er

Sont autorisées à effectuer des plongées sous-marines avec scaphandre autonome pour des prélèvements d'échantillons biologiques (faune et flore) exclusivement dans un but scientifique pour les besoins de son projet de recherche OP CORAL (coralligène) les personnes titulaires du certificat d'aptitude à l'hyperbarie dont les noms suivent:

Nom Prénom	Certificat d'aptitude à l'hyperbarie Classe	Mention
Andromède Océanologie		
GUILBERT Antonin	III	B
HOLON Florian	III	B
MARRE Guilhem	II	B
BOCKEL Thomas	II	B
BLANDIN Agathe	II	B
DETER Julie	II	B

ARTICLE 2

Sauf autorisation expresse de la direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement, de Provence -Alpes-Côte d'Azur, cette autorisation de prélèvement exclut les espèces suivantes :

- Mérou brun (Epinephelus marginatus)
- Posidonie (*Posidonia oceanica*)
- Cymodocée (*Cymodocea nodosa*)
- Caulerpa taxifolia
- Grande nacre (Pinna Nobilis)
- Jambonneau rude (Pinna pernula)
- Patelle géante (Patella ferruginea)
- Datte de mer (Lithophaga lithophaga)
- Grande cigale (Scyllarides latus)
- Oursin diadème (Centrostephanus longispinus)

ARTICLE 3

Cette autorisation est valable pour les deux zones suivantes situées dans le département des Alpes Maritimes :
Saint Jean Cap Ferrat coordonnées GPS 43°40.493N 07°20.054 E
Port de Nice coordonnées GPS 43°41.508 N 07°16.843E

ARTICLE 4

Les bénéficiaires de la présente autorisation devront être dûment mandatés par le directeur d'Ecocéan

ARTICLE 5

Le navire « ANDROMEDE MC 1 » immatriculé MO 8459 propriétaire ANDROMEDE OCEANOLOGIE MONACO SARL sera utilisé pour les plongées.

.../...

ARTICLE 6

Les captures effectuées devront être limitées en quantité aux nécessités de la recherche et ne pourront en aucun cas être mises à la vente.

ARTICLE 7

Les bénéficiaires de la présente autorisation devront se conformer à toutes les conditions particulières qui pourraient leur être imposées dans l'intérêt de la navigation par les directeurs départementaux des territoires et de la mer territorialement compétents et devront, en outre, se soumettre à tout contrôle demandé par les agents chargés de la surveillance des pêches.

ARTICLE 8

La présente autorisation est accordée à titre précaire et révocable jusqu'au 31 décembre 2021.

ARTICLE 9

Le présent arrêté peut être contestée dans les deux mois suivant sa notification, soit par recours gracieux auprès de l'auteur de la décision, soit par recours contentieux devant la juridiction administrative compétente. La juridiction administrative peut être saisie par l'application « télérecours citoyens » accessible par le site https://www.telerecours.fr
En cas de recours gracieux l'absence de réponse dans un délai de deux mois fait naître une décision implicite de rejet qui peut être déférée devant la juridiction administrative dans les deux mois suivants.

ARTICLE 10

Le directeur interrégional de la mer Méditerranée est chargé de l'application et de la notification de la présente décision.

Marseille, le 16 février 2021

Pour le Préfet et par délégation,
Pour le Directeur et par délégation,

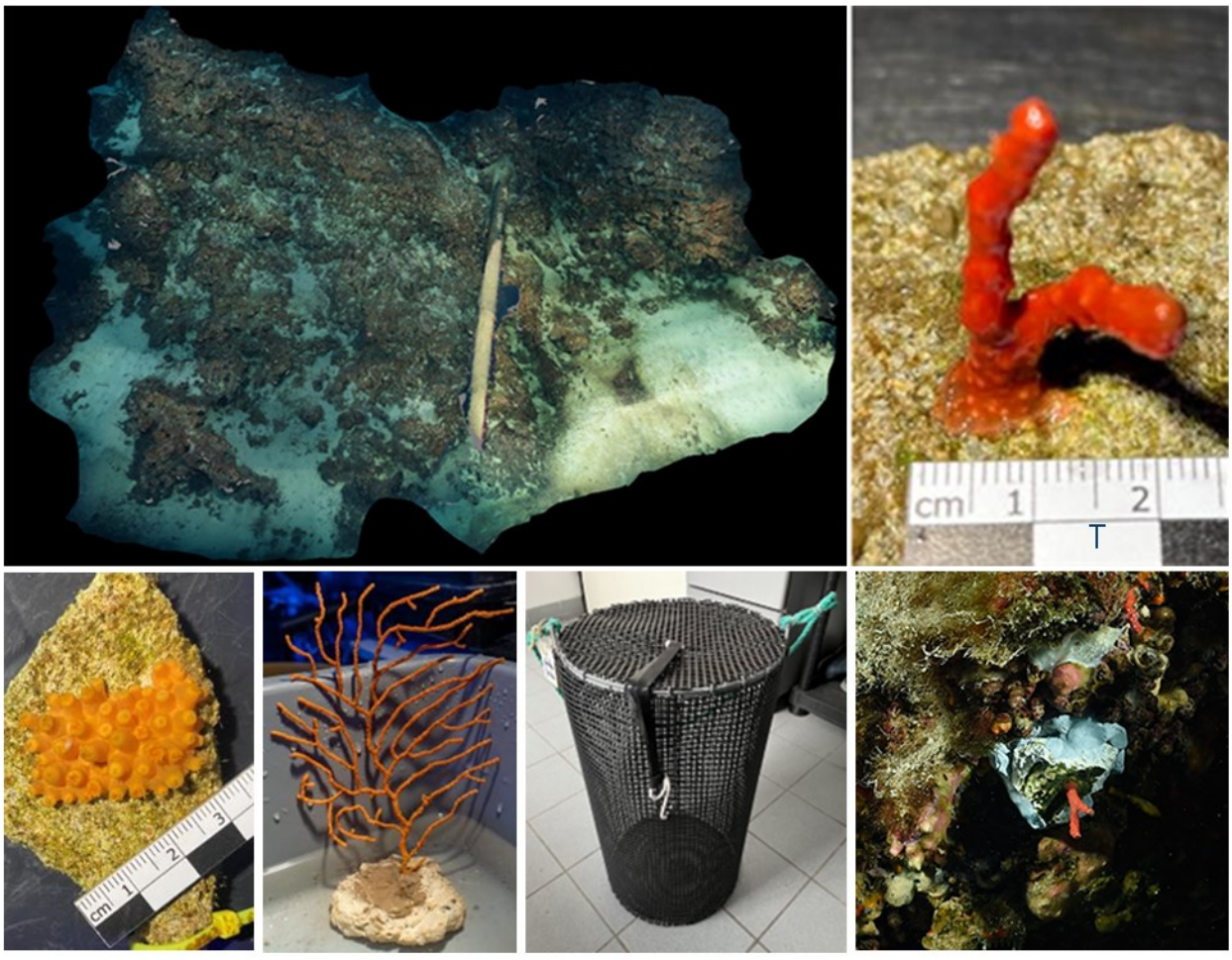
Le directeur interrégional de la mer
Méditerranée
Eric LEVERT

Diffusion :
Ecocean

Copies :
- RAA DIRM
- DDTM/DML 06
- CNSP Etel
- Dossier RC

Projet RESCOR

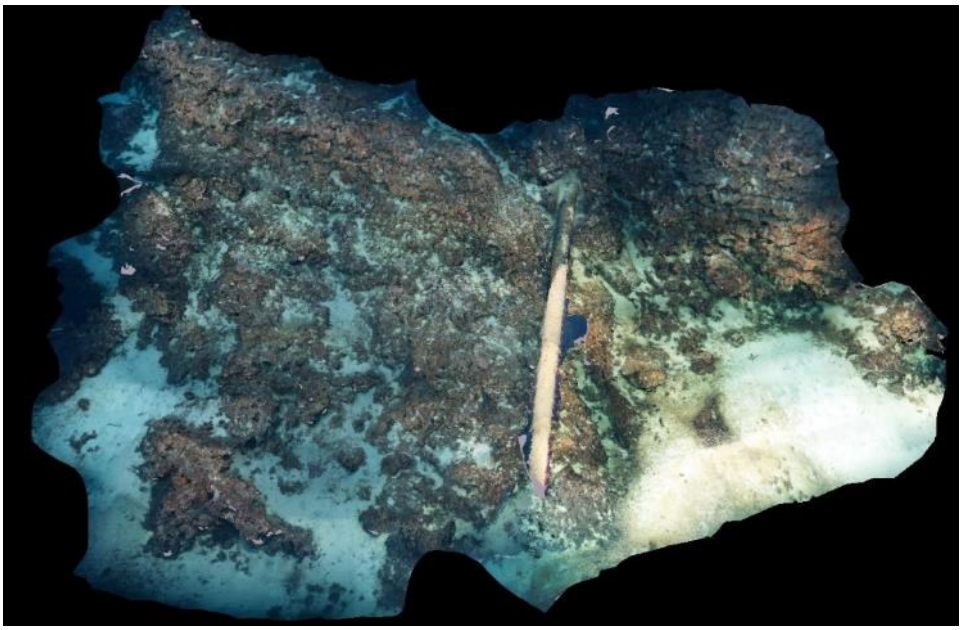
Rapport d'intervention



Décembre 2023

ANDROMEDE OCEANOLOGIE

7, place Cassan - Quai des pêcheurs
34 130 Mauguio - France
Tél. : 04.67.66.32.48
contact@andromede-ocean.com



Vue d'ensemble du site RESCOR modélisée par photogrammétrie (Crédit : Andromède Océanologie)

Coordination Andromède :
DELARUELLE Gwénaëlle (gwenaelle.delaruelle@andromede-ocean.com)
HOLON Florian (florian.holon@andromede-ocean.com)

Coordination Agence de l'eau RMC :
BOISSERY Pierre (Pierre.BOISSERY@eaurmc.fr)

Coordination ECOCEAN :
LECAILLON Gilles (gilles.lecaillon@ecocean.fr), LAILHEUGUE Laure (laure.lailheugue@ecocean.fr), FORTIN Antony (antony.fortin@ecocean.fr), EINSARGUEIX Damien (damien.einsargueix@ecocean.fr)

Coordination Métropole Nice Côte d'Azur :

MEINESZ Coralie (coralie.meinesz@nicecotedazur.org)

CAMBAS Céline (celine.cambas@nicecotedazur.org)

Traitement des données et rédaction :

Ce document doit être cité sous la forme suivante :

ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2023. Projet RESCOR - Expérimentation de transplantation d'espèces des communautés de récifs coralligènes. Rapport d'intervention. Projet Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse / ECOCEAN / Métropole Nice Cote d'Azur / Andromède Océanologie. 30 p.

Sommaire

RESUME DU PROJET **1**

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS **2**

II. METHODOLOGIE ET RESULTATS **4**
II.A. Phase préalable – Automne 2023 ..... *4*
II.B. Phase opérationnelle – Automne 2023 ..... *8*
II.C. Phase d'évaluation *11*

III. CONCLUSION **21**

IV. BIBLIOGRAPHIE **22**

V. ANNEXE **25**

Résumé du projet

A Cap Ferrat (Alpes Maritimes), des récifs coralligènes préalablement ensevelis par la formation d'un talus sédimentaire provenant d'opération de forage ont fait l'objet en 2018 d'un retrait de sédiment et d'un nettoyage dans le cadre. Ce projet, appelé **RESCOR**, a d'abord débuté par une étude des caractéristiques physico-chimiques des sédiments des zones de projet et de dépôt qui n'a montré aucune contre-indication à la réalisation des opérations de nettoyage et de retrait des sédiments. La cartographie des zones de projet et de dépôt par levés au sonar latéral et vérités terrain a confirmé l'absence de substrats durs sur la zone de dépôt ainsi que l'absence d'espèce protégée ou d'intérêt patrimoniale. Durant vingt jours répartis entre septembre 2018 et avril 2019, les opérations de retrait de sédiments et de nettoyage par jet d'eau ont permis de retirer 50 m3 de sédiments, mettre à jour 150 m² de substrat dur situé à droite de l'émissaire, nettoyer 500 m² de récif coralligène. Andromède a ensuite procédé au suivi temporel des communautés des récifs coralligènes pendant cinq ans.

Les récents résultats (ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2023) ont montré que cette méthode innovante de restauration est efficace puisqu'elle a permis de rétablir la dynamique de l'écosystème préexistant avant son recouvrement. La fiche descriptive du projet RESCOR est présentée en Annexe.

En parallèle du suivi de ces communautés des récifs coralligènes, le projet « OP CORAL » mené par ECOCEAN en partenariat avec l'Agence de l'eau et ANDROMEDE OCEANOLOGIE, a consisté à prélever sur le même site différentes espèces en 2021. ECOCEAN a ensuite assuré leur élevage et bouturage dans leur ferme expérimentale à Marseille pendant plus de deux ans. A l'automne 2023, le projet **RESCOR** se poursuit par la **conception et l'expérimentation d'un protocole de repeuplement de quatre espèces** associées aux récifs coralligènes (corail rouge *Corallium rubrum*, la gorgone rouge *Paramuricea clavata*, la gorgone jaune *Eunicella cavolinii* et l'anémone *Parazoanthus axinellae*) afin que le site RESCOR soit un site **atelier complet de restauration écologique** de récifs coralligènes. Ce projet, soutenu par l'Agence de l'eau et la Métropole Nice Côte d'Azur, sera suivi durant cinq ans.

Ce rapport présente la phase de repeuplement réalisée en octobre 2023 et les premiers résultats du suivi scientifique des individus transplantés un mois après les opérations.

I. Contexte et objectifs

Le site « RESCOR » se situe dans le site **Natura 2000 Cap Ferrat**, au sud-est du cap portant le même nom, entre **-32 et -40 m**. Ici l'habitat a été impacté lors de travaux de réhabilitation de l'émissaire de la Causinière effectués en 2007 qui ont provoqué un ensevelissement du récif coralligène sur une petite partie. Avec le soutien de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et de la MNCA, ANDROMEDE OCEANOLOGIE a procédé au retrait de sédiments et au nettoyage du site impacté par l'installation d'une conduite, puis au suivi temporel des communautés des récifs coralligènes pendant cinq ans. Les récents résultats (ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2023) ont montré que cette méthode innovante de restauration est efficace puisqu'elle a permis de rétablir la dynamique de l'écosystème préexistant avant son recouvrement. La fiche descriptive du projet RESCOR est présentée en Annexe.

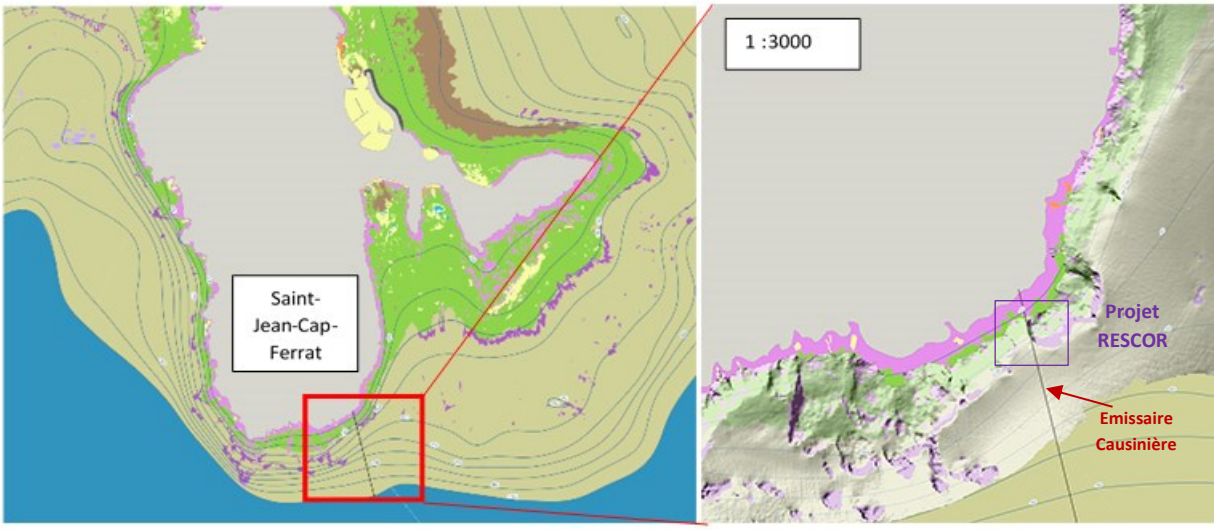


Figure 1 : Localisation de la zone du projet RESCOR au Sud-Est du Cap Ferrat à proximité de l'émissaire de la Causinière (source : www.plateforme.medtrix.fr).

En parallèle du suivi des communautés des récifs coralligènes, le projet « **OP CORAL** » (porté par **ECOCEAN** et Andromède Océanologie et soutenu par l'Agence de l'eau RMC) a consisté à prélever sur le même site **17 espèces**. Ces prélèvements, effectués le 23 juin 2021 par Andromède, ont été transmis à ECOCEAN qui a assuré leur élevage et bouturage dans leur ferme expérimentale à Marseille. Au printemps suivant, aucune mortalité n'était à déplorer mais les algues vertes et rouges, les spongiaires et les bryozoaires n'ont pas été gardés à la ferme en raison d'une absence de **croissance visible** (état végétatif). Les espèces conservées ont été **le corail rouge *Corallium rubrum*, la gorgone rouge *Paramuricea clavata*, la gorgone jaune *Eunicella cavolinii* et l'anémone *Parazoanthus axinellae***.

Après cette phase d'acclimatation de cinq à six mois, les animaux ont été élevés par ECOCEAN en conditions contrôlées grâce aux rampes LED Alpheus qui produit des cycles lunaires, des crépuscules, des aurores mais également des périodes nuageuses et orageuses. Un suivi hebdomadaire de paramètres physico-chimiques (salinité, pH, alcalinité, calcium, température, …) a été réalisé durant toute la période d'élevage qui comprenait un nourrissage (deux méthodes comprenant chacune deux protocoles différents) une fois par semaine.



Sept sessions de bouturages ont été effectuées entre juillet 2021 et mai 2022. Les boutures et pieds mères des quatre espèces ont été fixées sur des socles très poreux en céramique provenant de l'entreprise Aquaroche.

*Figure 2 : [1] Socle en céramique provenant d'Aquaroche de 12*14 cm ; [3] Fixation d'une bouture de gorgone rouge sur un socle.*

Plus de deux ans après leur prélèvement sur le site RESCOR, le taux de survie des 34 pieds mères prélevés est de 79 %, et celui des 116 boutures créées à partir des pieds mères et élevées à la ferme est de 85 % (chiffre du 29 août 2023). Ce **taux de survie varie selon les espèces prélevées** : 100 % de survie pour le corail rouge *Corallium rubrum* (géniteurs comme boutures), 60 % de survie pour les gorgones rouges *Paramuricea clavata* géniteurs et 63 % pour les boutures, 85 % de survie pour les gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* géniteurs et 97 % pour les boutures, et 100 % de survie pour les anémones *Parazoanthus gracilis* (géniteurs comme boutures). Le taux de cicatrisation est de 100 %.

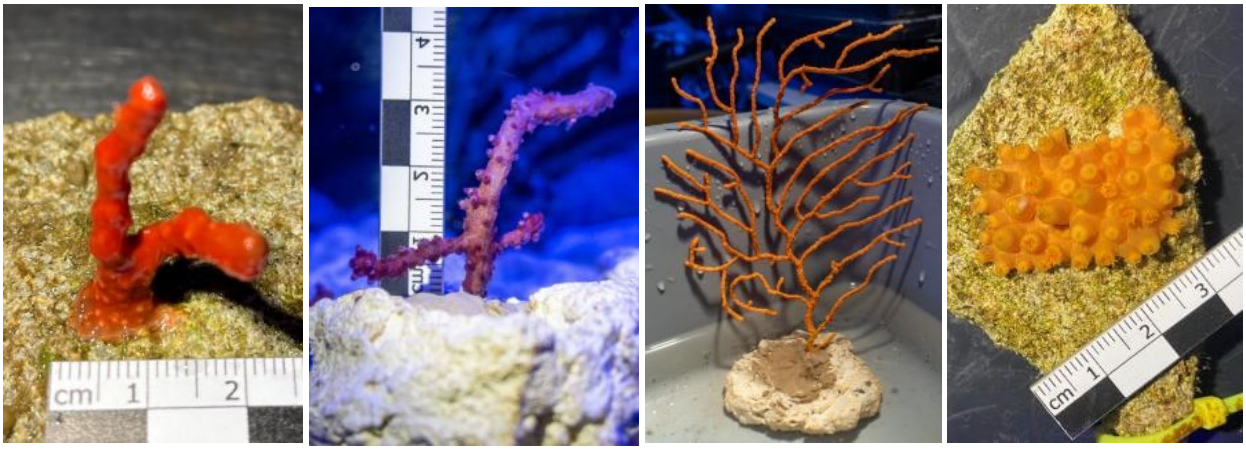


Figure 3 : [1] Bouture de corail rouge ; [1] Bouture de gorgone rouge ; [3] Pied mère de gorgone jaune ; [4] [1] Bouture d'anémones (source : ECOCEAN, 2023).

Afin que le site RESCOR soit un site atelier complet de restauration écologique de récifs coralligènes, Andromède Océanologie, avec le soutien de l'Agence de l'eau RMC et la Métropole Nice Côte d'Azur, poursuit le projet **RESCOR** (2023-2027).

L'objectif du projet est de concevoir et expérimenter un protocole de repeuplement de quatre espèces associées aux récifs coralligènes et effectuer leur suivi scientifique des individus transplantés chaque année.

II. Méthodologie et résultats

Pour ce projet, les activités de recherche se déroulent suivant trois phases : une **phrase préalable** (rédaction des protocoles de repiquage et de suivi, identification des zones de repiquage), une **phase opérationnelle** (campagne de repeuplement) et une **phase d'évaluation** (suivi scientifique). Ce rapport d'intervention présente les phases préalable et opérationnelle, puis les premiers résultats du suivi scientifique des individus transplantés un mois après les opérations de repiquage.

II.A. Phase préalable – Automne 2023

II.A.1. **Note de synthèse sur les protocoles de repiquage et de suivi**

Une **synthèse bibliographique** sur chacune des quatre espèces à repiquer sera disponible dans le rapport annuel du projet. Elle présentera la distribution géographique et biotope de chaque espèce, les méthodes existantes de transplantation, les méthodes de suivi, et les résultats existants.

II.A.2. **Identification des zones de repiquage**

Le repiquage est effectué sur le site RESCOR, entre **-35 et -40 mètres de profondeur, autour de l'émissaire de la Causinière**. Les zones de repiquage sont identifiées sur la base du modèle 3D du site (effectué par photogrammétrie en novembre 2021 dans le cadre du projet RESCOR) et par les biologistes d'Andromède lors de plongées en amont du repiquage.

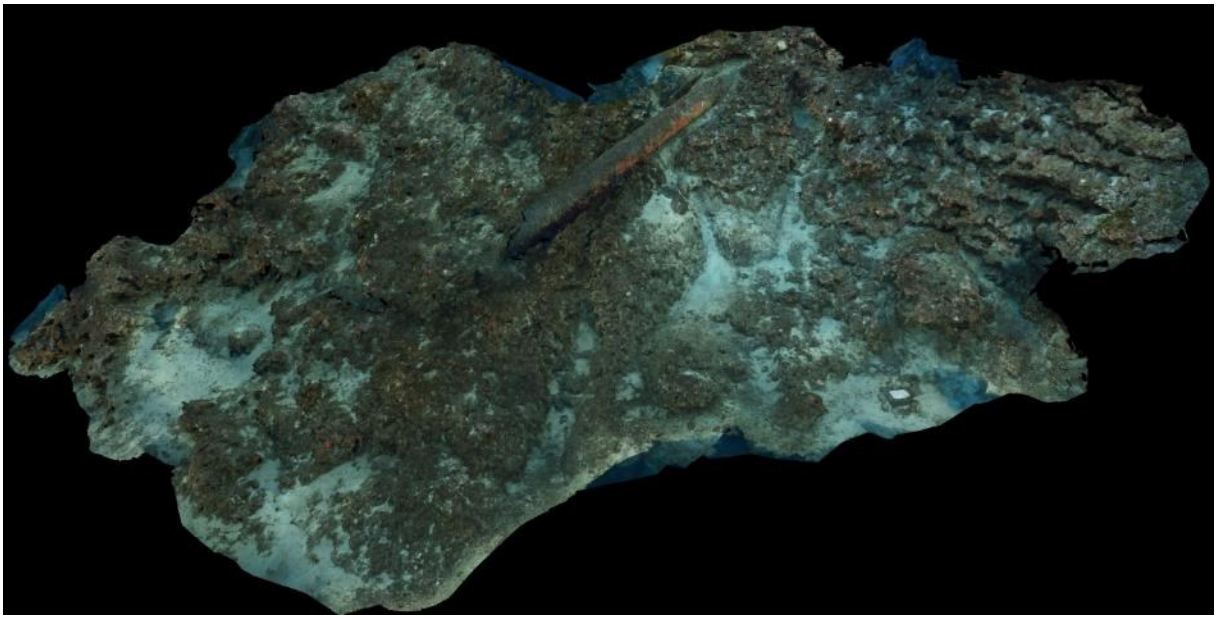


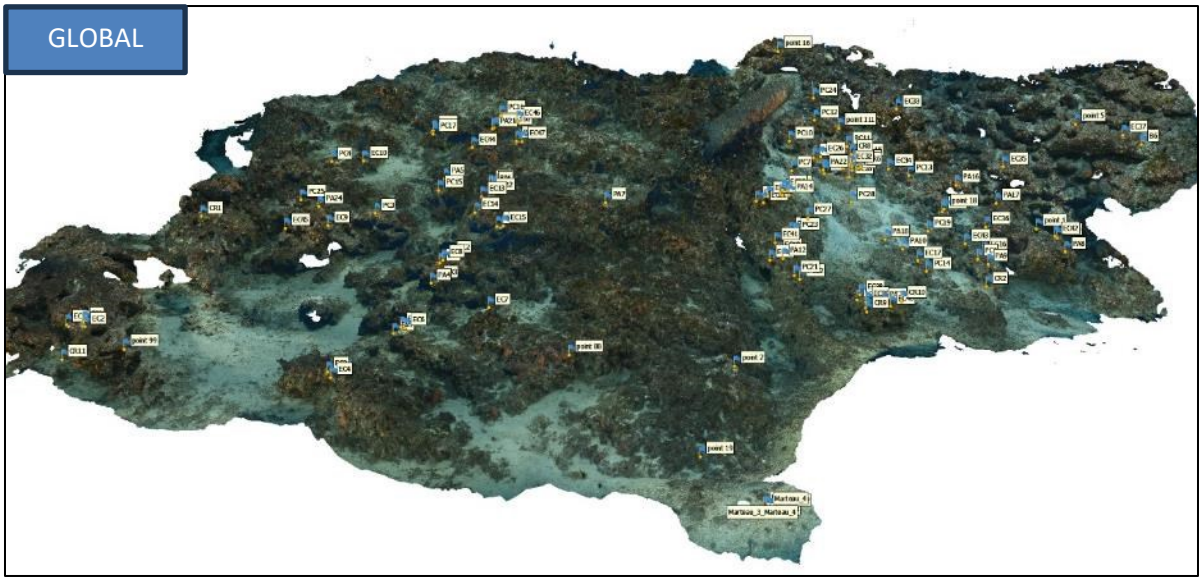
Figure 4 : Site de repiquage reconstitué en 3D par photogrammétrie (octobre 2023).

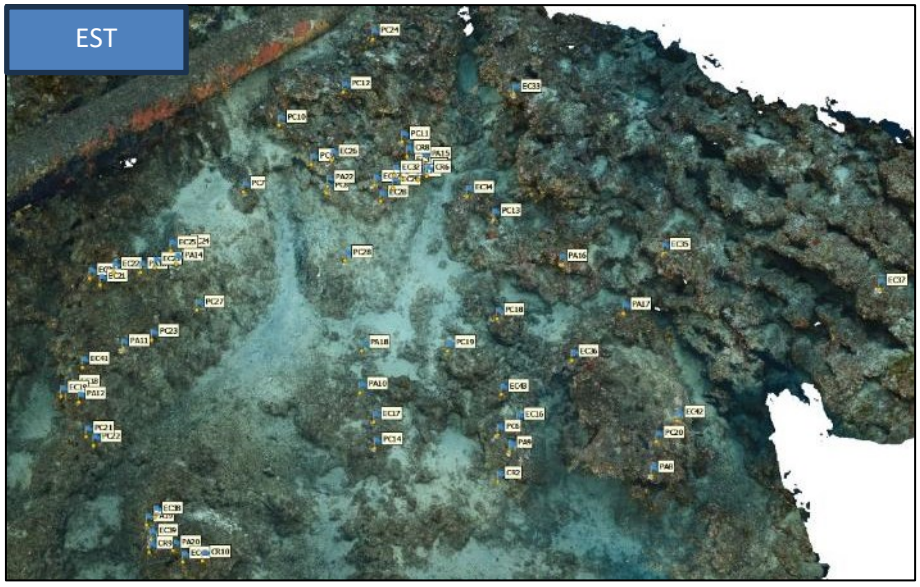
La première configuration envisagée pour le repiquage était de **définir trois îlots de réimplantation** contenant une **quarantaine d'individus** chacun, qui prendraient en compte les caractéristiques des

espèces et de la zone (repiquage sur des parois verticales et en forte densité pour les gorgones rouges ; repiquage sur des pentes douces et sous des surplombs, en forte densité, pour le corail rouge…).

Suite aux plongées effectuées en amont du repiquage, les biologistes d'Andromède ont fait le choix de réimplanter les espèces au niveau des zones présentant des espèces **naturellement présentes et principalement sur des macro-nécroses** et/ou des zones ayant fait l'objet d'un **désensevelissement** en 2018 (projet RESCOR) afin de maximiser les chances de recrutement et le succès de la fixation, et surtout de ne rien recouvrir ni abîmer par l'acte de réimplantation. Il en résulte une **réimplantation diffuse** de tous les transplants sur une surface de **670 m²**, à l'ouest et à l'est de l'émissaire (figure suivante).

Les figures suivantes illustrent le **modèle 3D global** du site de réimplantation ainsi que la **localisation de l'ensemble des transplants** sur les parties **est** et **ouest** du site (avec leur identifiant unique) :





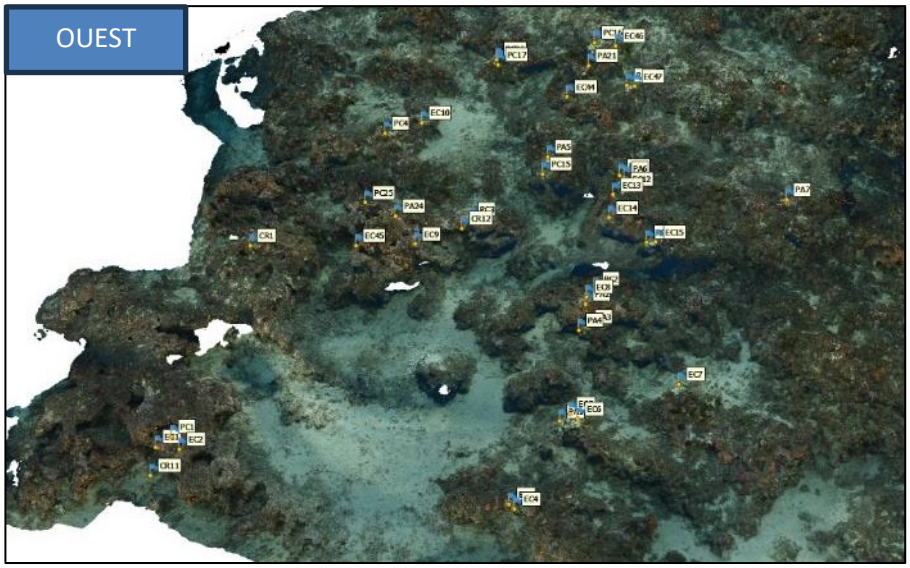


Figure 5 : Site reconstitué en 3D par photogrammétrie et localisation des individus repiqués (octobre 2023).

La figure ci-dessous montre que la méthode de photogrammétrie est adaptée au suivi des individus transplantés.

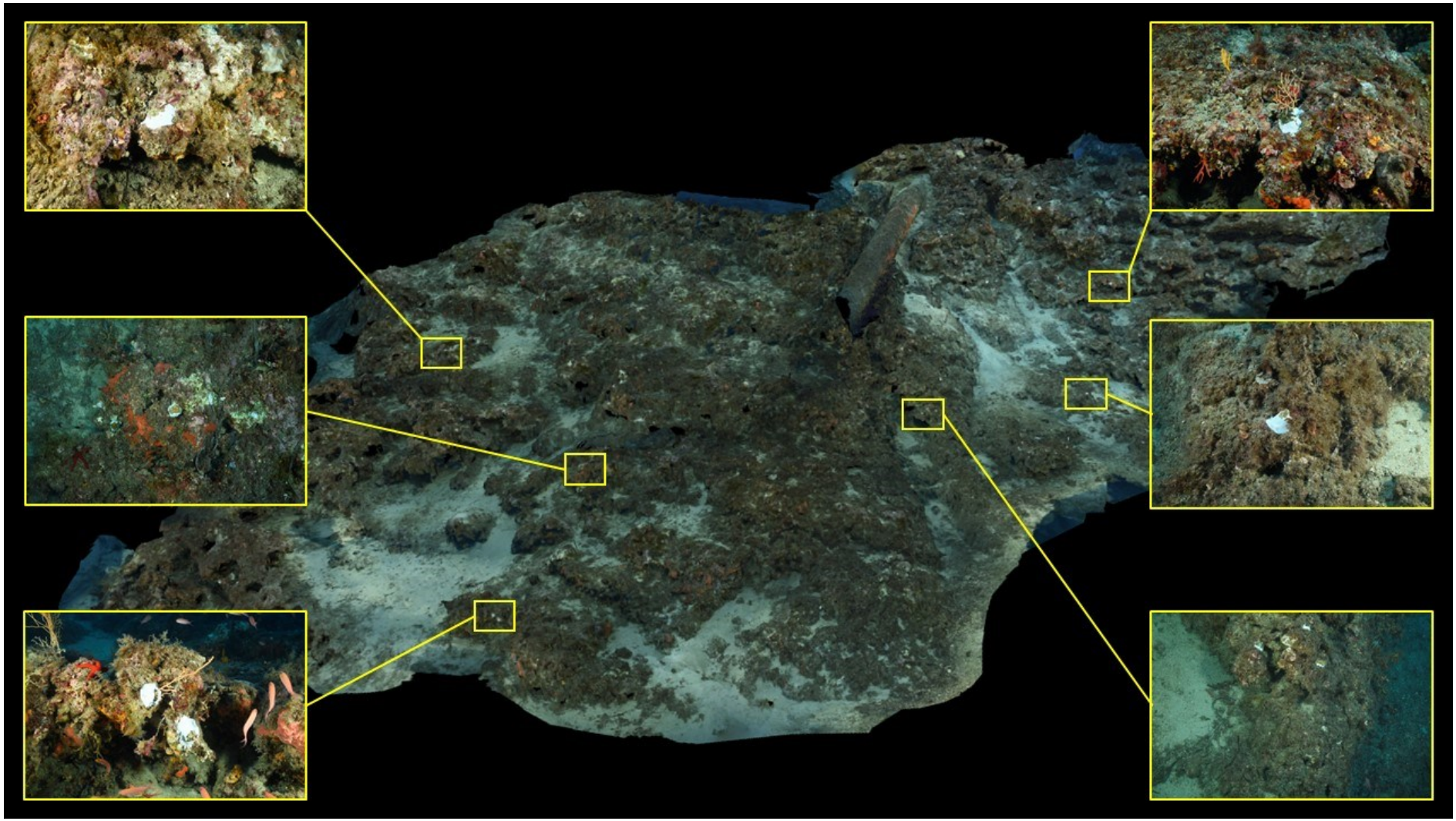


Figure 6 : La photogrammétrie est une méthode adaptée pour suivre les transplants (octobre 2023).

II.B. Phase opérationnelle – Automne 2023

II.B.1. **Conditionnement pour le repeuplement**

Une **phase d'acclimatation** a été réalisée à la ferme un mois avant leur repiquage par ECOCEAN. Les boutures et pieds mères ont ensuite été prélevés de l'aquarium, positionnés dans des **nasses** puis disposés dans des glacières. Elles ont été transportées par ECOCEAN jusqu'au navire d'Andromède Océanologie, à Villefranche sur Mer. Un contrôle de la température de l'eau a été effectué pendant le trajet. Arrivées sur le site, les glacières ont été ouvertes et les nasses positionnées directement dans l'eau, sous le bateau. Les plongeurs ont récupéré les socles contenant les boutures et pieds mères dans les nasses pour les fixer sur le site à l'aide du mastic.

II.B.2. **Repiquage des espèces**

Les opérations de repiquage se sont déroulées du **10 au 12 octobre 2023** à la pointe de Causinière (commune de Saint-Jean-Cap-Ferrat), au cours de **six plongées**. Les socles contenant les boutures et géniteurs étaient fixés sur le site à l'aide d'un **mastic époxy bi-composants** préparé sous l'eau juste avant repiquage.

Lors de la première journée, deux palanquées de deux plongeurs en recycleur équipés des boutures ou géniteurs se sont immergées à -39 m. Lors de la seconde journée, une palanquée constituée de quatre plongeurs en recycleur s'est immergée à -42 m pour poursuivre les opérations de repiquage et d'illustration des travaux. Enfin, lors de la troisième plongée, trois palanquées constituées de deux plongeurs se sont immergées afin de terminer les opérations de réimplantation et réaliser la photogrammétrie d'ensemble du site.

Le tableau suivant fourni le **nombre de géniteurs et de boutures** effectivement repiqués sur le site[1] :

Tableau 1 : Nombre de boutures et géniteurs effectivement repiqués par espèce

Espèce	Boutures	Géniteurs	TOTAL
Corallium rubrum	10	2	12
Eunicella cavolini	28	19	47
Paramuricea clavata	20	6 (+2 in-situ)	28
Parazoanthus axinellae	24		24
			111

Le tableau suivant fournit le **détail des immersions** réalisées pour cette campagne de repiquage :

[1] Ce nombre diffère légèrement des chiffres transmis par Ecocéan (119 transplants au total). Certains ont dû être perdus lors d'un accrochage de la bouée de surface par un plaisancier inattentif le 10/10/2023 qui a renversé une panière sous l'eau.

Tableau 2: Détails des plongées effectuées pour la réimplantation et le premier suivi scientifique.

Date	Plongeurs	Heure	Temps (min)	Paliers (min)	Profondeur max (m)	Travaux effectués
10/10/2023	Florian Holon Michèle Leduc	14 :45	120	50	39	Réimplantation
10/10/2023	Pierre Descamps Guilhem Marre	17 :30	98	47	39	Réimplantation
11/10/2023	Florian Holon Guilhem Marre Michèle Leduc Isabelle Simonet	16 :50	104	50	42	Réimplantation et illustrations
12/10/2023	Michèle Leduc Sebastien Personnic	09 :40	92	34	42	Réimplantation et illustrations
12/10/2023	Isabelle Simonet Guilhem Marre	11 :50	104	52	42	Réimplantation et photogrammétrie
12/10/2023	Isabelle Simonet Guilhem Marre	15 :45	64	31	44	Réimplantation et photogrammétrie



Figure 7 : Illustration du repiquage des transplants (octobre 2023)

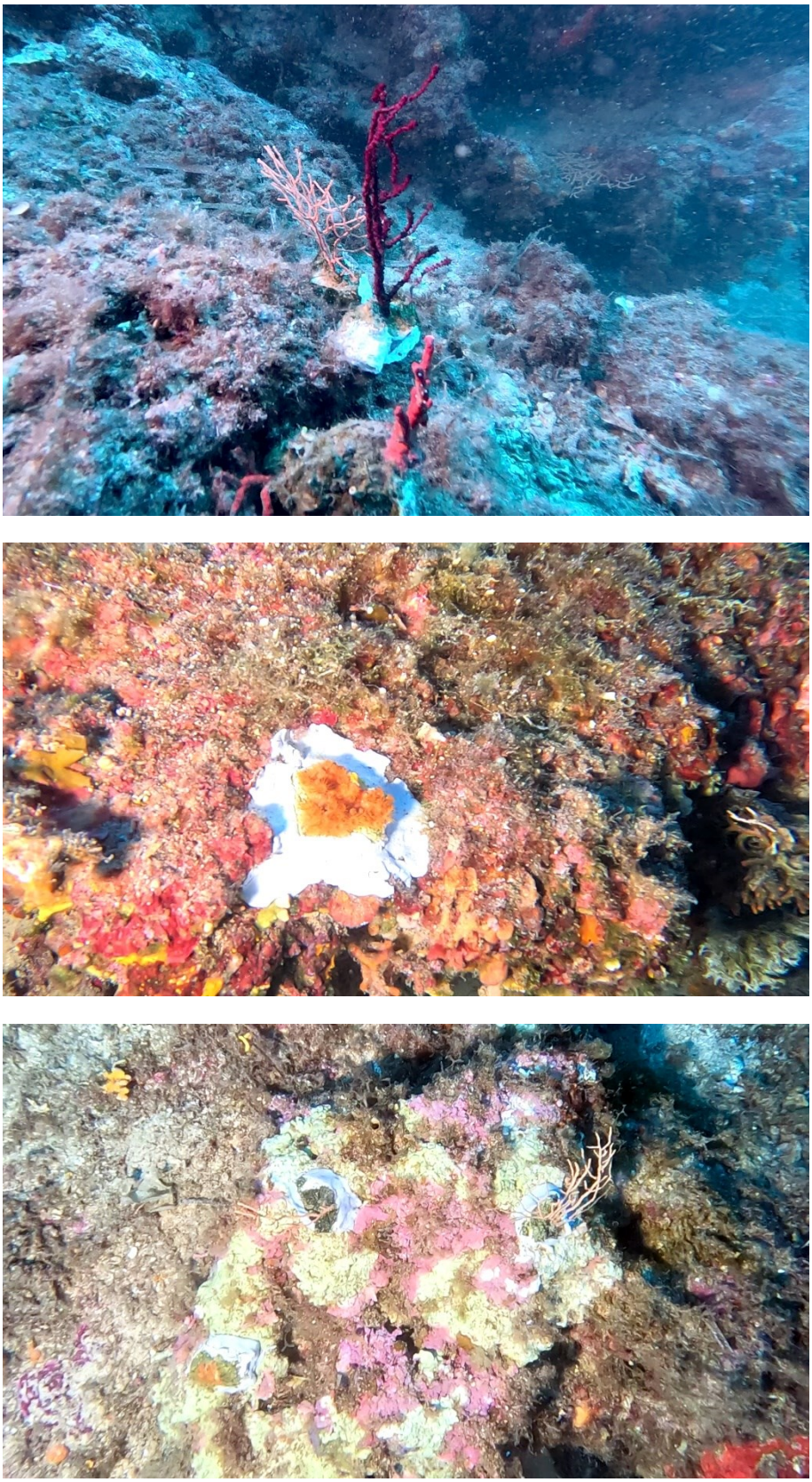


Figure 8: Illustration des transplants juste après repiquage (octobre 2023)

II.C. Phase d'évaluation

II.C.1. **Méthodologie générale**

Le **suivi scientifique** des individus transplantés s'effectue **pendant quatre ans**. Un premier suivi post-repiquage « partiel » (sans photogrammétrie globale) est réalisé un mois après les opérations de repiquage. Les suivants sont effectués **six mois après les opérations de repiquage** (au printemps 2024), puis **une fois par an à l'automne** (2024, 2025, 2026 et 2027).

A chaque suivi, les biologistes d'Andromède Océanologie réalisent :

- Une **photogrammétrie globale** du site permettant de localiser l'ensemble des transplants et d'évaluer leur survie (présence / absence) (sauf au suivi « partiel » un mois après les opérations de repiquage) ;
- Pour **quatre zones de suivi** :
  - Une **photogrammétrie à fine échelle** permettant de mesurer le **taux de survie** (et éventuellement compléter les mesures de croissance et de nécrose) ;
  - **Mesures *in-situ*** des **dimensions** de chaque transplant et son **taux de nécrose** afin d'assurer la qualité des mesures (les gorgones sont généralement mal reconstruites en photogrammétrie du fait de leurs légers mouvements).

La **température** de fond est suivie grâce à un capteur de température permanent posé sur le site RECOR à **-40 m** par Andromède (une mesure toutes les heures). De plus, les données des capteurs de température positionnés par le laboratoire d'océanographie de Villefranche (équipe de Nuria teixido et Steeve Comeau) sur la zone à **-5 m, -10 m, -15 m, -20 m, -25 m, -30 m et -35 m** sont transmises gracieusement à Andromède dans le cadre de ce projet.



Figure 9 : [1] Capteur de température sur le site ; [2] Plongeur en train de réaliser des acquisitions photogrammétriques (octobre 2023).

II.C.2. **Localisation des zones suivies**

Après **analyse du modèle 3D** produit par photogrammétrie suite aux opérations de repiquage en octobre 2023, nous avons **pointé** et **identifié chacun des transplants** sur le modèle 3D (Figure 5). Un **identifiant unique** a été attribué à chaque transplant et permet d'assurer son **suivi dans le temps** (**présence / absence** pour l'ensemble des transplants et **mesures *in-situ*** pour les transplants dans les zones suivies).

Compte tenu de la **réimplantation diffuse** et du **grand nombre** de transplants (n=111), **quatre zones** de suivis ont été définies. Faciles à repérer sous l'eau, elles permettent de suivre un **nombre représentatif** de transplants (n=38) pour chaque espèce (figure ci-dessous).



Figure 10 : Localisation des quatre zones de suivis. Les zones 1 et 2 se trouvent à l'est de l'émissaire, les zones 3 et 4 à l'ouest.

Les figures suivantes montrent une **vue rapprochée de chaque zone** avec la **localisation** des transplants à suivre et leur **identifiant unique** :

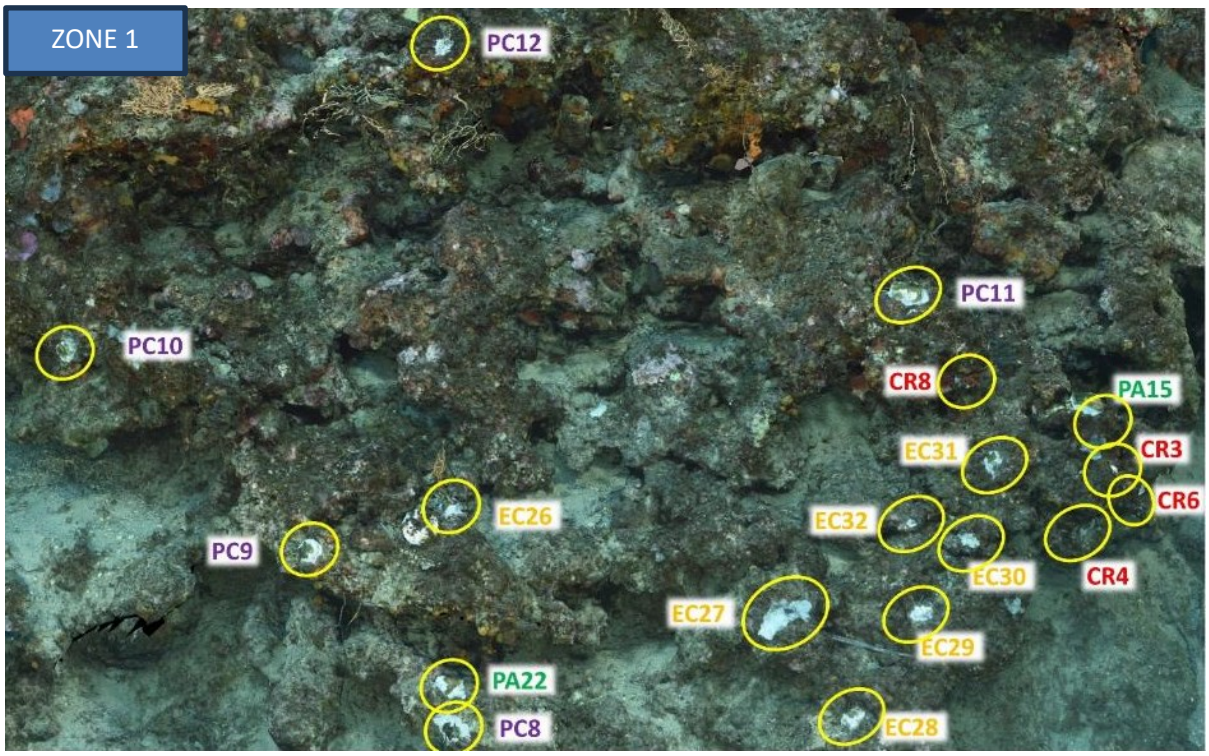


Figure 11 : Zoom et localisation des transplants sur la zone 1 (CR = Corallium rubrum*, en rouge ; EC =* Eunicella cavolini*, en jaune ; PA =* Parazoanthus axinellae*, en vert ; PC =* Paramuricea clavata*, en violet)*

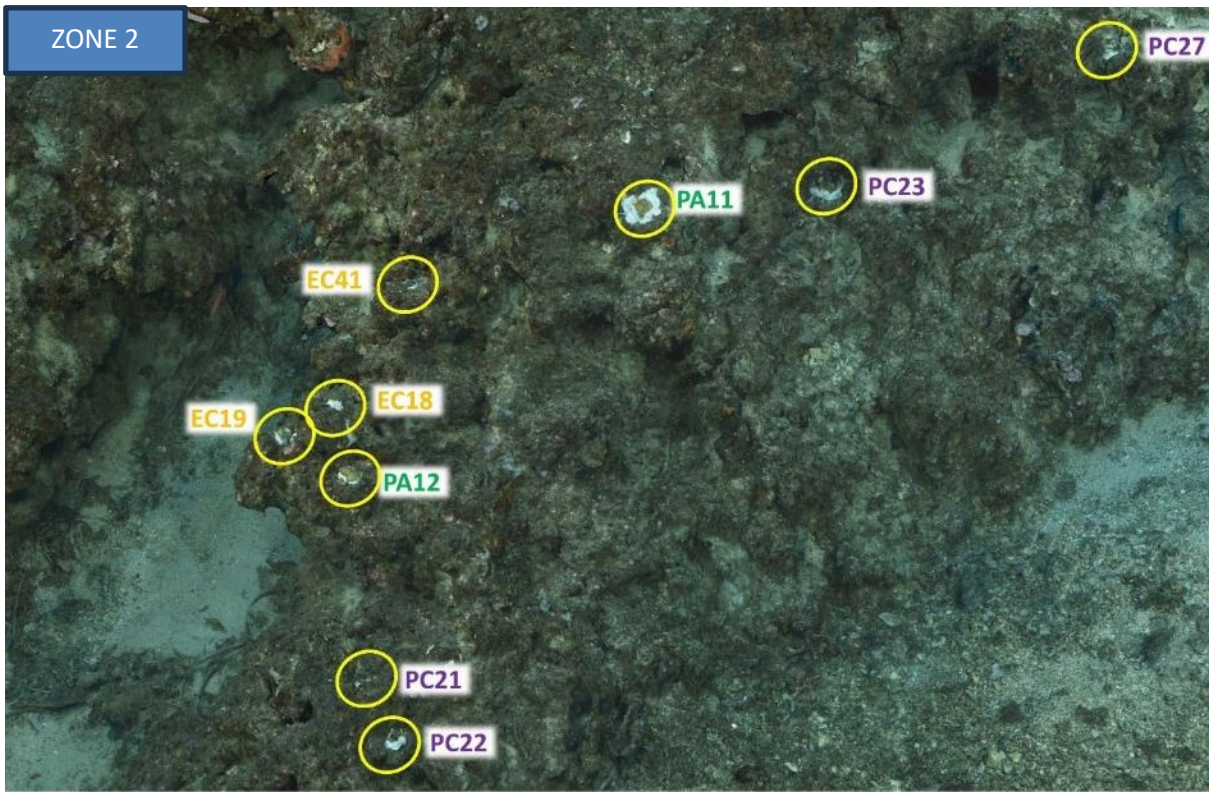


Figure 12 : Zoom et localisation des transplants sur la zone 2 (CR = Corallium rubrum*, en rouge ; EC =* Eunicella cavolini*, en jaune ; PA =* Parazoanthus axinellae*, en vert ; PC =* Paramuricea clavata*, en violet)*

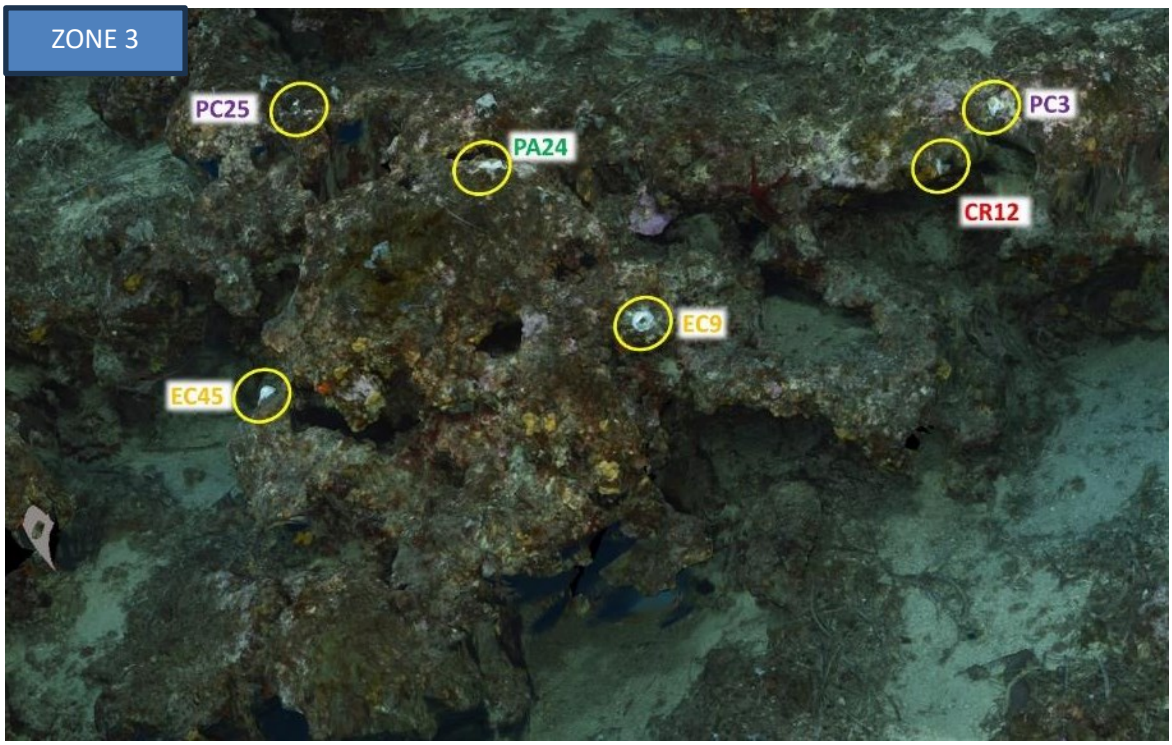


Figure 13 : Zoom et localisation des transplants sur la zone 3 (CR = Corallium rubrum*, en rouge ; EC =* Eunicella cavolini*, en jaune ; PA =* Parazoanthus axinellae*, en vert ; PC =* Paramuricea clavata*, en violet)*

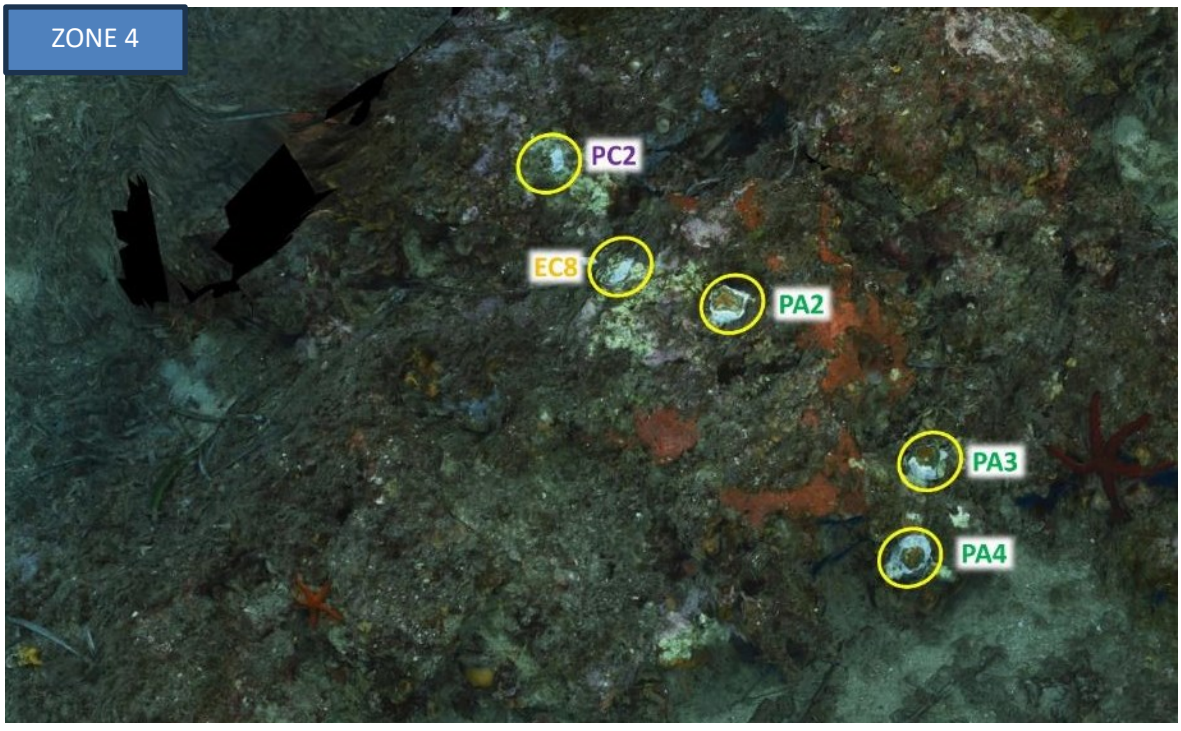


Figure 14 : Zoom et localisation des transplants sur la zone 4 (CR = Corallium rubrum*, en rouge ; EC =* Eunicella cavolini*, en jaune ; PA =* Parazoanthus axinellae*, en vert ; PC =* Paramuricea clavata*, en violet)*

Le tableau suivant donne le détail du **nombre de transplants** suivis pour **chaque zone** et pour **chaque espèce** :

Tableau 3 : Nombre de transplants par zone et par espèce (CR = Corallium rubrum *; EC =* Eunicella cavolini*; PA =* Parazoanthus axinellae *; PC =* Paramuricea clavata*)*

Zone	CR	EC	PC	PA	TOTAL
Z1	4	7	5	2	**18**
Z2	0	3	4	2	**9**
Z3	1	2	2	1	**6**
Z4	0	1	1	3	**5**
TOTAL	**5**	**13**	**12**	**8**	**38**

II.C.1. **Résultats du premier suivi post-repiquage**

Nous avons effectué une plongée le **16 novembre 2023** pour réaliser le **premier suivi scientifique** post-repiquage.

Tableau 4 : Détails de la plongée effectuée pour le premier suivi scientifique.

Date	Plongeurs	Heure	Temps total (tous plongeurs) (min)	Paliers (tous plongeurs) (min)	Profondeur max (m)	Travaux effectués
16/11/2023	Antonin Guilbert Gwenaëlle Delaruelle Guilhem Marre	12 :30	160	45	37,5	Mesures *in-situ* Photogrammétrie des zones réimplantées

II.C.1.a. Photogrammétrie à fine échelle

Compte tenu de la **localisation** des zones de suivis, nous avons réalisé **deux modèles 3D** par photogrammétrie à **fine échelle** en groupant les **zones 1 et 2** et les **zones 3 et 4**. Le tableau suivant fournit le détail des modèles 3D produits pour cet état initial et les adresses URL pour y accéder :

Tableau 5 : Détail des modèles 3D réalisés et liens URL d'accès

Date d'acquisition	Zone	Nombre d'images	Surface (m^2)	URL
12/10/2023	Z1	3490	671	www.andromede-ocean3d.com/OPCORAL/2023_10/App
16/11/2023	Z1-Z2	712	70	www.andromede-ocean3d.com/OPCORAL/2023_11/Z1-Z2/App
16/11/2023	Z3-Z4	303	43	www.andromede-ocean3d.com/OPCORAL/2023_11/Z3-Z4/App

La figure suivante illustre le **modèle 3D fine échelle** des **zones 1 et 2**:

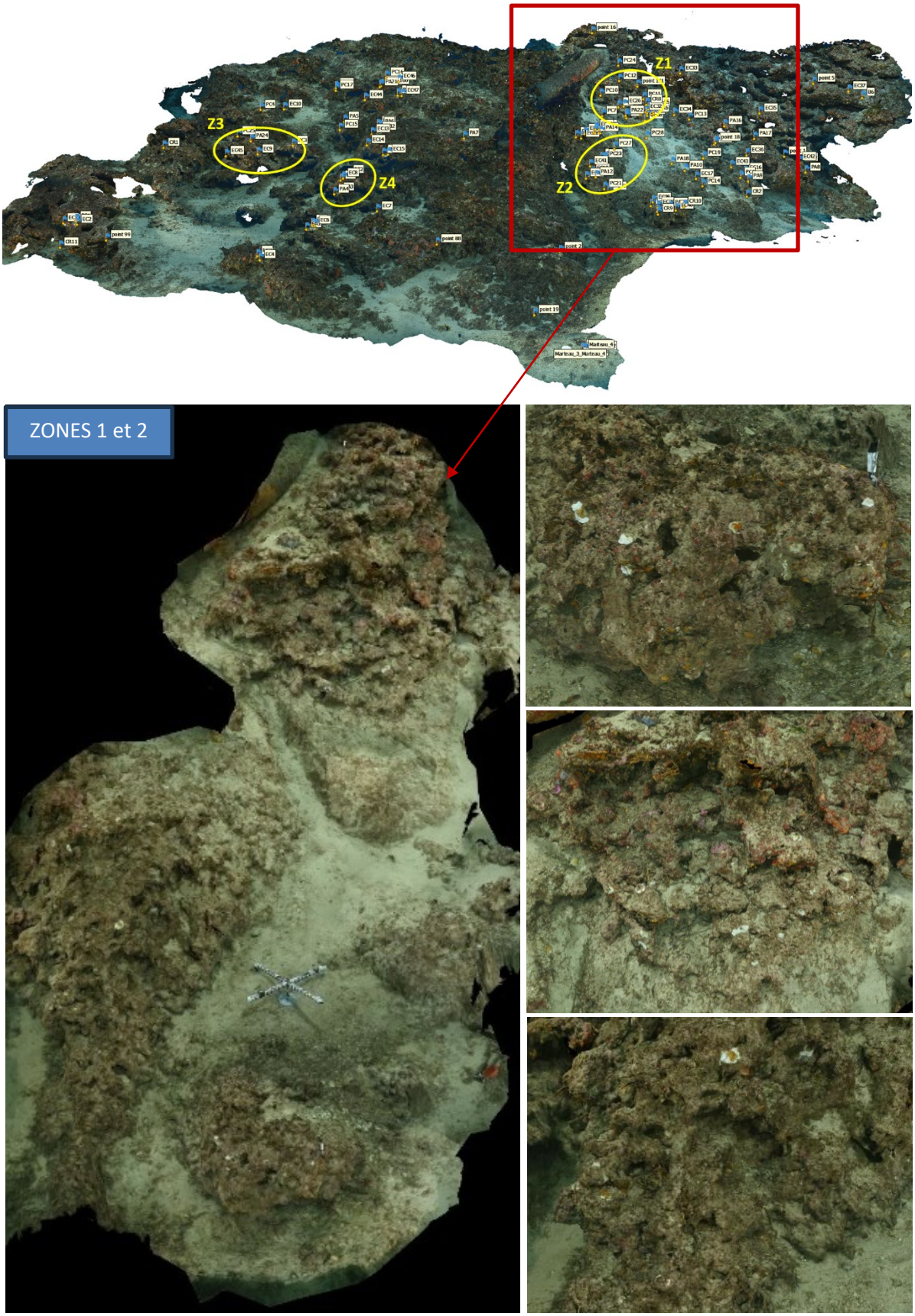


Figure 15 : Modèle 3D fine échelle des zones 1 et 2 localisées de haut en bas.

La figure suivante illustre le **modèle 3D fine échelle** des **zones 3 et 4** :

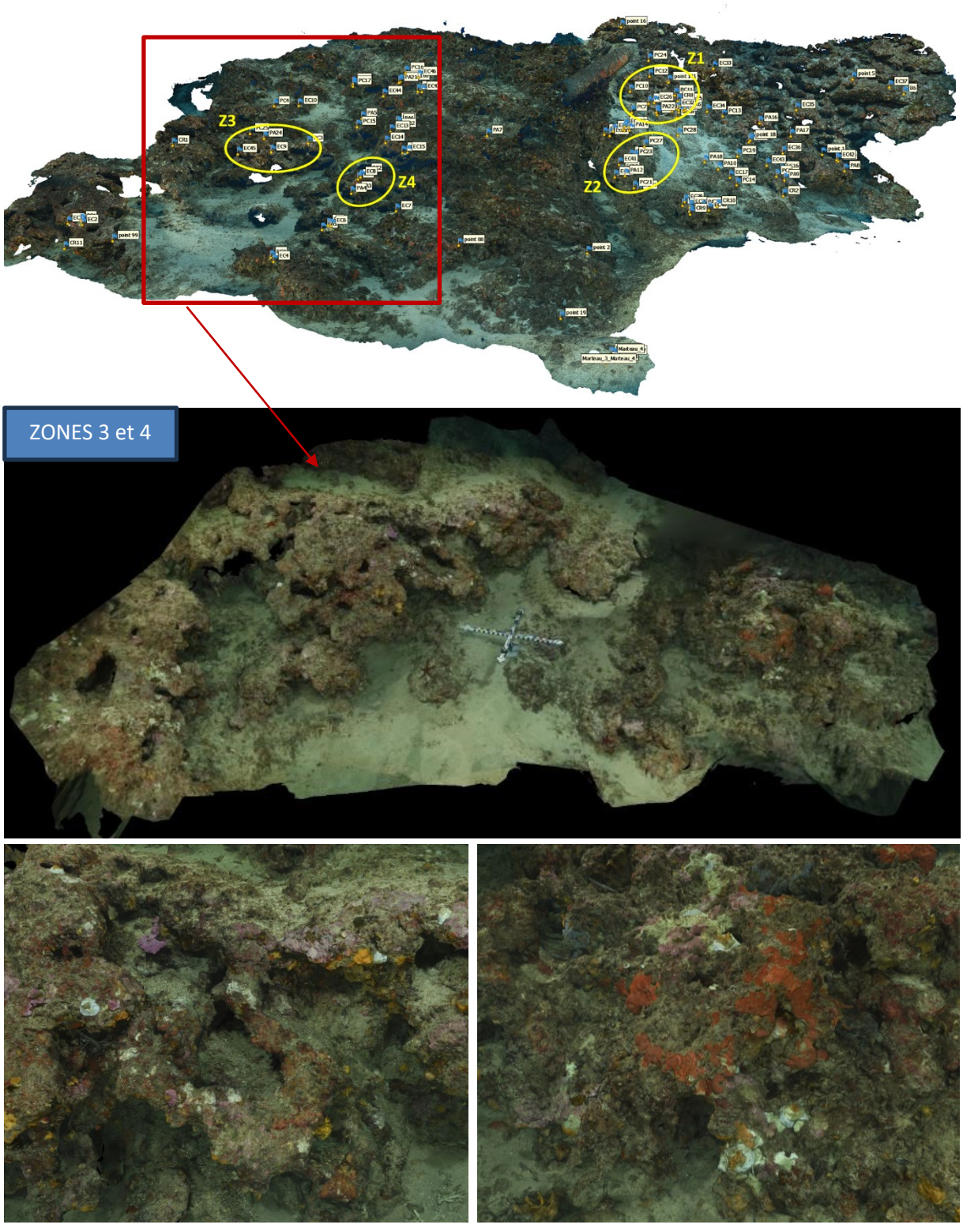


Figure 16 : Modèle 3D fine échelle des zones 3 et 4 localisées de gauche à droite.

II.C.1.b. Mesures *in situ*

Pour chacune des quatre zones, nous avons réalisé les **mesures de chaque transplant**, et le cas échéant, noté **l'absence** (« disparu » si le ciment est toujours fixé au substrat mais transplant manquant ; « décroché » si l'ensemble ciment + transplant sont manquants) ou la **nécrose** des transplants. Pour chaque transplant, nous avons mesuré la **« longueur »** (i.e. longueur maximale), et dans le cas où c'était pertinent (gorgones ou coraux ramifiés), nous avons également mesuré la **« largeur »** (i.e. mesure perpendiculaire à la mesure maximale).

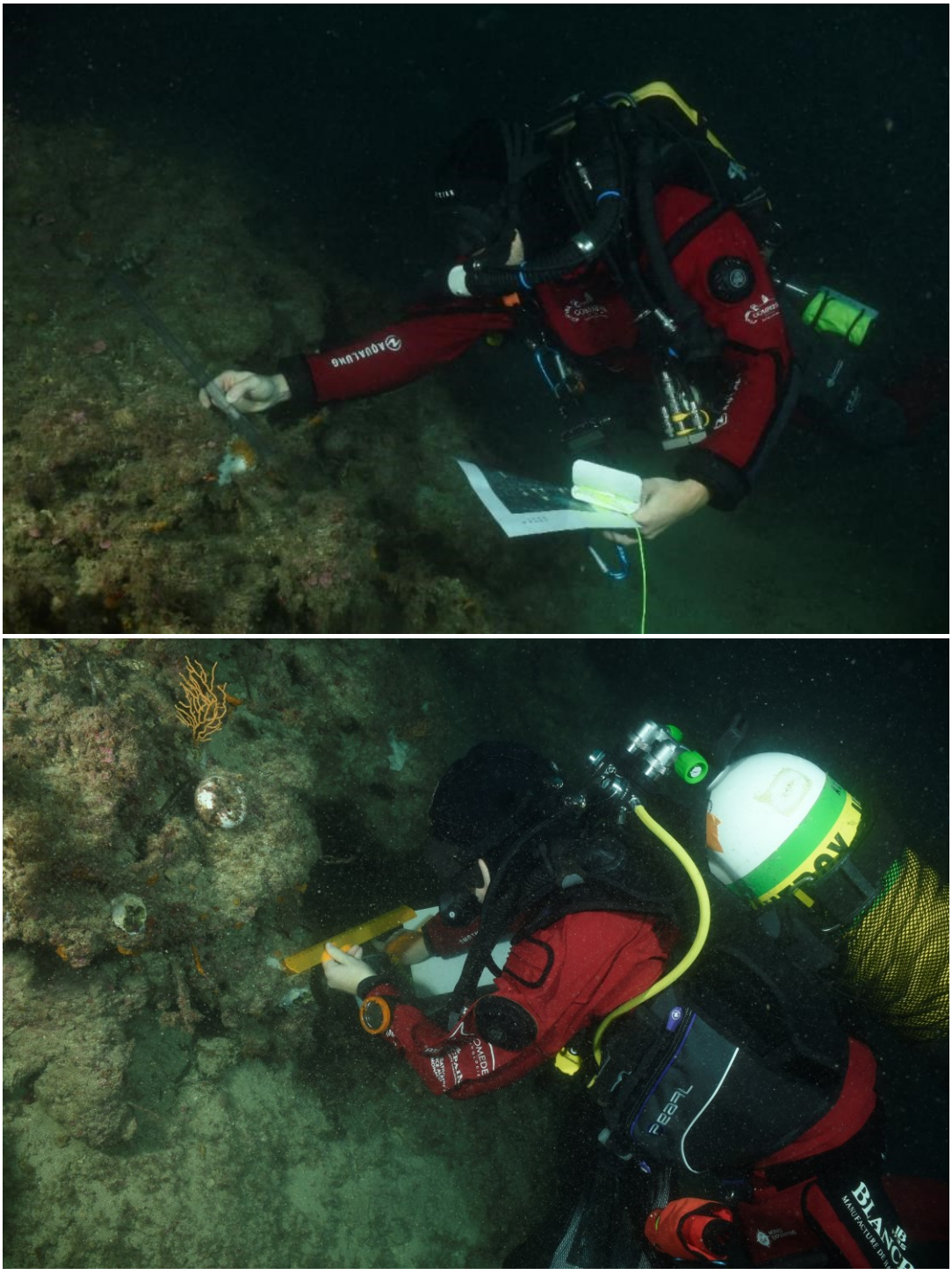


Figure 17 : Illustration des plongeurs en train de réaliser une mesure in-situ *dans la zone 1 (novembre 2023)*

Zone 1

Le tableau suivant présente les **mesures** réalisées sur les **transplants de la zone 1** :

Tableau 6 : Mesures des transplants de la zone 1

Zone	ID	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Etat	Commentaire
Z1	PC8	4	4.5	En place	
	PC9	?	?	En place	Non retrouvée sous l'eau mais visible sur le modèle
	PC10	26	-	En place	
	PC11	6	7	En place	
	PC12	12	5	En place	Nécrosée presque 100 %
	EC26	15	11	En place	
	EC27	11	15	En place	
	EC28	4	3.5	En place	
	EC29	4	3	En place	
	EC30	10	21	En place	
	EC31	1.5	6.5	En place	
	EC32	20	6	En place	
	PA15	5	-	En place	50 % recouverte de sédiment
	PA22	25	-	En place	
	CR3	4	-	En place	
	CR4	3.5	-	En place	
	CR6	3	-	En place	
	CR8	10	10	En place	

Le **taux de survie est de 100 %** dans la zone 1.

Zone 2

Le tableau suivant présente les **mesures** réalisées sur les **transplants de la zone 2** :

Tableau 7 : Mesures des transplants de la zone 2

Zone	ID	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Etat	Commentaire
Z2	PC21	?	?	En place	Pas trouvée sous l'eau mais visible sur le modèle 3D
	PC22	-	-	Décrochée	
	PC23	16	9	En place	
	PC27	-	-	Décrochée	
	EC18	-	-	Disparue	
	EC19	3.5	-	En place	
	EC41	3.5	-	En place	
	PA11	6	-	En place	
	PA12	6	-	En place	

Le **taux de survie est de 66,6 %** dans la zone 2.

Zone 3

Le tableau suivant présente les **mesures** réalisées sur les **transplants de la zone 3** :

Tableau 8 : Mesures des transplants de la zone 3

Zone	ID	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Etat	Commentaire
Z3	PC3	3	-	En place	
	PC25	-	-	Disparue	
	EC9	4	-	En place	
	EC45	4.5	-	En place	
	PA24	24	4	En place	
	CR12	~2	-	En place	Découvert sur le modèle après la campagne de suivi

Le **taux de survie est de 83,3 %** dans la zone 3.

Zone 4

Le tableau suivant présente les **mesures** réalisées sur les **transplants de la zone 4** :

Tableau 9 : Mesures des transplants de la zone 4

Zone	ID	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Etat	Commentaire
Z4	PC2	3	3	En place	Nécrosée 10 %
	EC8	18	9	En place	Nécrosée 30 %
	PA2	4.5	-	En place	
	PA3	3	-	En place	
	PA4	3.5	-	En place	

Le **taux de survie est de 100 %** dans la zone 4.

III. Conclusion

Le projet RESCOR - OP CORAL a débuté en octobre 2023 par une campagne de repiquage de **111 individus** (82 boutures et 29 géniteurs) appartenant à quatre espèces associées aux récifs coralligènes : **12 individus de corail rouge, 47 gorgones jaunes, 28 gorgones rouges et 24 anémones encroutantes**. Les transplants et leur support ont été positionnés à l'aide d'un **mastic époxy bi-composants** de **manière diffuse** sur le site, de part et d'autre de l'émissaire de la Causinière, entre **34 et 38 mètres de profondeur**. Afin de maximiser les chances de recrutement et le succès de la fixation, les zones présentant des **espèces naturellement présentes** ont été privilégiées, ainsi que des zones présentant des **macro-nécroses** et/ou ayant fait l'objet d'un **désensevelissement** dans le cadre du projet RESCOR en 2018. Après la campagne de repiquage, une **photogrammétrie globale** du site a été effectuée.

L'analyse de ce modèle 3D initial produit par photogrammétrie a permis de **pointer** et **identifier chacun des transplants.** Un **identifiant unique** a été attribué à chaque transplant et permet **d'évaluer leur survie dans le temps** (présence / absence). Compte tenu de la **réimplantation diffuse,** du **nombre important** de transplants, et la grande surface de la zone de repiquage (**670 m²)**, nous avons défini **quatre zones**. Faciles à repérer sous l'eau, elles permettent de suivre un **nombre représentatif** de transplants (n=38). Pour suivre plus spécifiquement ces transplants, deux méthodes sont appliquées à chaque suivi : 1/ une **photogrammétrie à fine échelle** permettant de mesurer le **taux de survie** (et éventuellement compléter les mesures de croissance et de nécrose) ; 2/ des **mesures *in-situ*** des **dimensions** de chaque transplant et son **taux de nécrose** afin de suivre la croissance des individus transplantés.

Le premier suivi post-repiquage réalisé en novembre 2023 montre un **taux de survie moyen de 87,5 %** sur les quatre zones suivies (n=38 individus). Ce premier suivi a été réalisé après une **forte période de tempêtes** (Ciaran, Domingos, Elisa) qui ont eu une influence importante notamment sur l'apport en sédimentation, la fixation des transplants mais également sur la température de l'eau. En effet, lors de la fixation des transplants une thermocline était présente vers -30 m. Les transplants transportés dans les glacières depuis la ferme étaient dans de l'eau à 14-15 degrés. Après les tempêtes, la thermocline avait disparue, et lors du suivi du 16 novembre 2023 la température était de 19 degrés au fond et la visibilité très mauvaise montrant un apport en sédiments. Lors de ce suivi, quasiment tous les individus ont pu être mesurés (à 0,5 cm près) permettant un suivi de leur croissance. Enfin, ce premier suivi confirme que la méthode de photogrammétrie est adaptée et permet d'évaluer la survie des individus transplantés.

Le prochain suivi aura lieu au **printemps 2024**. Une photogrammétrie globale de l'ensemble du site sera effectuée afin d'évaluer la survie de tous les individus transplantés (n=111), ainsi que des photogrammétries à plus fine échelle et des mesures *in situ* des individus au niveau des quatre zones de suivi.

IV. Bibliographie

Abelson, Avigdor, Benjamin S. Halpern, Daniel C. Reed, Robert J. Orth, Gary A. Kendrick, Michael W. Beck, Jonathan Belmaker, et al. 2016. « Upgrading Marine Ecosystem Restoration Using Ecological-Social Concepts ». BioScience 66 (2): 156-63. https://doi.org/10.1093/biosci/biv171.

ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2023. Bilan du projet RESCOR (2018-2022) - Restauration écologique des communautés des récifs coralligènes – Suivi temporel des communautés du récif coralligène après désensevelissement. Contrat Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse / Métropole Nice Cote d'Azur / Andromède Océanologie. 118 p.

ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2023. Projet IZOMARE – Inventaire des zones marines côtières nécessitant des actions de restauration écologique et du paysage. Rapport final. Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 114p

Barbier, Edward B. 2012. « Progress and Challenges in Valuing Coastal and Marine Ecosystem Services ». *Review of Environmental Economics and Policy* 6 (1): 1-19. https://doi.org/10.1093/reep/rer017.

Boissery, P., Lenfant, P., Lecaillon, G., Gudefin, A., Fonbonne, S., Selfati, M., ... & Bazairi, H. (2023). The ecological restoration: A way forward the conservation of marine biodiversity. In Coastal Habitat Conservation (pp. 171-191). Academic Press.

Casoli, E., Ventura, D., Mancini, G., Cardone, S., Farina, F., Donnini, L., … Ardizzone, G. (2021). *Rehabilitation of Mediterranean animal forests using gorgonians from fisheries by-catch.* Restoration Ecology. doi:10.1111/rec.13465

Cerrano, C., Totti, C., Sponga, F., Bavestrello, G. (2006). *Summer disease in Parazoanthus axinellae (Schmidt, 1862) (Cnidaria, Zoanthidea)*. Italian Journal of Zoology, 73(4), 355–361. doi:10.1080/11250000600911675

De'ath, Glenn, Katharina E. Fabricius, Hugh Sweatman, et Marji Puotinen. 2012. « The 27–Year Decline of Coral Cover on the Great Barrier Reef and Its Causes ». Proceedings of the National Academy of Sciences 109 (44): 17995-99. https://doi.org/10.1073/pnas.1208909109.

Dumas, J., Ader, D., Maran, V., Sittler, A-P. in : DORIS, 30/10/2020 : *Eunicella cavolini* (Koch, 1887), https://doris.ffessm.fr/ref/specie/247

Estaque, T., Bianchimani, O., Basthard-Bogain, S., Richaume, J., Gatti, G., Bally, M., Cheminée, A. (2022). *Projet TRANSCOR : Étude de la survie de transplants de Corallium rubrum et de Paramuricea clavata dans le cadre d'un programme expérimental de transplantation sur sites naturels et artificiels.* Septentrion Env. publ. - 59 p.

Fava, F., Bavestrello, G., Valisano, L., & Cerrano, C. (2010). *Survival, growth and regeneration in explants of four temperate gorgonian species in the Mediterranean Sea.* Italian Journal of Zoology, 77(1), 44–52. doi:10.1080/11250000902769680

Fraschetti, Simonetta, Chris McOwen, Loredana Papa, Nadia Papadopoulou, Meri Bilan, Christoffer Boström, Pol Capdevila, et al. 2021. « Where Is More Important Than How in Coastal and Marine Ecosystems Restoration ». Frontiers in Marine Science 8 (octobre): 626843. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.626843.

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. doi:10.3354/meps178193

Garrabou, J., Cerrano, C., Torsani, F., Linares, C., Gómez Gras, D., López Sendino, P., … , Fraschetti, S. (2020). *Evaluation of the effectiveness of pilot restoration actions under a changing scenario.* Deliverable 3.4, MERCES project, 1-25.

Gomei M., Abdulla A., Schröder C., Yadav S., Sánchez A., Rodríguez D., Abdel Malek D. 2019. Towards 2020: how Mediterranean countries are performing to protect their sea. 38 pages.

Halpern, Benjamin S., Catherine Longo, Darren Hardy, Karen L. McLeod, Jameal F. Samhouri, Steven K. Katona, Kristin Kleisner, et al. 2012. « An Index to Assess the Health and Benefits of the Global Ocean ». *Nature* 488 (7413): 615-20. https://doi.org/10.1038/nature11397.

HLPE, 2014. Sustainable fisheries and aquaculture for food security and nutrition. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome 2014.

Jones, Holly P., Peter C. Jones, Edward B. Barbier, Ryan C. Blackburn, Jose M. Rey Benayas, Karen D. Holl, Michelle McCrackin, Paula Meli, Daniel Montoya, et David Moreno Mateos. 2018. « Restoration and Repair of Earth's Damaged Ecosystems ». Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 285 (1873): 20172577. https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2577.

Ledoux, J.-B., Aurelle, D., Bensoussan, N., Marschal, C., Féral, J.-P., & Garrabou, J. (2015). *Potential for adaptive evolution at species range margins: contrasting interactions between red coral populations and their environment in a changing ocean.* Ecology and Evolution, 5(6), 1178–1192. doi:10.1002/ece3.1324

Lenfant, P., Gudefin, A., Fonbonne, S., Aronson, J., Blin, E., Aqua, J.-L., Calvet, C., Catalon, E., Consultants, A., Julien, E., Direach, L. L., Posidonie, G., Neveu, R., Pastor, J., Pristchepa, S., & Quenouille, B. (2015). Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée. Orientations et principes. 98 p.

Lindegren, Martin, Ben G. Holt, Brian R. MacKenzie, et Carsten Rahbek. 2018. « A Global Mismatch in the Protection of Multiple Marine Biodiversity Components and Ecosystem Services ». Scientific Reports 8 (1): 4099. https://doi.org/10.1038/s41598-018-22419-1.

Lotze, Heike K., Marta Coll, Anna M. Magera, Christine Ward-Paige, et Laura Airoldi. 2011. « Recovery of Marine Animal Populations and Ecosystems ». Trends in Ecology & Evolution 26 (11): 595-605. https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.07.008.

McCrackin, Michelle L., Holly P. Jones, Peter C. Jones, et David Moreno-Mateos. 2017. « Recovery of Lakes and Coastal Marine Ecosystems from Eutrophication: A Global Meta-analysis ». Limnology and Oceanography 62 (2): 507-18. https://doi.org/10.1002/lno.10441.

Michez N., Aish A., Amouroux J.-M., Bellan G., Bellan-Santini D., Chevaldonné P., Dirberg G., Fabri M.-C., Fernez T., Fourt M., Francour P., Frisoni G.-F., Goujard A., Harmelin J.-G., Jordana E., Klesczewski M., Labrune C., Mouronval J.-B., Palomba L., Pérez T., Pergent G., Pergent Martini C., Sartoretto S., Thibaut T., Vacelet J., Verlaque M., 2019. Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat / INPN, mars 2019.

Montero-Serra, I., Garrabou, J., Doak, D.F., Figuerola, L., Hereu, B., Ledoux, J.-B., & Linares, C. (2017). *Accounting for Life-History Strategies and Timescales in Marine Restoration*. Conservation Letters, 11(1), e12341. doi:10.1111/conl.12341

Parravicini, Valeriano, Fiorenza Micheli, Monica Montefalcone, Carla Morri, Elisa Villa, Michela Castellano, Paolo Povero, et Carlo Nike Bianchi. 2013. « Conserving Biodiversity in a Human-Dominated World: Degradation of Marine Sessile Communities within a Protected Area with Conflicting Human Uses ». Édité par Arga Chandrashekar Anil. PLoS ONE 8 (10): e75767. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075767.

Perring, Michael P., Rachel J. Standish, Jodi N. Price, Michael D. Craig, Todd E. Erickson, Katinka X. Ruthrof, Andrew S. Whiteley, Leonie E. Valentine, et Richard J. Hobbs. 2015. « Advances in Restoration Ecology: Rising to the Challenges of the Coming Decades ». Ecosphere 6 (8): art131. https://doi.org/10.1890/ES15-00121.1.

Perrin, M., Ader, D., Prouzet, A. in : DORIS, 30/08/2022 : *Parazoanthus axinellae* (Schmidt, 1862), https://doris.ffessm.fr/ref/specie/508

Perrow, M. R., & Davy, A. J. (A c. Di). 2002. Handbook of Ecological Restoration: Volume 1: Principles of Restoration (Vol. 1). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511549984.

Proposition de Règlement Restauration (2022) « Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on nature restoration » : https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-restoration-of-healthy-ecosystems

Reguieg, A., Kupfer, M., Dumas, J., Sittler, A-P. in : DORIS, 28/02/2023 : *Corallium rubrum* (Linnaeus, 1758), https://doris.ffessm.fr/ref/specie/308

Université de Montpellier, 2022. Synthèse des travaux sur la restauration écologique des petits fonds côtiers de Méditerranée. 69 pages.

Villechanoux, J., Bierwirth, J., Mantas, T.P., Cerrano, C. (2022). *Testing Transplantation Techniques for the Red Coral Corallium rubrum.* Water, 14, 1071. doi:10.3390/w14071071

Worm, Boris, Edward B. Barbier, Nicola Beaumont, J. Emmett Duffy, Carl Folke, Benjamin S. Halpern, Jeremy B. C. Jackson, et al. 2006. « Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services ». Science 314 (5800): 787-90. https://doi.org/10.1126/science.1132294.

V. Annexe

Restauration de récifs coralligènes – Projet RESCOR

Porteur(s) du projet : Andromède Océanologie
contact@andromede-ocean.com

Partenaires techniques et financiers :
Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (AERMC)
Métropole Nice Côte d'Azur

Budget : 275 000 € (Nettoyage et suivi scientifique pendant 5 ans)

Période : 2018 - 2022
Espèce/habitat ciblé : Récifs coralligènes
Localisation : St-Jean-Cap-Ferrat, France
Site internet :
https://medtrix.fr/portfolio_page/restau-med/

Objectifs du projet

Retrait de sédiment et **nettoyage** d'un récif coralligène enseveli par la formation d'un talus sédimentaire provenant d'opérations de forage.

Suivi scientifique

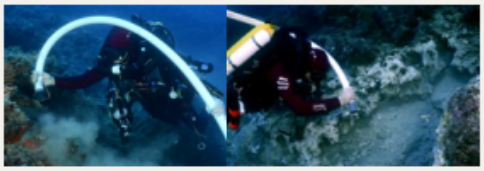
Trois méthodes ont été utilisées pour le **suivi temporel** des communautés du récif coralligène **avant** et **après** les opérations de nettoyage et désensevelissement (**durée du suivi = cinq ans**) :

- **Quadrats photographiques** sur trois stations (30/station) : positionnement de 64 points aléatoires par quadrat et identification, pour un suivi précis des groupes du vivant.
- **14 quadrats permanents d'1 m²** : suivi de l'évolution surfacique de la colonisation du substrat par les espèces.
- **Modèles produits par photogrammétrie** : production de visuels permettant de communiquer sur le projet, comparer l'évolution de la zone et sortir des indices écologiques.

Description de l'opération

Le projet RESCOR s'est déroulé en trois étapes :

- **Caractérisation de la zone du projet (-32 à -42 m) : cartographie** des biocénoses de la zone de dépôt des sédiments & analyse granulométrique et physico-chimique des sédiments côtiers de la zone du projet et de dépôt.
- **Retrait de sédiments et nettoyage** du récif coralligène à partir d'une méthode innovante par **jet d'eau (soufflage).** Cette étape a nécessité **320 heures** d'intervention et **20 jours** de mission.
- **Suivi temporel des communautés** du récif coralligène avant et après les opérations de désensevelissement (**huit suivis** : deux fois par an pendant trois ans puis une fois par an durant deux ans).

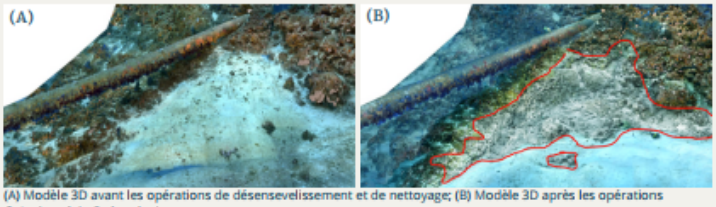


Méthode par jet d'eau permettant de nettoyer le récif © Andromède Océanologie.

Résultats obtenus

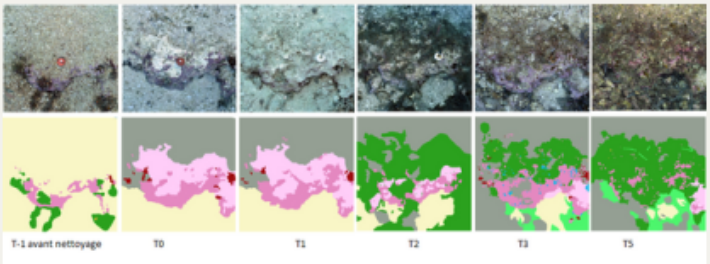
La caractérisation de la zone du projet n'a montré aucune contre-indication à la réalisation des opérations de désensevelissement et nettoyage. Une zone de 500 m² comprise entre -45 et -50 m, avec une faible sensibilité écologique, a été choisie pour être la zone de dépôt des sédiments (non pollués).

Le système innovant par jet d'eau a permis le **retrait de 50 m3 de sédiments**, la **mise à jour de 150 m² de substrat dur** et le **nettoyage de 500 m² de récif coralligène.**



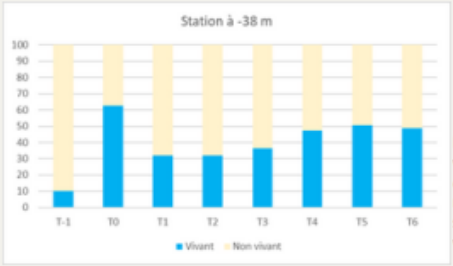
(A) Modèle 3D avant les opérations de désensevelissement et de nettoyage; (B) Modèle 3D après les opérations © Andromède Océanologie.

Les trois méthodes (quadrats photographiques, quadrats permanents, photogrammétrie) sont **complémentaires** et permettent de suivre le **processus de recolonisation du récif désenseveli.** Les espèces pionnières qui colonisent le coralligène nécrosé mis à nu par les opérations de nettoyage sont les algues rouges encroûtantes, les bryozoaires, les ascidies, les hydraires, les vers sédentaires et des autres algues.



Evolution surfacique des communautés du récif coralligène au niveau d'un quadrat permanent entre T-1 avant les actions de nettoyage et le suivi T5 (novembre 2021). Chaque couleur correspond à une catégorie de vivant.

Au bout de cinq années, on observe un **plus grand nombre d'espèces** parmi le vivant, **plus d'espèces érigées** et une **préservation des espèces hautes** lors des actions de nettoyage. La durée de **cinq années** permet un suivi quasi-complet de la recolonisation : le taux de vivant est équivalent et élevé (**75 %**) entre les zones nettoyées *vs* les zones désensevelies et nettoyées. De plus, il y a peu ou plus de coralligène nécrosé "nu" visible au dernier suivi.



Evolution du pourcentage de vivant sur la station désensevelie et nettoyée à -38 m montrant la recolonisation naturelle du substrat par les organismes vivants à chaque suivi.

Cette méthode innovante de restauration des récifs coralligènes est **efficace** puisqu'elle a permis de **rétablir la biodiversité, la structure et la dynamique de l'écosystème préexistant avant destruction.**