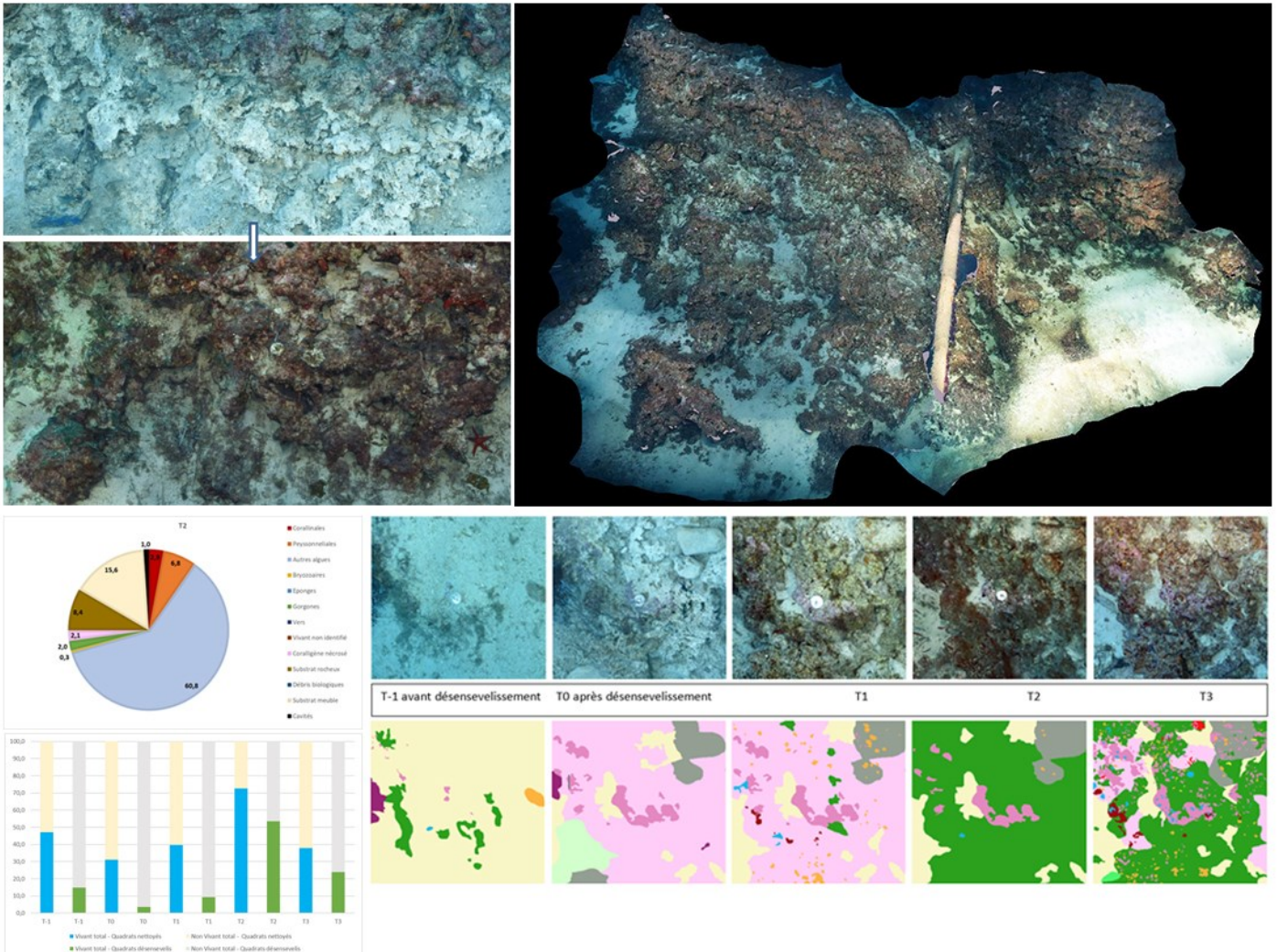


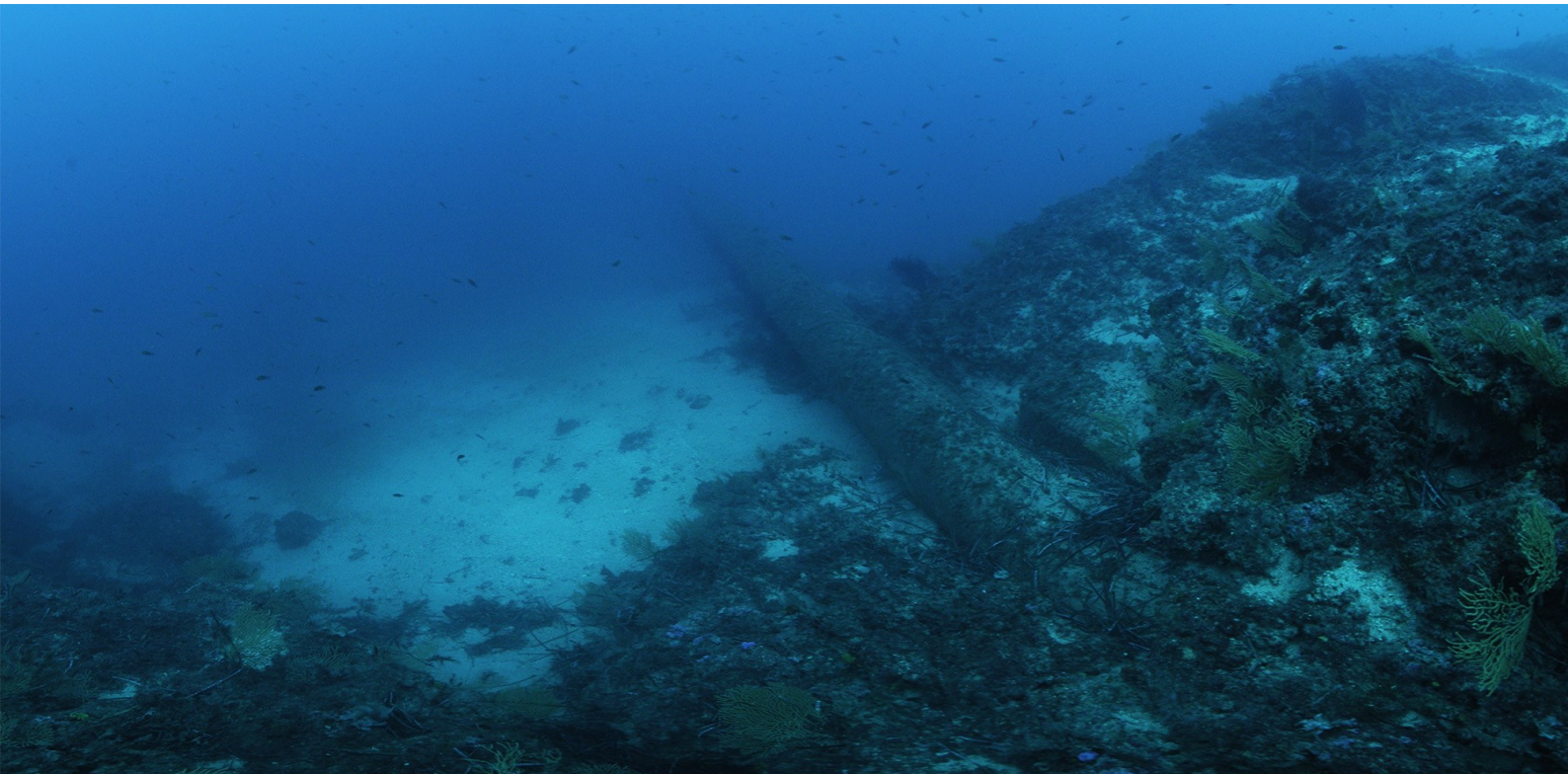
Bilan du projet **RESCOR** (2018-2022) Suivi temporel des communautés du récif coralligène après désensévelissement



Mars 2023

ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

7, place Cassan - Carnon Plage
34 130 Mauguio - France
Tél. : 04.67.66.32.48
contact@andromede-ocean.com



Coordination Agence de l'Eau RMC :

Pierre Barret / Pierre.BARRET@eurmc.fr

Coordination Métropole Nice Côte d'Azur :

Coralie Meinesz / coralie.meinesz@nicecotedazur.org

Coordination Andromède :

HOLON Florian / florian.holon@andromede-ocean.com

DELARUELLE Gwénaëlle / gwenaelle.delaruelle@andromede-ocean.com

Traitement des données

DELARUELLE Gwénaëlle, DETER Julie, MARRE Guilhem.

Rédaction :

DELARUELLE Gwénaëlle.

Crédit photographique :

Andromède Océanologie

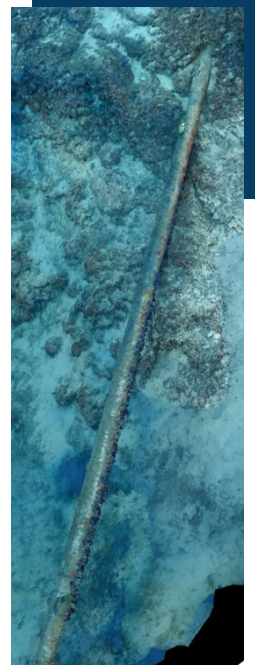
Ce document doit être cité sous la forme suivante :

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

Édito

Ce document intitulé « Bilan du projet RESCOR (2018-2022) - Restauration écologique des communautés des récifs coralligènes – Suivi temporel des communautés du récif coralligène après désensivelissement » est réalisé à l'initiative de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, de la Métropole Nice Côte d'Azur et d'Andromède Océanologie.

Le projet **RESCOR** participe à la mise en œuvre opérationnelle des plans de gestion multithématiques et des différentes politiques publiques sous la responsabilité de l'Etat (PAMM, DOCOB Natura 2000) sur un espace à enjeux (Site Natura 2000, Site inscrit). Il s'inscrit par ailleurs dans la mesure G.3 du DOCOB du site N2000 Cap Ferrat "Développer des projets expérimentaux de restauration écologique des habitats naturels d'intérêt communautaire".



SOMMAIRE

PROJET RESCOR.....	1
I. INTRODUCTION	1
II. MATERIEL ET METHODES.....	8
II.A. <i>Photogrammétrie</i>	8
II.B. <i>Quadrats photographiques</i>	10
II.C. <i>Quadrats permanents</i>	12
III. RESULTATS.....	13
III.A. <i>Photogrammétrie</i>	13
III.B. <i>Quadrats photographiques</i>	9
III.B.1. Station à -36 m	10
III.B.2. Station à -38 m	26
III.B.3. Station à -40 m	42
III.B.4. Station RECOR (-40 m).....	57
III.B.5. Evolution du pourcentage de vivant/non vivant	61
III.B.6. Conclusion	62
III.C. <i>Quadrats permanents</i>	64
III.C.1. Quadrats nettoyés	66
III.C.2. Quadrats désensevelis.....	73
III.C.3. Analyse des données	82
IV. BILAN DU PROJET RESCOR (2018-2022).....	92
V. BIBLIOGRAPHIE.....	94
VI. ANNEXE	97

Projet RESCOR



L'objectif principal du projet RESCOR est de **restaurer des communautés des récifs coralligènes, sur une zone test**. Ce projet s'intègre notamment dans les objectifs généraux de conservation du site Natura 2000 Cap Ferrat.

Afin de **restaurer les communautés des récifs coralligènes**, et recréer un écosystème semblable à l'état initial avant destruction, le projet RESCOR suit trois grandes étapes :

- **Caractérisation des communautés du récif coralligène avant nettoyage/désensevelissement, caractérisation des sédiments** de la zone du projet et de la zone de dépôt et **cartographie de la zone de dépôt** ;
- **Retrait des sédiments et nettoyage** du récif coralligène à partir d'un système innovant ;
- **Suivi temporel des communautés du récif coralligène après désensevelissement.**

Ce présent rapport présente les résultats des suivis temporels des communautés du récif coralligène sur 5 ans avant et après les actions de restauration (désensevelissement et nettoyage). Ces suivis ont été menés deux fois par an pendant 3 ans (2018 / 2019 / 2020) puis une fois par an sur les deux années restantes (2021 / 2022).

Projet RESCOR

I. Introduction

L'objectif principal du projet RESCOR est la **restauration des communautés des récifs coralligènes** et, plus précisément, de rétablir la biodiversité, la structure et la dynamique de l'écosystème préexistant. Un arbre de décision pour aider au processus devant conduire à une action de restauration a été développé pour les récifs coralliens (Edwards and Gomez, 2007) ; figure ci-dessous), qui peut s'appliquer aux récifs coralligènes.

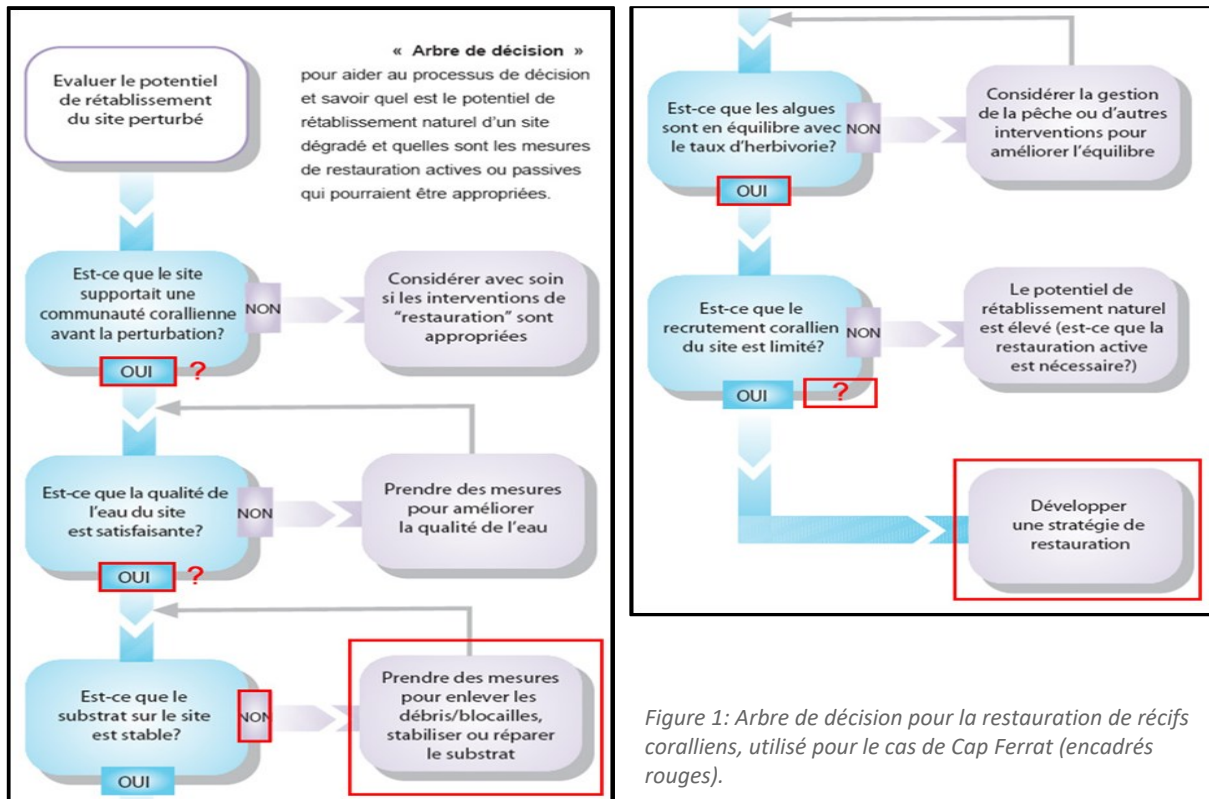


Figure 1: Arbre de décision pour la restauration de récifs coralliens, utilisé pour le cas de Cap Ferrat (encadrés rouges).

L'aide au processus de décision (figure précédente) nous indique que pour le cas du site Cap Ferrat il faut **enlever les débris / blocailles, stabiliser ou réparer le substrat** dans le cadre d'une **stratégie de restauration**.

Les récifs coralligènes à restaurer se situent dans le site Natura 2000 Cap Ferrat, au sud-est du cap portant le même nom, entre -32 et -40 m. La **surface à restaurer représente 200 m²**. 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**.

Tous les écosystèmes connaissent, au fil du temps, une certaine variabilité (figure ci-dessous). Ainsi, la trajectoire que suit un écosystème (courbe bleue) est constamment modifiée par des perturbations « naturelles » (en bleu foncé). Suivant la résistance de l'écosystème, les bouleversements et impacts négatifs seront plus ou moins importants, et en fonction de sa **résilience**, le rétablissement se fera plus ou moins bien et sur une durée plus ou moins longue. A l'heure actuelle, peu d'écosystèmes restent uniquement impactés par des perturbations naturelles. Les pressions anthropiques (en orange) s'ajoutent de plus en plus aux perturbations naturelles et impactent de plus en plus les écosystèmes. Lorsqu'elles s'accumulent de façon trop importante, ou sur une durée trop longue, chaque écosystème risque de perdre sa **capacité d'auto-régénération** et de se **transformer** (courbe rouge). Au-delà d'un seuil (zone grise), et même si les pressions sont supprimées, il ne pourra pas revenir à sa trajectoire antérieure (source : [Guide DRIVER](#)) (Marre et al., 2019).

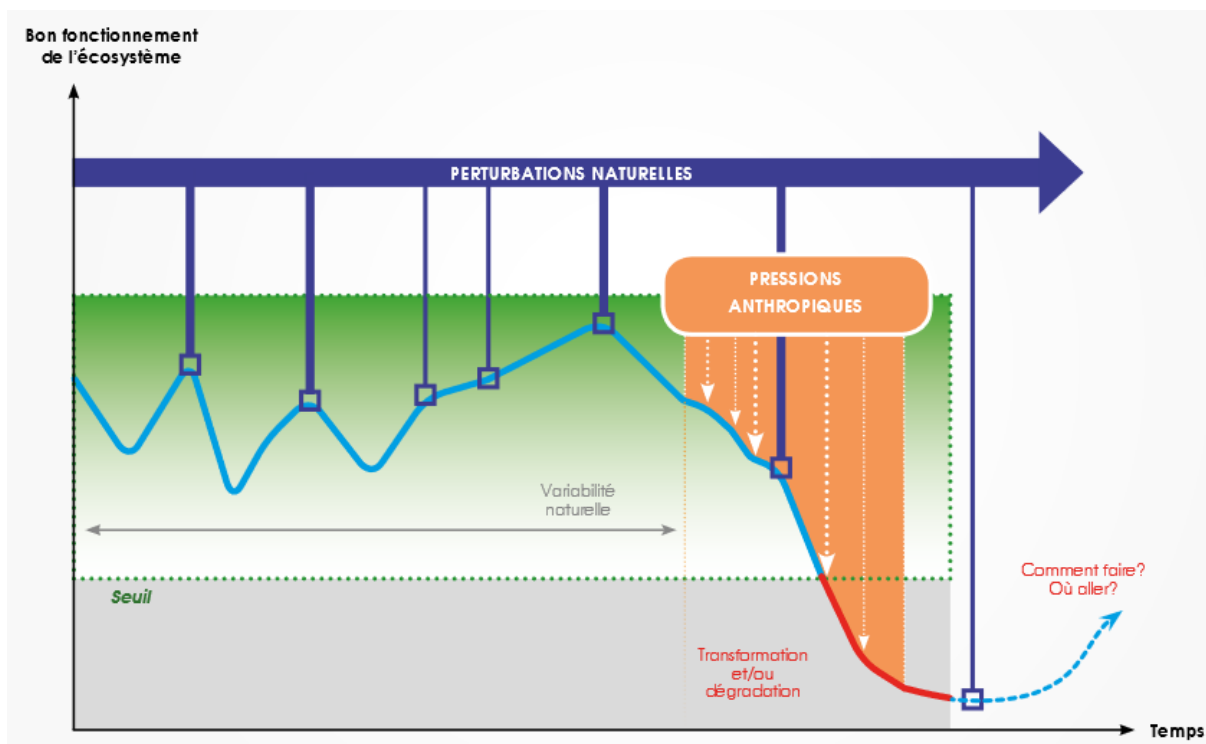


Figure 2 : Dynamique d'un écosystème soumis à des régimes de perturbations naturelles et des pressions anthropiques ponctuelles ou régulières ([Guide DRIVER](#)).

La dynamique de l'écosystème à Cap Ferrat a été diminuée voire interrompue depuis ces travaux de l'émissaire. Une intervention humaine forte (aspiration des sédiments) a été nécessaire pour faire évoluer l'écosystème de la zone en le replaçant dans une trajectoire favorable = naturelle (réhabilitation). En effet, ayant été très dégradé il n'est pas envisageable que l'écosystème revienne à un état proche de l'état initial sans intervention.

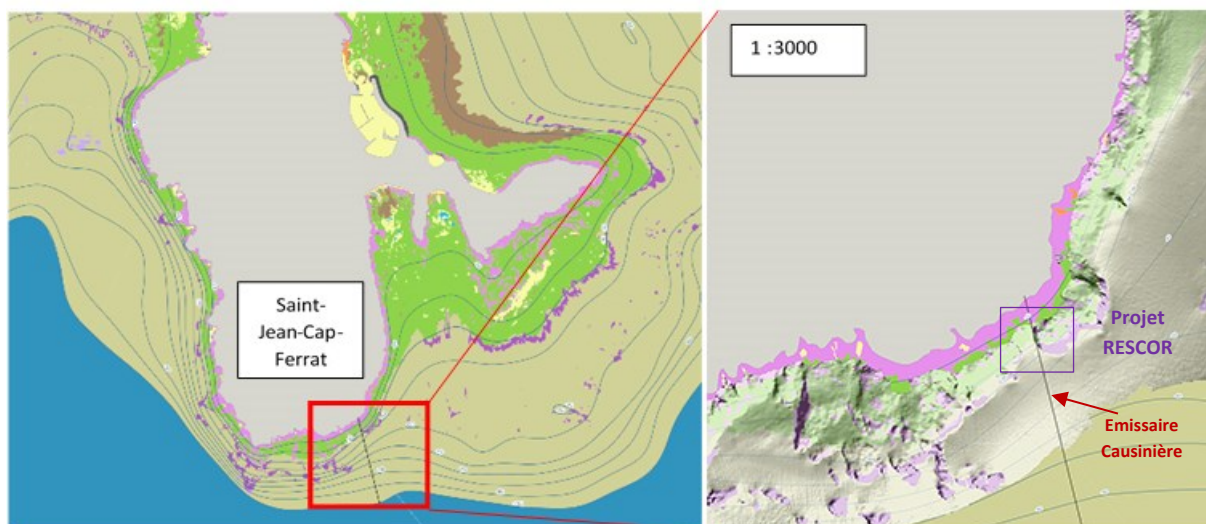


Figure 3 : Localisation de la zone du projet RESCOR au Sud-Est du Cap Ferrat à proximité de l'émissaire de la Causinière (source : www.platforme.medtrix.fr).

L'émissaire de la Causinière, construit en 1975, a un diamètre de 500 mm et une longueur de 518 mètres. Il traverse différents habitats (roches infralittorales, récifs coralligènes, fonds meubles) avant de déboucher à 104 mètres de profondeur. Jusqu'en 2011, l'agglomération de Villefranche récoltait les effluents de tout ou partie des territoires communaux de Villefranche-sur-Mer, Beaulieu-sur-Mer, Saint-Jean-Cap-Ferrat, Eze, La Turbie et Cap d'Ail (seule la partie Ouest de la commune était raccordée à ce système). Les effluents se rejetaient sans aucun traitement directement en mer par l'intermédiaire de cet émissaire, au large de Saint-Jean-Cap-Ferrat. Depuis 2011 les eaux usées de ces communes prennent la direction de la station d'épuration niçoise « Haliotis »



via un nouveau réseau terrain avant d'être rejetées purifiées. En cas de trop plein l'émissaire de la Causinière sert de délestage occasionnel du réseau des eaux usées. Ces dernières années, **l'émissaire de la Causinière a subi différents travaux de réhabilitation** car il était en mauvais état et présentait plusieurs cassures préjudiciables pour l'environnement marin :

- Colmatages de deux fuites entre 25 et 28 mètres de fond en 2004 ;
- Travaux de réhabilitation de l'émissaire de la Causinière en 2007 qui se sont déroulés en trois étapes : le forage, le tirage et la dépose.

En janvier 2007 a débuté le forage qui s'est effectué en deux temps : la réalisation d'un tir pilote qui a permis de perforer la roche mère sur environ 100 mètres de long pour déboucher à la profondeur de 40 mètres puis le broyage de la roche par un aléser.



Figure 4 : [1] Perforage de la roche sur 100 mètres de long ; [2] Broyage par un aléser (Images sous-marines extraites d'un film réalisé par POISSON-LUNE Productions pour la communauté Nice Côte d'Azur).

Le forage a duré deux mois puis la canalisation a été assemblée, tuyau par tuyau, jusqu'à l'extrémité du forage. Un câble de tirage, avec une poulie de renvoi, a permis de diriger l'émissaire équipé d'un ski de tirage jusqu'à l'exutoire. La mise en service de ce nouvel émissaire a eu lieu en septembre 2007 puis se sont déroulées les opérations délicates de dépose et d'évacuation de l'ancien émissaire hors d'usage.

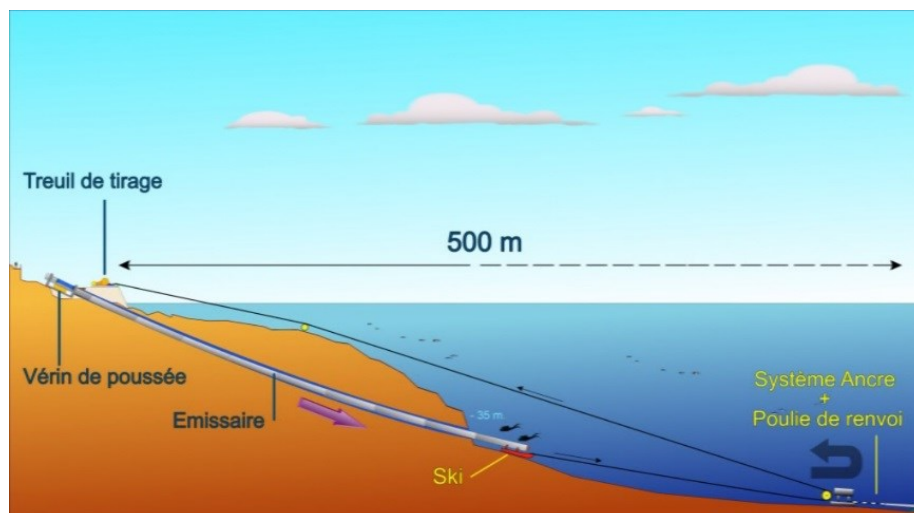


Figure 5 : Schéma illustrant les travaux de réhabilitation de l'émissaire de la Causinière effectués en 2007 (Image extraite d'un film réalisé par POISSON-LUNE Productions pour la communauté Nice Côte d'Azur).

Il n'y a désormais plus aucun rejet sur ce site mais ces travaux sur l'émissaire de la Causinière ont entraîné un **ensevelissement** du récif coralligène sur une petite partie. Or **les récifs coralligènes, par leur structure architecturale complexe et par leur composition de leurs assemblages composés d'organismes à la croissance lente, sont particulièrement sensibles au recouvrement par le sédiment** (Harmelin, 2009).

A ce jour, aucune méthode de restauration des récifs coralligènes ensevelis par des sédiments n'a été trouvée dans la littérature, seules des transplantations d'espèces associées au coralligène comme les éponges, les gorgones ou encore le corail rouge ont été réalisées. Une action de restauration expérimentale entre 2015 et 2016 a cependant été testée sur une espèce de gorgone *Ellisella paraplexauroides* dans les îles Chafarinas en Méditerranée (Sánchez-Tocino et al., 2017). Cette étude pilote consistait à l'élagage des branches de 9 colonies recouvertes d'épibiontes entre 23 et 26 m de profondeur. Les résultats de cette action de restauration ont montré une amélioration substantielle des colonies (croissance des branches, production de nouvelles branches et une augmentation générale dans l'état sanitaire des colonies). Néanmoins, d'autres expériences avec un plus grand nombre d'échantillons doivent être réalisées pour comprendre l'importance de cette technique.

De nombreuses études ont évalué les processus de recolonisation du substrat par les communautés macrobenthiques après l'extraction de sédiments marins par **dragage** (Boyd & Rees, 2003 ; Sardá et al., 2000 ; van Dalssen et al., 2000 ; van Dalssen & Essink, 2001). Certains résultats montrent que l'action de dragage semblent influencer de manière relativement faible les communautés benthiques avec des réponses spécifiques aux taxons comprenant des diminutions ou des augmentations d'abondance (Desprez, 2000). Le rétablissement de la faune semble être spécifique au site et les conséquences de la perturbation des communautés benthiques sont proportionnelles à la surface draguée (Sardá et al., 2000; van Dalssen et al., 2000). Ainsi, l'influence des sédiments sur un site et la capacité de résilience des organismes face aux perturbations environnementales est complexe. Par ailleurs, le taux de recolonisation semble être inversement proportionnel à l'intensité du dragage (McCauley et al., 1977; Miller et al., 2002).

Mais la variabilité des résultats sur différents sites (Boyd et al., 2005) indique qu'il est encore nécessaire d'augmenter le nombre de ces études de cas afin de pouvoir connaître plus précisément les facteurs favorables au rétablissement des communautés benthiques (Cooper et al., 2007). Les résultats s'accordent montrent tous que **dès la fin des opérations de dragage, il est observé une phase initiale rapide de recolonisation qui a lieu entre 6 et 12 mois** (Kenny & Rees, 1994; López-Jamar & Mejuto, 1988). Pendant cette phase, le recrutement larvaire serait la source la plus importante de nouvelles recrues plutôt que la migration d'adultes à proximité (Boyd & Rees, 2003). Ce sont principalement des taxons opportunistes comme les invertébrés avec les polychètes, ou encore les échinodermes et les bivalves qui vont recoloniser en premier le substrat (Desprez, 2000). Par exemple, Van Dalssen et al. (2000) ont montré que la recolonisation de deux sites par les polychètes s'est produite entre 5 à 10 mois après l'intervention sur deux zones situées dans la mer du Nord à 20 m de profondeur. Les résultats ont mis en avant une restauration de la biomasse à l'état initial avant le dragage dans les 2 à 4 ans suivant l'opération pour ces deux sites en mer du Nord. En revanche, les résultats de cette même étude ont montré que le rétablissement à l'état initial pour la même technique de dragage et de profondeur de site, a été plus long pour un site situé en Espagne en Méditerranée. Les perturbations causées par un changement de sédiments peuvent avoir un effet plus prolongé pour des systèmes à faible dynamique tels que ceux de certains sites présents en Méditerranée (van Dalssen et al., 2000). **Une seconde phase de récupération plus lente après l'arrêt des opérations de dragage se poursuivrait environ 2 à 4 ans** avec une structure des communautés similaire dans les zones draguées et celles de références (Sarda et al., 2000 ; Van Dalssen et al., 2000 ; Van Dalssen et Essink, 2001).

La plus grande opération de dragage en Méditerranée a eu lieu en 2002, où 800 000 m³ de sable a été extrait à partir de dépôt de sable relique off-shore dans le nord de la mer Adriatique à une profondeur comprise entre 40 et 45 m. Ce sable était destiné à plusieurs plages le long de la côte d'Emilie-Romagne en Italie (Simonini et al., 2005). Un suivi a été réalisé avant, pendant et à 1, 6, 12, 18, 24 et 30 mois après l'opération. Les résultats après 12 mois montrent une défaunation complète des sites. Mais à l'issue ces 12 mois, un stade avancé de recolonisation par les communautés a été observé (Simonini et al., 2005).

On peut voir dans certains cas une modification des communautés qui recolonisent, en réponse au changement de substrat. En effet, des altérations sur le long-terme des caractéristiques sédimentaires initiales d'un site ont souvent favoriser l'installation d'une faune benthique non présente initialement, qui a pu se maintenir dans le temps (Boyd et al., 2003 ; 2005) rendant complexe le rétablissement des communautés présentes



antérieurement. A l'inverse, après des altérations sur le court-terme des caractéristiques sédimentaires initiales d'un site, les opérations de draguage ont permises un rétablissement des communautés en quelques années en termes de biodiversité et de biomasse (Boyd et al., 2003 ; Robinson et al., 2005).

Dans le cadre de RESCOR, la majorité des particules s'est déposée vers l'Est de l'émissaire mais il restait des cuvettes particulières recouvrant le coralligène à proximité :



Figure 6 : Cap Ferrat avant le début du projet RESCOR montrant l'émissaire et la cuvette particulière (© Andromède Océanologie, 2016).



Figure 7 : La zone de relargage sédimentaire est toujours visible en 2016. Quelques morceaux du massif coralligène enseveli affleurent de la coulée sédimentaire (© Andromède Océanologie, 2016).



Figure 8 : Dépôt sédimentaire à proximité de la zone de forage (© Andromède Océanologie, 2016).

Figure 9 : Recouvrement des récifs coralligènes par des sédiments grossiers coquillers suite aux travaux de reconstruction de l'émissaire de la Causinière effectués en 2007. On visualise bien sur ces clichés qu'il ne reste que les espèces érigées comme les gorgones rouges *Paramuricea clavata*, les gorgones jaunes *Eunicella cavolinii*, les grandes axinelles *Axinella polypoides* et dont la base est couverte par les sédiments.

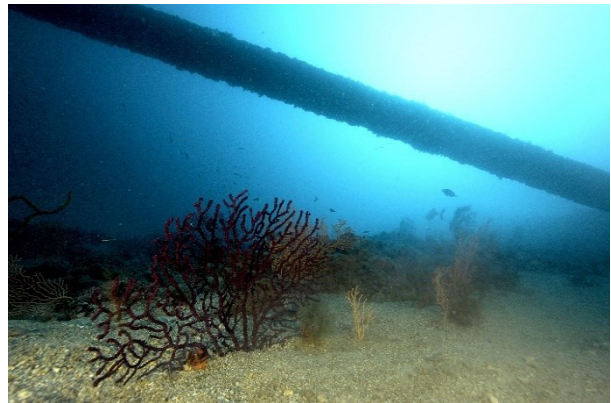


Figure 10 : Illustrations des travaux de réhabilitation de l'émissaire de la Causinière trois ans après leur réalisation. On observe le nouvel émissaire au travers des récifs coralligènes (Source : Andromède Océanologie, 2010). Le forage du coralligène a permis d'éviter la destruction des herbiers à posidonie qui sont observés entre -28 m et -6 m sur la zone.





Figure 11 : Nous avons testé en 2016 d'enlever sur une petite partie les sédiments recouvrant un coralligène affleurant. On peut observer le squelette calcaire des algues constructrices (blanc et gris = mort) sous la couche sédimentaire. L'habitat reste cependant dur et pourra permettre la fixation larvaire dans sa phase de restauration (© Andromède Océanologie, novembre 2016).

Afin de **restaurer des communautés de récifs coralligènes**, et recréer un écosystème semblable à l'état initial avant destruction, le projet RESCOR suit trois grandes étapes :

- **Caractérisation des communautés du récif coralligène avant nettoyage/désensévelissement, caractérisation des sédiments** de la zone du projet et de la zone de dépôt et **cartographie de la zone de dépôt** ;
- **Retrait des sédiments et nettoyage** du récif coralligène à partir d'un système innovant ;
- **Suivi temporel des communautés du récif coralligène après désensévelissement.**

Les deux premières étapes ont été effectuées sur la première année du projet RESCOR (en Septembre 2018) et les résultats sont présentés dans le rapport 2020¹.

Le présent rapport présente les méthodes mises en place et les résultats des suivis temporels des communautés du récif coralligène sur 5 ans avec une périodicité bi-annuelle les trois premières années puis annuelle, avant et après les actions de désensévelissement et nettoyage.

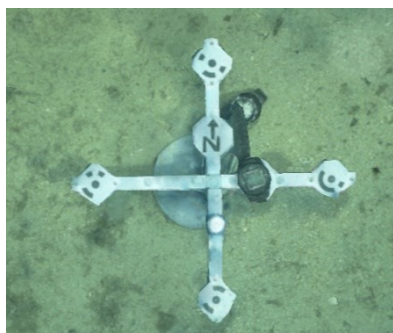
¹ ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2020. Projet RESCOR - Restauration écologique des communautés des récifs coralligènes – Bilan 2018-2019 : nettoyage, restauration, caractérisation et suivi des communautés du récif coralligène. Contrat Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse / Métropole Nice Côte d'Azur / Andromède Océanologie. 113 pages.

II. Matériel et méthodes

Les communautés du coralligène (assemblages et abondances d'espèces) évoluent au cours du temps au sein d'un récif. Les changements sont d'autant plus grands et rapides que la surface libre est grande. De par sa composition favorable (substrat biogénique) et la proximité de reproducteurs, les surfaces nettoyées lors du projet RESCOR devraient être rapidement colonisées par un premier cortège d'espèces. Pour évaluer dans le temps l'efficacité de ce projet de restauration écologique, il est nécessaire de réaliser un suivi fin des communautés du coralligène. Afin de rendre le suivi pertinent et de pouvoir analyser l'évolution de la restauration et de la colonisation du récif, un **état zéro** a été réalisé juste avant la réalisation des opérations de nettoyage en Juin et Septembre 2018 (T-1 avant désensevelissement/nettoyage) puis lors de **suivis temporels des communautés du récif coralligène après désensevelissement**. Tous ces suivis temporels ont été effectués entre Octobre 2018 (T0 après désensevelissement/nettoyage), et Mai 2022 (T6 après désensevelissement/nettoyage) avec une périodicité bi-annuelle les trois premières années (2018-2019-2020) puis annuelle (2021-2022), avant et après les actions de désensevelissement et nettoyage. Tous ces suivis ont été réalisés selon trois méthodes complémentaires : **Photogrammétrie, Quadrats photographiques, Quadrats permanents**.

II.A. Photogrammétrie

La photogrammétrie, anciennement définie comme la « science ou art d'obtenir des mesures fiables par des moyens photographiques » (American Society of Photogrammetry, 1965), permet aujourd'hui de **reconstituer un objet en trois dimensions (3D) à partir de photographies deux dimensions (2D)** prises sous différents angles (Fonstad et al., 2013; Remondino and El-Hakim, 2006; Rodrigues et al., 2004). L'évolution récente de cette technique, appelée « structure-from-motion » (Westoby et al., 2012), permet de s'affranchir de l'information de position et d'orientation des prises de vue. L'utilisateur n'a alors « plus qu'à » photographier l'objet sous tous ses angles et charger les photographies dans un logiciel dédié, ce qui simplifie l'acquisition dans un contexte sous-marin où les conditions rendent déjà compliquées de simples prises de vue (Bowens, 2009).



A défaut du positionnement GPS des images sous l'eau comme c'est le cas en surface, l'orientation dans l'espace (horizontalité et direction du Nord géographique) ainsi que l'échelle du modèle doivent être contraintes par l'utilisation d'une **mire photogrammétrique** (voir figure ci-contre).

Celle-ci est disposée en début d'acquisition par le plongeur, correctement orientée dans l'espace, et les **cibles codées à ses quatre extrémités cardinales** sont reconnues par le logiciel de traitement et permettent l'orientation et la mise à l'échelle du modèle. La mire pour le coralligène mesure 50 cm de long.

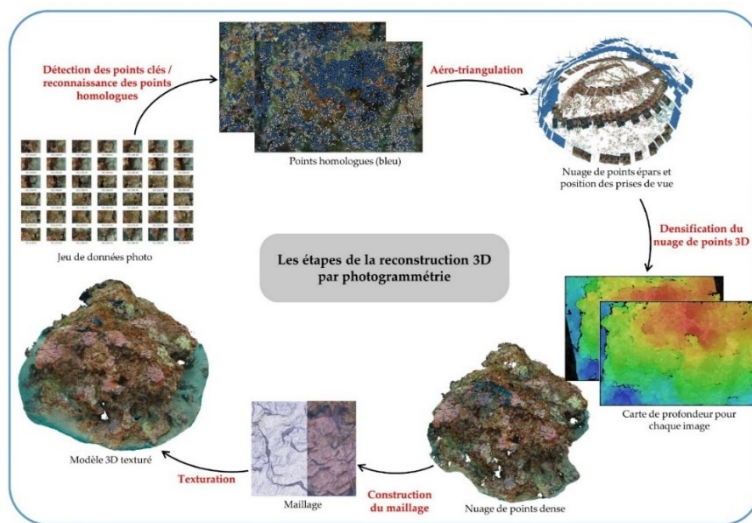
La reproduction fine en 3 dimensions (3D) de paysages sous-marins est ainsi possible. Le développement de la photogrammétrie appliquée au suivi d'écosystèmes benthiques permettra d'améliorer la qualité et la quantité de données collectées *in situ*, et d'ouvrir la voie au développement de nouveaux indicateurs écologiques. La collaboration entre Andromède Océanologie et l'Université de Montpellier (UMR MARBEC) a été renforcée en 2016 par la création d'un laboratoire commun (« LabCom » ; <https://labcomintosea.edu.umontpellier.fr/>), qui a pour principal objectif le développement de méthodes d'identification et de caractérisation automatisée et à très fine échelle par photogrammétrie 3D des biocénoses benthiques. Par ailleurs, une thèse CIFRE (2017-2020) a récemment été soutenue (Marre, 2020) autour du développement de la méthode d'acquisition et la production d'indicateurs écologiques innovants, avec une valorisation des résultats par la publication d'articles scientifiques dans des revues internationales.

Bien que cette méthode ait connu un important développement récent pour des études terrestres, cette approche est **encore peu répandue pour l'étude du milieu marin** (Lavy et al., 2015). Les premières études de ce



type ont utilisé la photogrammétrie pour la mesure de paramètres tels que la taille, la surface, le volume ou la croissance d'espèces benthiques, notamment de coraux (Bythell et al., 2001; Chong and Stratford, 2002; Courtney et al., 2007; Holmes, 2008; Holmes et al., 2008; Naumann et al., 2009; Veal et al., 2010).

Travaillant depuis 2016 sur l'utilisation de la photogrammétrie pour l'étude et le suivi d'habitats marins, Andromède Océanologie a acquis plus de 500 modèles dans des contextes différents (profondeurs, habitat, structures artificielles...) dont **124 récifs coralligènes** dans le cadre du réseau **RECOR** et **120 limites inférieures** d'herbier de posidonie dans le cadre du réseau **TEMPO**. Une thèse CIFRE (Guilhem Marre, 2017-2020) a notamment permis de valoriser les recherches menées sur la photogrammétrie et l'analyse d'images RECOR à travers plusieurs publications. Ces travaux de recherche ont pu aboutir grâce à **l'importante quantité de données** collectées dans le cadre des réseaux de surveillance. Par ailleurs, l'acquisition photogrammétrique permet de **figer l'état d'un habitat dans le temps** et joue donc également le rôle de bancarisation du patrimoine écologique des stations suivies.



L'ensemble du processus photogrammétrique suit un enchaînement de traitements numériques pour passer des images 2D au modèle 3D.

Figure 12 : Les étapes de la reconstruction 3D par photogrammétrie – ici appliqué à un modèle de coralligène

La méthode de photogrammétrie est utilisée à titre expérimental dans le cadre du projet RESCOR afin de 1) produire des visuels permettant d'expliquer les actions de désensivelissement, de communiquer sur le projet et de comparer l'évolution de la zone du projet dans le temps, et 2) sortir des indices écologiques permettant un suivi temporel objectif.

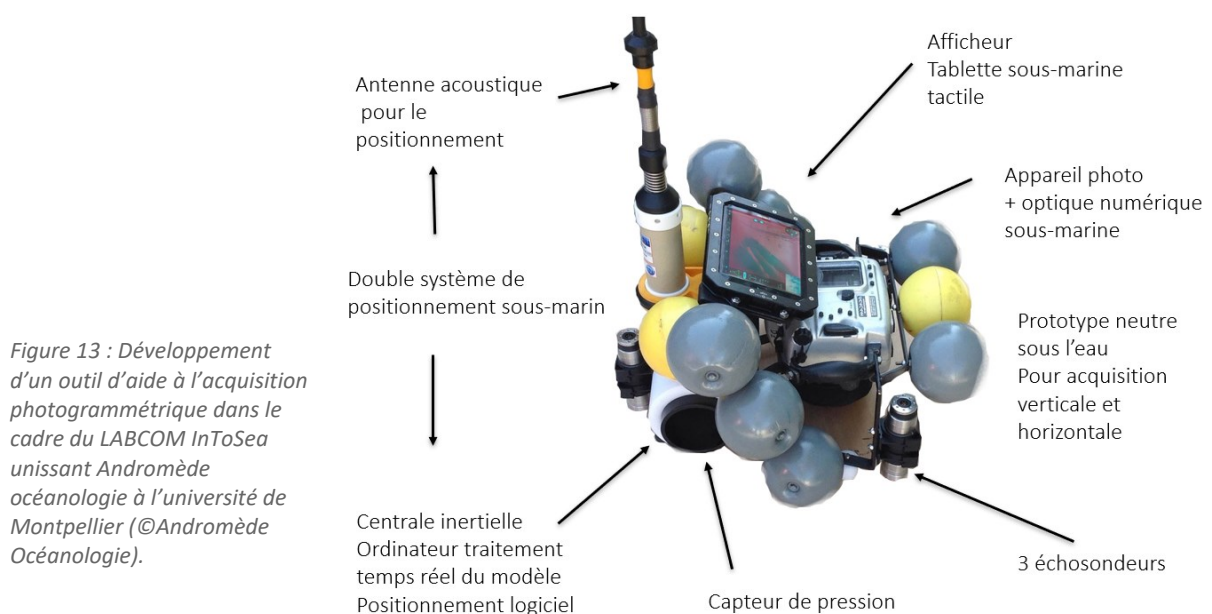


Figure 13 : Développement d'un outil d'aide à l'acquisition photogrammétrique dans le cadre du LABCOM InToSea unissant Andromède océanologie à l'université de Montpellier (@Andromède Océanologie).

II.B. Quadrats photographiques

Les assemblages coralligènes sont parmi les plus importants en mer Méditerranée en raison de divers atouts : large distribution, complexité structurelle, diversité en espèces, rôle dans le flux d'énergie et le cycle du carbone, valeur économique (Ballesteros, 2006; Gili and Coma, 1998). Pourtant, c'est dans un contexte de suivis spatio-temporels rares, de données au-delà de -50 m quasi inexistantes et d'une absence de méthode standardisée pour la caractérisation du coralligène qu'est né en 2010 le **projet RECOR**.

Développé par Andromède Océanologie en partenariat avec l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, le réseau RECOR concerne le suivi des communautés des récifs coralligènes de la façade méditerranéenne française bordée par les trois régions. Toutes ces données descriptives et leurs évolutions dans le temps (période de trois ans) et l'espace (minimum d'un site par masse d'eau) complètent l'estimation de la qualité écologique des masses d'eau côtières demandée par la DCE et aident à évaluer l'efficacité des mesures correctives mises en place afin d'atteindre ou maintenir le bon état visé par cette directive.



Les données issues de RECOR contribuent également à l'évaluation DCSMM. L'évaluation de l'atteinte du bon état écologique pour la composante « Habitats benthiques » repose sur deux critères : le critère D6C4 qui évalue "l'étendue de la perte du type d'habitat résultant de pressions anthropiques", et le critère D6C5 qui renseigne "l'étendue des effets néfastes liés aux pressions anthropiques sur l'état du type d'habitat, notamment l'altération de sa structure biotique et abiotique et de ses fonctions" par sous-régions marines et par grands types d'habitat.

Le réseau RECOR prend en compte trois types de descripteurs pour le suivi des communautés du coralligène : une **description générale** (facteurs abiotiques), les **espèces visibles fixées** et la **démographie des espèces érigées**. Le schéma ci-dessous synthétise les données relevées sur les récifs dans le cadre de RECOR.

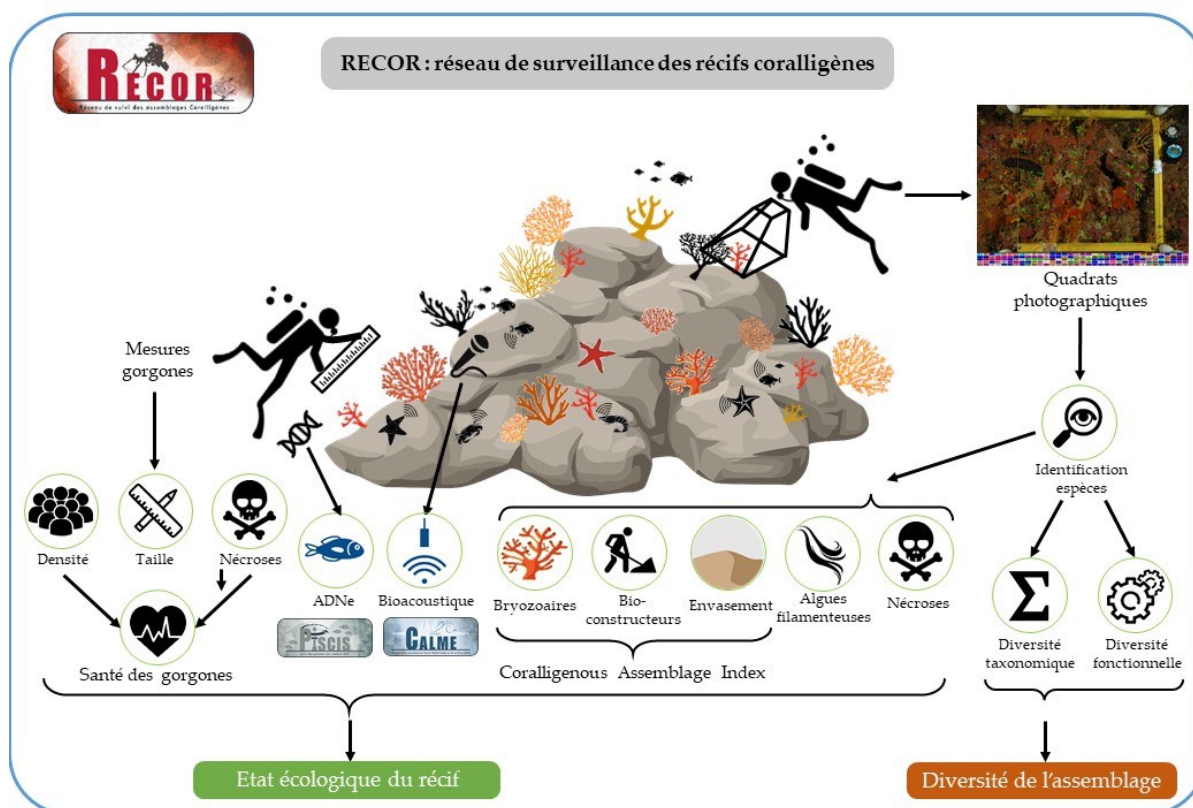
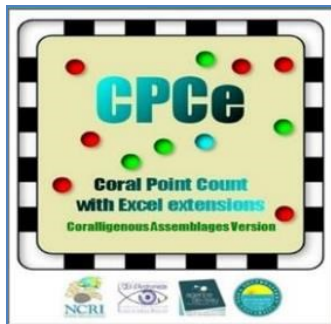


Figure 14 : Présentation générale des protocoles appliqués dans le cadre de RECOR.



Concernant les espèces fixées, une approche par **quadrat photographique** a été privilégiée. A chaque station d'échantillonnage, **30 photographies de quadrats de 2500 cm²** sont réalisées à l'aide d'un appareil Nikon D810 (capteur 24x36 mm, résolution 36,3 millions pixels) sur une même profondeur, le long d'un transect de 20 m (Deter et al., 2012b).



Lors de l'analyse des photos, le logiciel CPCe répartit 64 points aléatoirement sur chaque quadrat (Figure ci-contre). L'identification de la nature des espèces ou substrat sur lesquels sont disposés ces points permet de calculer des **pourcentages de recouvrement ou proportions relatives**.

Figure 15 : Une version CPCe 4.1 « coralligenous assemblage version » a été spécialement conçue dans le cadre de RECOR pour la surveillance du coralligène.

La méthodologie ainsi que les premiers résultats du réseau RECOR ont été publiés dans deux articles scientifiques (Deter et al., 2012a, 2012b). La caractérisation des communautés des récifs coralligènes est présentée par site RECOR sur la plateforme de la surveillance des eaux côtières et des écosystèmes de Méditerranée, [MEDTRIX](#).



Figure 16 : [1] Plongeur en recycleur circuit fermé réalisant des quadrats photographiques sur un site RECOR ; [2] Quadrat photographique en cours d'analyse (© Andromède océanologie).

Dans le cadre du **projet RESCOR**, **30 quadrats photographiques de 2500 cm²** ont été réalisés le long de **trois transects** différents de 20 m de longueur, chacun à une profondeur différente :

- à **-36 m** au-dessus de la zone principale à restaurer, coralligène en tombant. Sur cette station les cuvettes sédimentaires ont été nettoyées par jet d'eau,
- à **-38 m** à l'Est de l'émissaire, zone principale à restaurer. Sur cette zone les sédiments ont été retirés et la zone a été nettoyée par jet d'eau,
- à **-40 m**, station à proximité de la zone à restaurer (à l'Ouest de l'émissaire). Cette zone a été nettoyée par jet d'eau.

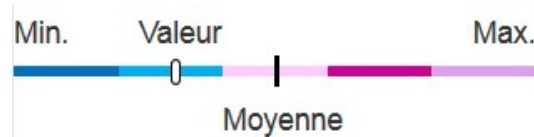
Une station de suivi du réseau RECOR se trouvant à -40 m à proximité de la zone restaurée (à l'Est), les résultats de cette surveillance ont été intégrés aux analyses.

Pour chacune des trois stations, nous présentons dans les résultats :

- Un **diagramme de répartition des pourcentages de vivant et de non vivant**.

- Un **diagramme de répartition des différents taxons parmi les organismes vivants** (abondance relative) pour chaque suivi (T-1 avant désensivelissement, T0 après désensivelissement, et tous les suivis post-désensivelissement).

- Un **tableau de synthèse détaillant une quarantaine de variables** issues de l'analyse de ces quadrats et leur évolution au cours des suivis. Pour chaque paramètre détaillé un curseur imagé replace la valeur observée dans le contexte régional (valeurs minimale, maximale et moyenne observées sur tous les sites échantillonnés) (figure ci-dessous). A noter que lorsqu'il y a plus de trois stations qui sont comparées alors le curseur blanc (valeur de la station) n'est plus affichée. En 2022, le **réseau RECOR en région PACA inclut 326 suivis**.



Légende du curseur imagé associé à chaque paramètre détaillé. Comparaison aux valeurs minimale, moyenne et maximale calculées sur l'ensemble des stations d'une région. Chaque couleur correspond à un cinquième de l'étendue des valeurs observées pour le paramètre

II.C. Quadrats permanents

Pour suivre plus spécifiquement les évolutions des communautés des assemblages coralligènes au cours de la recolonisation naturelle du substrat nécrosé ainsi que la mortalité, le recrutement larvaire, la croissance et la longévité, **14 quadrats permanents d'1 m² ont été établis dans la partie Est de l'émissaire**. Les quadrats 4, 5, et 6 sont localisés juste au-dessus de la zone restaurée, les onze autres se situent sur du récif désensivelé par les opérations de nettoyage.

D'après leur localisation sur la zone d'étude, ces quadrats peuvent être regroupés en deux catégories :

- Les quadrats dits « **nettoyés** » : **2, 4, 5, 6, 10, 14**. Ces quadrats ont fait l'objet d'opérations de nettoyage par jet d'eau ;
- Les quadrats dits « **désensivelés** » **1, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13**. Ces quadrats ont fait l'objet d'opérations de retrait de sédiments et de nettoyage par jet d'eau.

A chaque suivi différentes catégories du **vivant** (Corallinales, Peyssonneliales, Autres algues, Bryozoaires, Eponges, Gorgones, Vers, Vivant non identifié) et du **non vivant** (Coralligène nécrosé, Substrat rocheux, Débris biologiques, Débris végétaux, Substrat meubles, Cavités, Algues rouges encroustées nécrosées) ont été dessinées manuellement sous Adobe Photoshop® sur chaque quadrat. Ces données permettent de suivre finement la recolonisation du substrat. Les données ont ensuite été comparées dans le temps en termes de surfaces couvertes et de diversité d'espèces.



III. Résultats

Trois méthodes ont été utilisées pour caractériser les communautés des assemblages des récifs coralligènes : photogrammétrie, quadrats photographiques, quadrats permanents. Ces données ont été acquises lors de **l'état zéro** en Septembre 2018 (T-1 avant désensvelissement/nettoyage) puis lors des **suivis temporels des communautés du récif coralligène après désensvelissement**, entre Octobre 2018 (T0 après désensvelissement/nettoyage), et Mai 2022 (T6 après désensvelissement/nettoyage) avec une périodicité bi-annuelle les trois premières années (2018-2019-2020) puis annuelle (2021-2022), avant et après les actions de désensvelissement et nettoyage.

Nous présentons les résultats de tous ces suivis et intégrons une analyse comparative des résultats entre T-1 et T6 après désensvelissement/nettoyage.

III.A. Photogrammétrie

L'acquisition photogrammétrique est réalisée par deux plongeurs équipés d'un appareil photo Nikon D4S avec une optique marine 20 mm et deux flashes SeaCam. Chaque modèle est disponible au format .3mx avec le visualiseur adéquat. Le tableau suivant présente les dates et le nombre de photos utilisées pour construire le modèle 3D de chaque suivi (**9 modèles créés, mais 8 modèles exploitables sur la période du projet** (modèle du suivi T4 non exploitable)) (exemple sur la figure suivante).

Tableau 1 : RESCOR – Photogrammétrie (date d'acquisition et nombre de photos prises sous l'eau pour réaliser le modèle).

SUIVI RESCOR		PHOTOGRAMMETRIE		
Suivi		Date	Nombre Photos	Nom Photo Générale
Avant désensvelissement / nettoyage	T-1	22/06/2018	3275	General_2018_06_av_travaux.tif
		20/09/2018	8193	General_2018_09_av_travaux.tif
	T0	01/10/2018	9448	General_2018_09_ap_travaux.tif
	T1	12/06/2019	3181	General_2019_06.tif
	T2	25/09/2019	2634	General_2019_09.tif
	T3	08/05/2020	5465	General_2020_05.tif
	T4	7/12/2020	4000	Données peu exploitables
	T5	29/11/2021	2579	General_2021_11.tif
	Après désensvelissement / nettoyage	T6	31/05/2022	4665

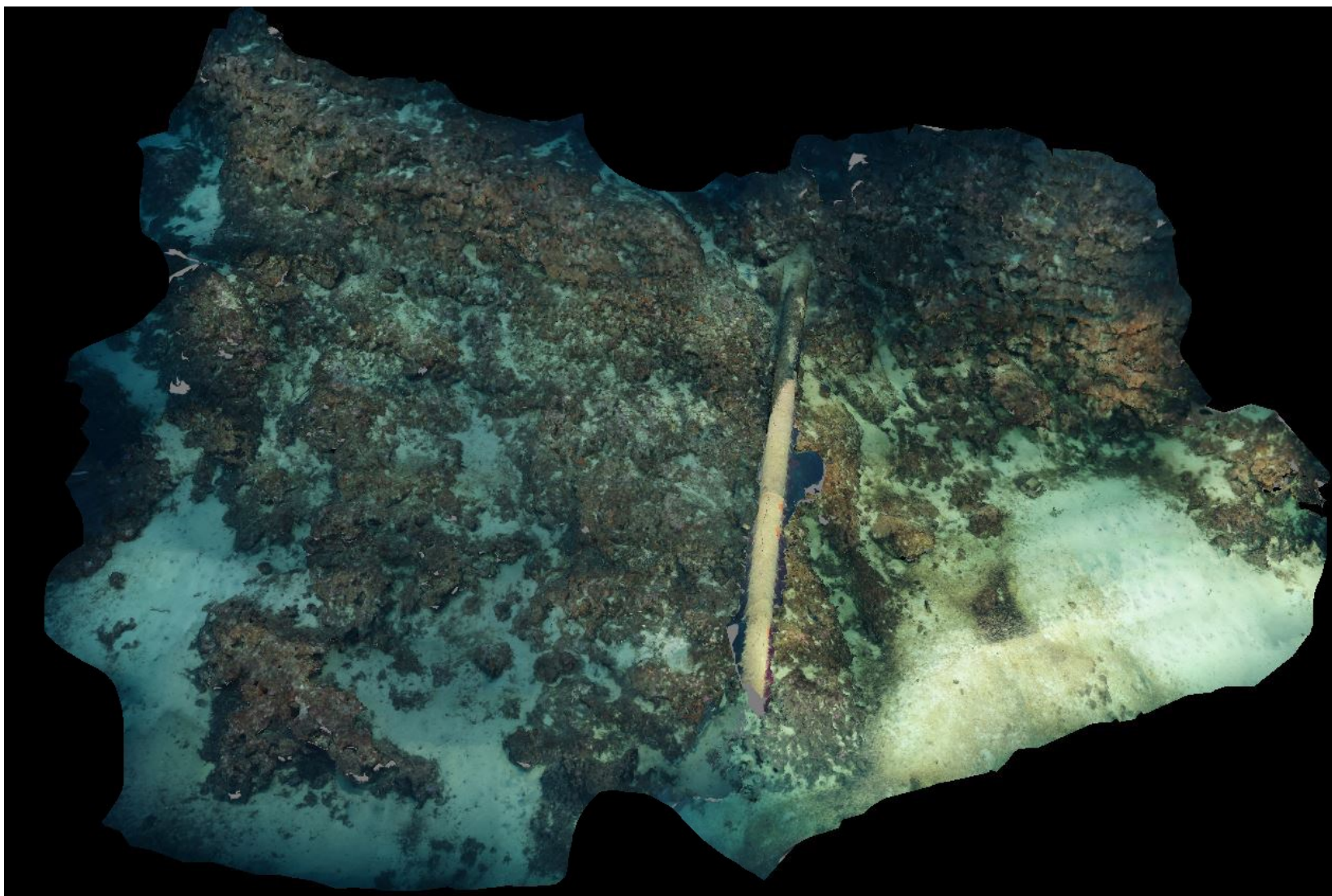


Figure 17 : Exemple de la vue d'un modèle 3D réalisé en photogrammétrie dans la zone restaurée – T5 après désensevelissement ©Andromède Océanologie, 2021.

Les modèles photogrammétriques de la zone de projet réalisés à chaque suivi ont permis de visualiser l'état de la zone ayant fait l'objet d'un retrait des sédiments et d'opérations de nettoyage dans la partie Ouest de l'émissaire. L'évolution des modèles 3D est visible sur les deux figures suivantes.

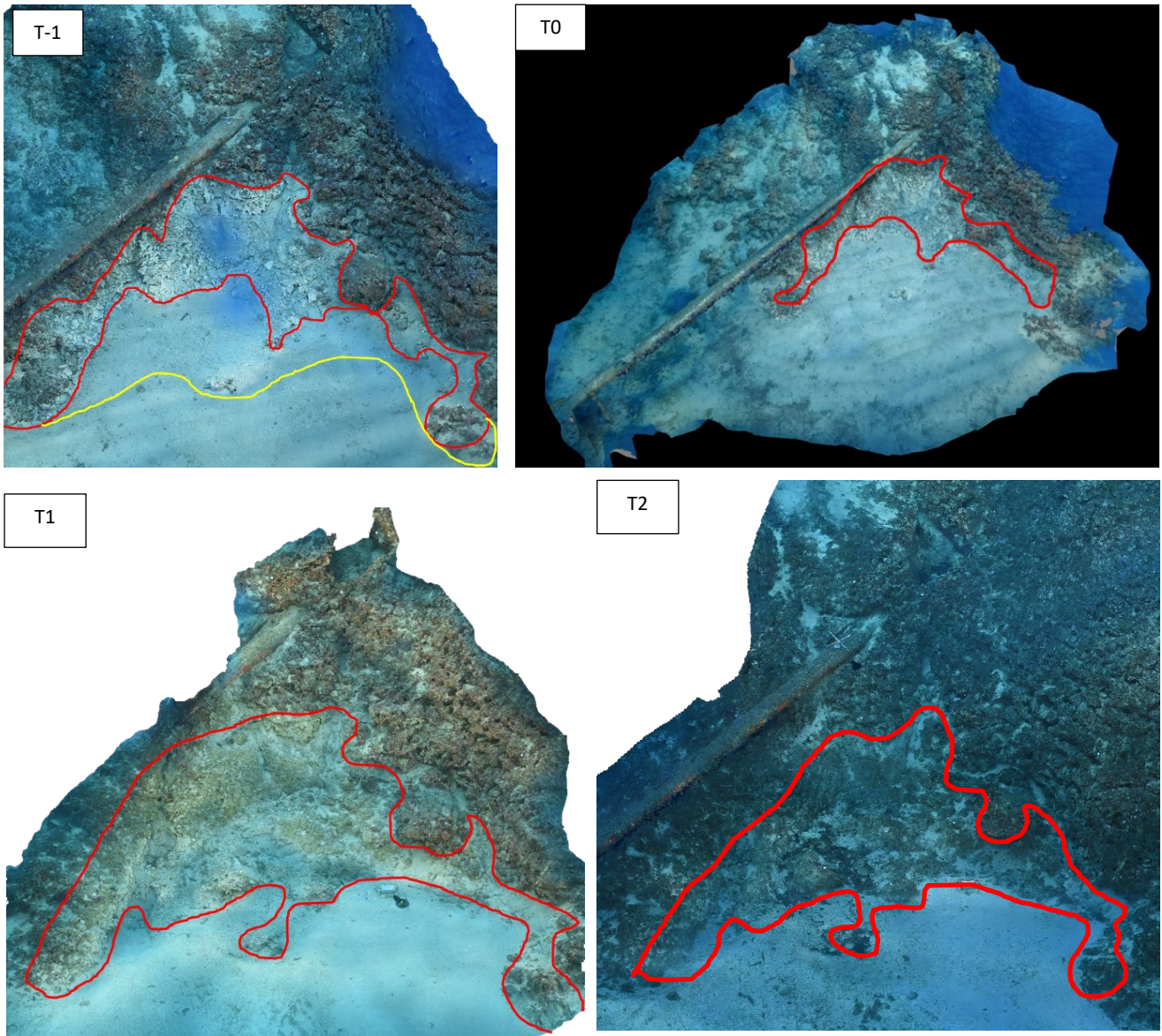


Figure 18 : Modèles 3D réalisés par photogrammétrie entre T-1 et T2. La zone en rouge correspond à la zone désensévelie.



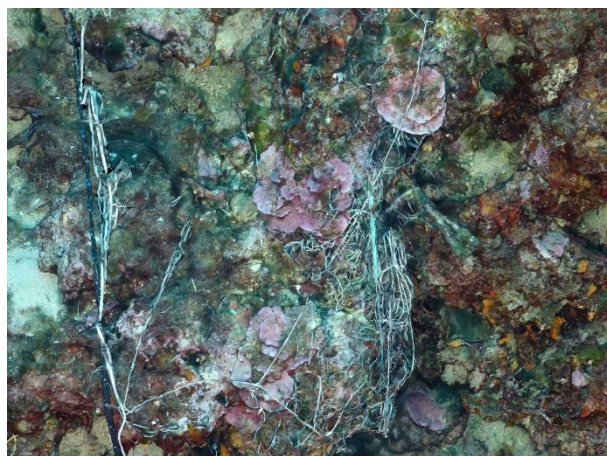
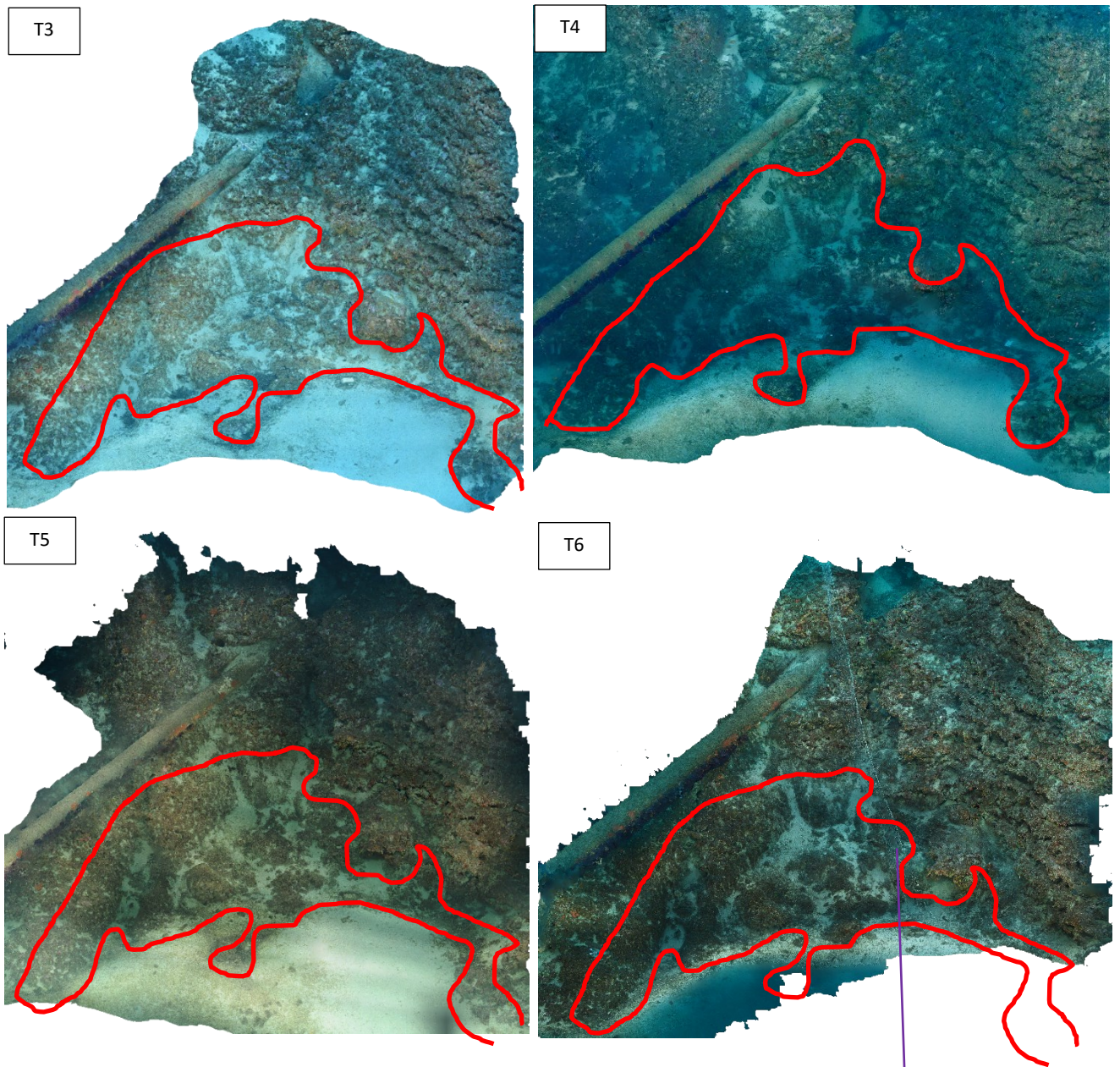


Figure 19 : Modèles 3D réalisés par photogrammétrie entre T3 et T6. La zone en rouge correspond à la zone désenséevlie. Au suivi T6 de Mai 2022 présence d'un **filet maillant actif** au milieu du site.

La méthode de photogrammétrie permet de produire des visuels qui permettent de rendre compte de l'évolution générale de la **colonisation du récif** avec des **changements de coloration**. Une analyse des photogrammétries sur plus de quatre années, entre T0 (Octobre 2018) et T6 (Mai 2022), illustre cette colonisation (figures suivantes).

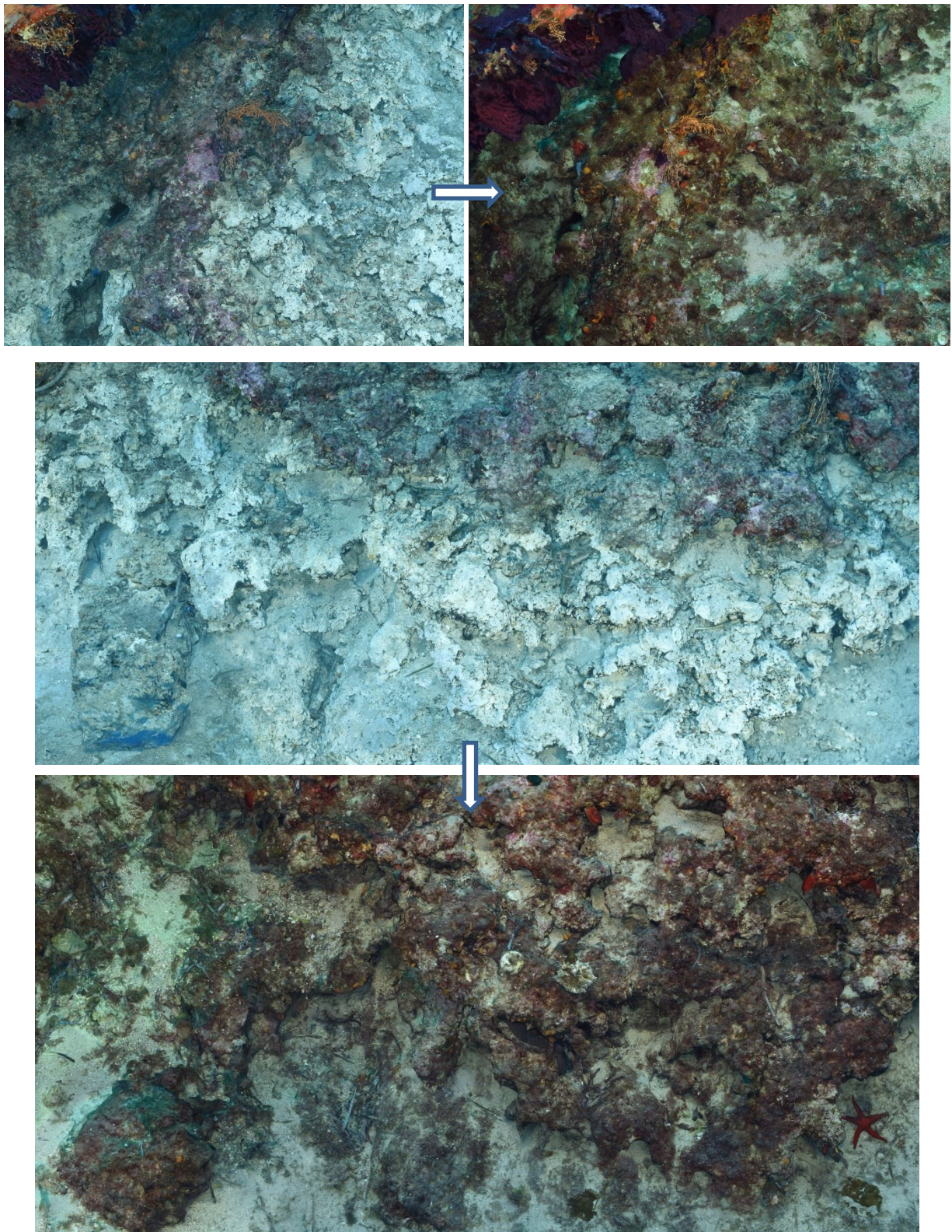


Figure 20 : Comparaison de zooms photogrammétriques entre le T0 (Octobre 2018) et le T6 (Mai 2022) montrant la colonisation du récif désenséveli.



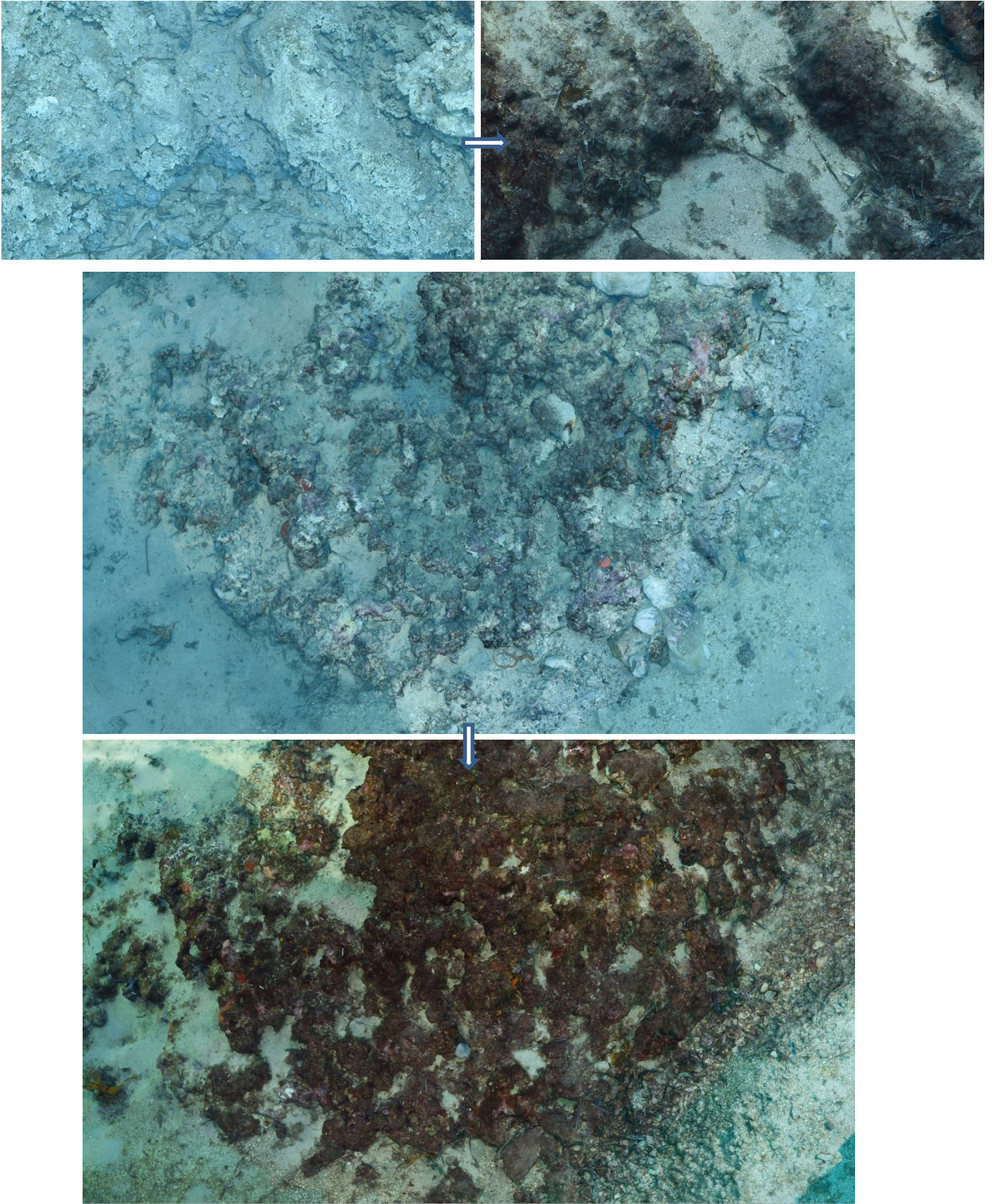


Figure 21 : Comparaison de zooms photogrammétriques entre le T0 (Octobre 2018) et le T6 (Mai 2022) montrant la colonisation du récif désenséveli.

Si l'on s'intéresse plus particulièrement aux espèces, on constate que **les espèces érigées / massives présentes à T0 sont toujours fixées au même endroit du récif cinq années plus tard**, comme par exemples les grandes axinelles (*Axinella polypoides*), les gorgones jaunes (*Eunicella cavolinii*), les cérianthes (*Cerianthus membranaceus*), ou le corail rouge (*Corallium rubrum*).

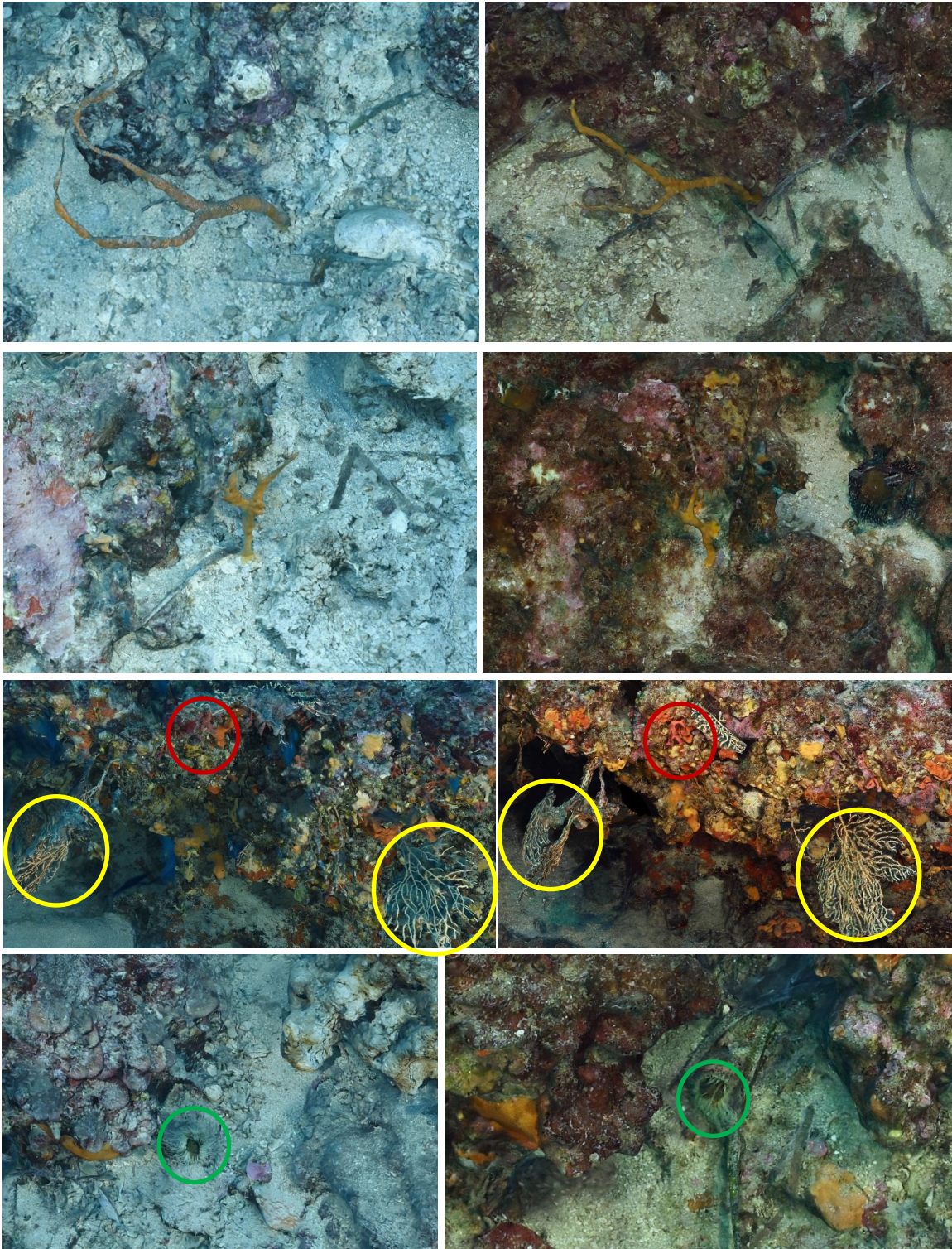


Figure 22 : Comparaison de zooms photogrammétriques entre le T0 (Octobre 2018) et le T6 (Mai 2022). On constate que les espèces érigées / massives présentes à T0 sont toujours fixées au même endroit du récif cinq années plus tard. [1,2] Grandes axinelles (*Axinella polypoides*) ; [3] Gorgones jaunes (*Eunicella cavolinii*) (cercles jaunes) et le corail rouge (*Corallium rubrum*) (cercles rouges); [4] Cérianthes (*Cerianthus membranaceus*) (cercles bleus).



Par contre, sur le récif coralligène nécrosé (anciennement récif vivant mais qui a été enseveli sous le sable à cause des travaux), **apparaissent des espèces au cours des suivis (annélides Polychètes sédentaires, ascidies, petites gorgones jaunes, holothuries, chapon...).**

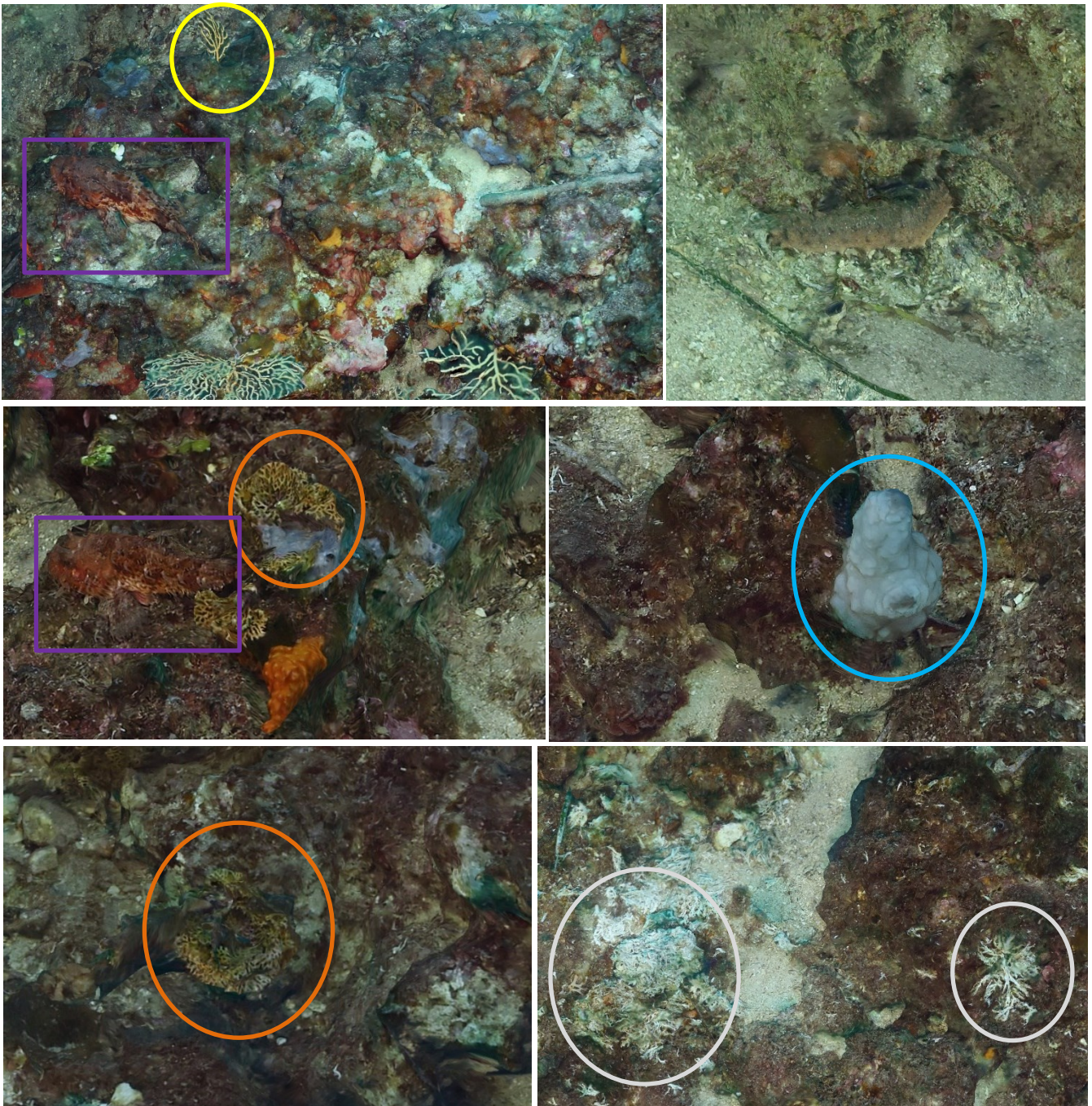


Figure 23 : Zooms photogrammétriques à T6 (Mai 2022) montrant l'apparition d'espèces au cours des suivis ; [1] Gorgone jaune (*Eunicella cavolinii*) (cercle jaune) et chapon (*Scorpaena scrofa*, rectangle violet) ; [2] Holothurie (*Holothuria tubulosa*) ; [3] Bryozoaires érigés (cercles oranges) et chapon (*Scorpaena scrofa*, rectangle violet) ; [4] Ascidie *Phallusia mammillata* (cercle bleu) ; [5] Bryozoaires érigés (cercles oranges) ; [6] Annélides Polychètes sédentaires (*Filograna* sp. / *Salmacina* sp. : signe d'eutrophisation du milieu ?)

La figure ci-dessous compare l'évolution générale de la **colonisation du récif en une année** à partir de vues des modèles 3D entre T3 (Mai 2020) et T5 (Novembre 2021), qui permettent de rendre compte de l'évolution générale de la **colonisation du récif** avec des **changements de coloration**.

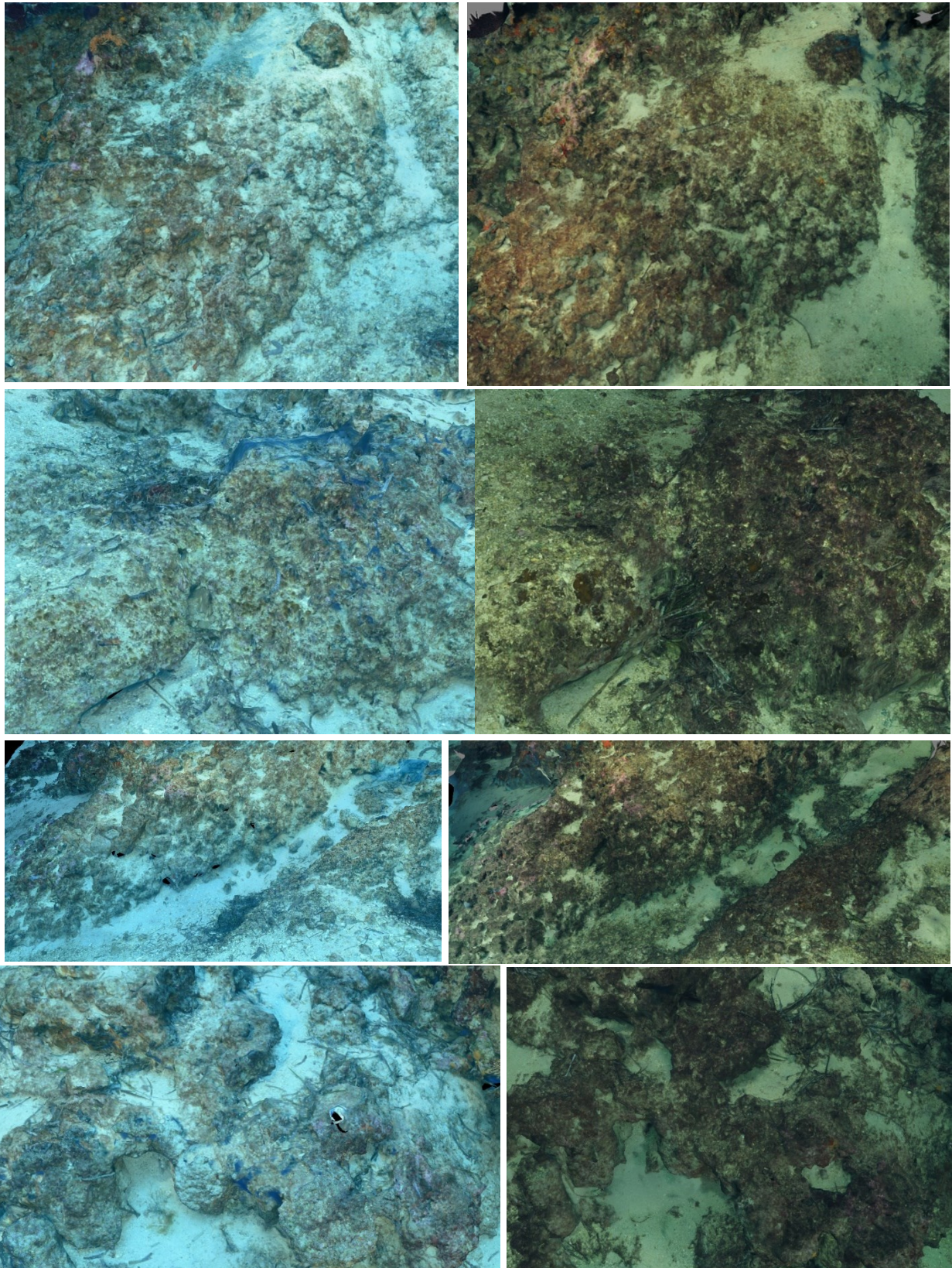


Figure 24 : Comparaison de zooms photogrammétriques entre le T3 (Mai 2020 ; à gauche) et le T5 (Novembre 2021 ; à droite) montrant des changements de coloration.



III.B. Quadrats photographiques

L'acquisition des **30 quadrats photographiques de 2500 cm²** est réalisée par un plongeur le long de **trois transects**, de 20 mètres de longueur, chacun à une profondeur différente : à **-36 m, -38 m, et -40 m**. Le tableau suivant présente les dates des quadrats photographiques et le nom des stations suivies. Sur la période du projet, **8 suivis** ont été réalisés, et **780 quadrats photographiques** ont été analysés (30 par station -26 stations analysées). Les résultats de la station **RECOR** à -40 mètres, considérée comme station témoin suivie en 2019 et 2022, sont intégrés à l'étude.

Tableau 2 : Suivi RESCOR – Quadrats photographiques (date d'acquisition et noms des stations).

SUIVI RESCOR		QUADRATS PHOTOGRAPHIQUES	
Suivi		Date	Noms stations
Avant désensevelissement / nettoyage	T-1	25/09/2018	Cap_Ferrat_Restauration_201809_36 / Cap_Ferrat_Restauration_201809_38 / Cap_Ferrat_Restauration_201809_40
	T0	01/10/2018	Cap_Ferrat_Restauration_201810_36 / Cap_Ferrat_Restauration_201810_38 / Cap_Ferrat_Restauration_201810_40
	T1	11/06/2019	Cap_Ferrat_Restauration_201906_36 / Cap_Ferrat_Restauration_201906_38 / Cap_Ferrat_Restauration_201906_40 / Cap_Ferrat_40*
	T2	25/09/2019	Cap_Ferrat_Restauration_201909_36 / Cap_Ferrat_Restauration_201909_38 / Cap_Ferrat_Restauration_201909_40 /
	T3	08/05/2020	Cap_Ferrat_Restauration_202005_36 / Cap_Ferrat_Restauration_202005_38 / Cap_Ferrat_Restauration_202005_40 /
	T4	07/12/2020	Cap_Ferrat_Restauration_202012_36 / Cap_Ferrat_Restauration_202012_38 / Cap_Ferrat_Restauration_202012_40 /
	T5	22/06/2021	Cap_Ferrat_Restauration_202106_36 / Cap_Ferrat_Restauration_202106_38 / Cap_Ferrat_Restauration_202106_40 /
	Après désensevelissement / nettoyage	T6	27/05/2022
			* Station échantillonnée dans le cadre du réseau RESCOR

III.B.1. Station à -36 m

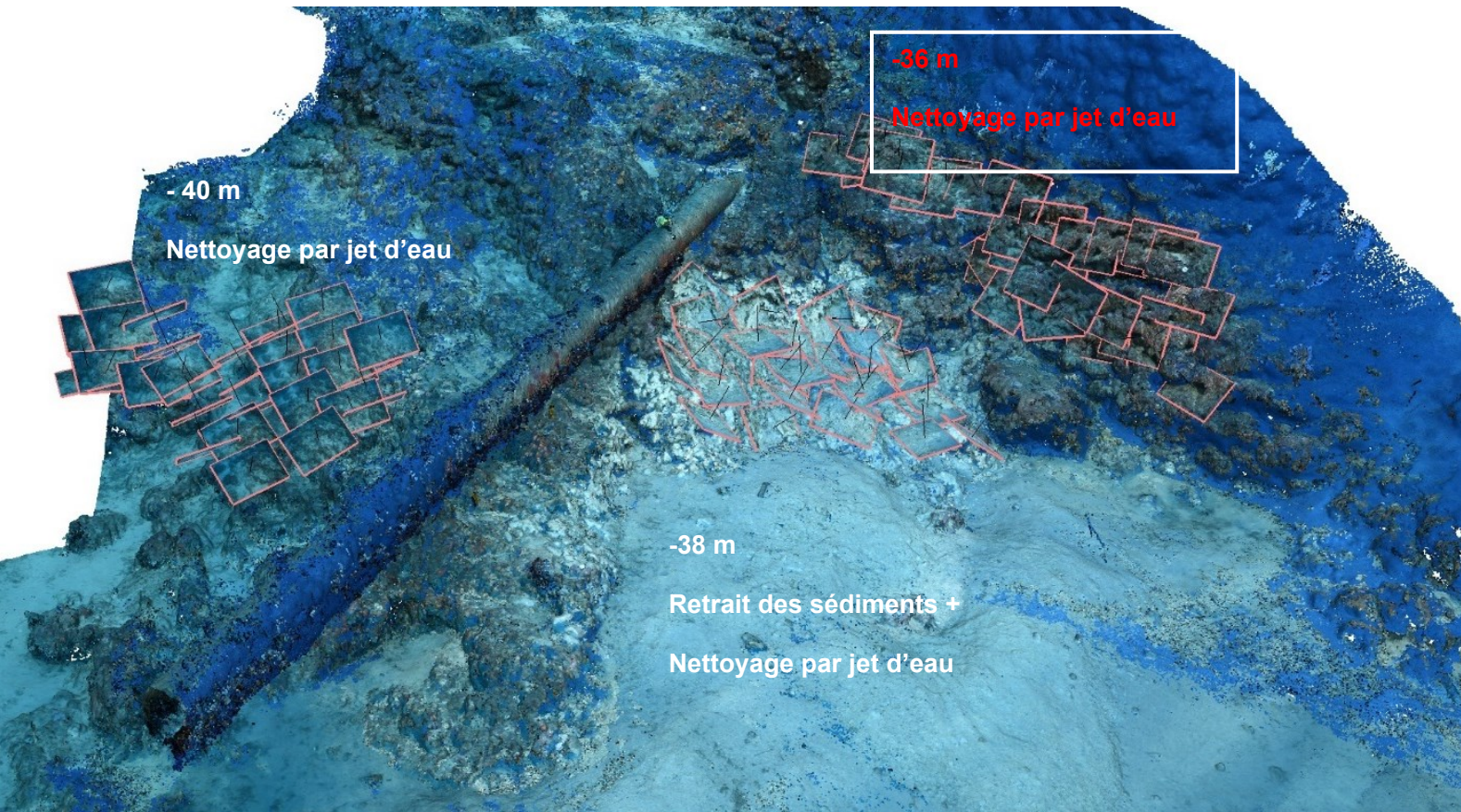


Figure 25 : Localisation de la station à -36 m par rapport aux deux autres stations et à la position de l'émissaire.

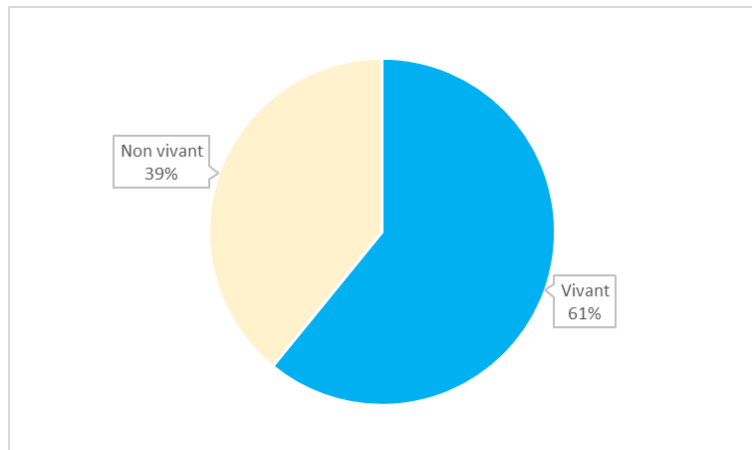


III.B.1.a. T-1 avant nettoyage

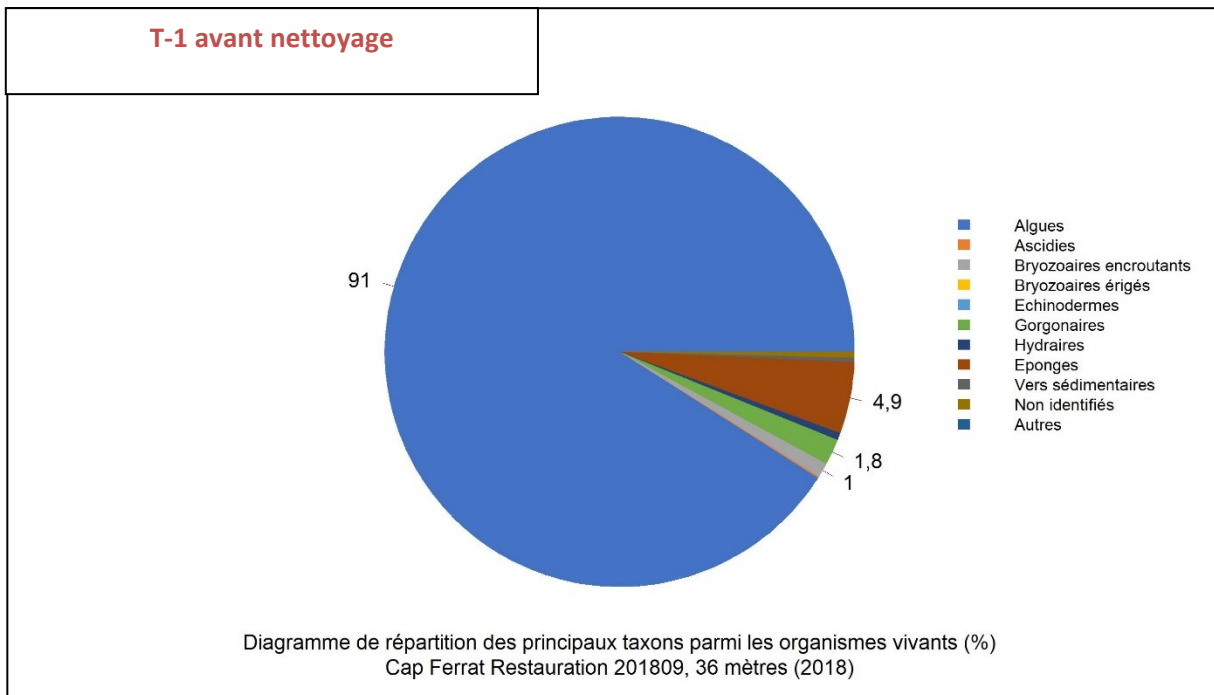
Sur la station à **-36 mètres avant nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

- 61 % par des organismes vivants (pourcentage proche de la moyenne régionale)
- 39 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend surtout du **sédiment vaseux** (18,8 %, pourcentage largement inférieur à la moyenne régionale) et du **sable** (14,3 %).



Parmi les **61 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).



Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues, les éponges, les gorgones.

Parmi le vivant (**recouvrement de 61 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -36 mètres (91 % des organismes vivants) avec des **algues brunes filamenteuses** (28,5 %) et des **algues rouges encroûtantes** (62 %) qui forment la strate basse. Elles sont dominées par des ***Peyssonnelia sp. encroûtantes*** (46 % du vivant), mais on observe aussi *Mesophyllum alternans* et quelques *Lithophyllum stictaeforme*.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **éponges** (4,9 % des organismes vivants) sont représentées surtout par des éponges encroûtantes et quelques espèces massives avec notamment ***Axinella damicornis* qui forme la strate basse du coralligène**. Ce sont les éléments les plus importants de la faune devant les gorgones (1,8 %) constituées par les **gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* qui forment la strate haute**, et du corail rouge *Corallium rubrum*.

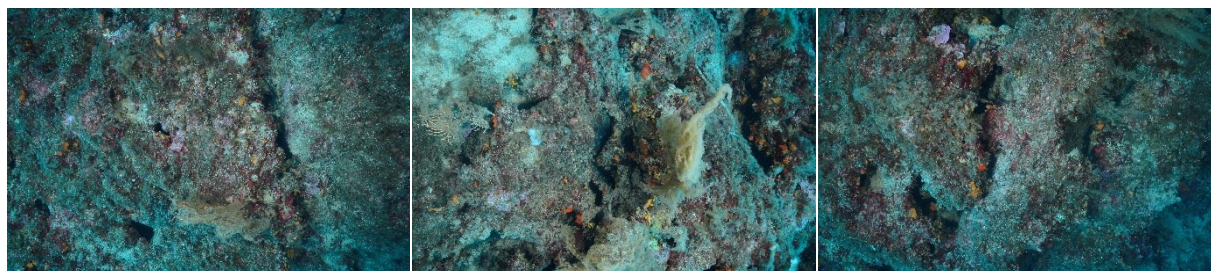


Figure 26 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -36 mètres – T-1 avant nettoyage.

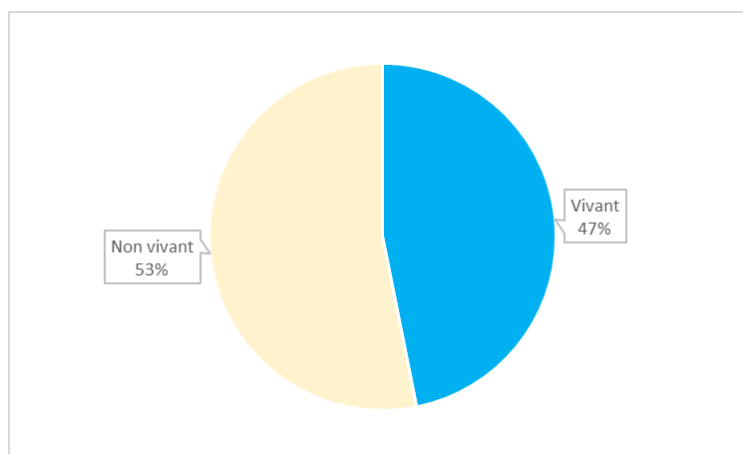
III.B.1.b. T0 après nettoyage

Sur la station à **-36 mètres après nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

47 % par des organismes vivants (pourcentage inférieur à la moyenne régionale),

53 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (26 %, pourcentage proche de la moyenne régionale), mais aussi du **sable** (9,4 %), des **cavités** (10 %) et des **débris biologiques** (8 %).



Ces chiffres témoignent des actions de nettoyage réalisées sur la station : le sable et le récif qui ont été nettoyés par jet d'eau abritaient des algues brunes filamenteuses (28,5 % des organismes vivants à T-1) qui ont donc disparu par le nettoyage (0,2 % à T0). Leur disparition entraîne une diminution des recouvrements par le vivant et par le sable et une augmentation des recouvrements des cavités et des débris biologiques (qui étaient recouverts par le sable à T-1). L'augmentation du recouvrement par la vase s'explique par la remise en suspension de particules fines lors du nettoyage.

Parmi les **47 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure suivante). Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues, les éponges, les gorgones et les bryozoaires.

Parmi le vivant (**recouvrement de 47 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -36 mètres (80 % des organismes vivants) avec des **algues rouges encroûtantes qui forment la strate basse**. Elles sont dominées par des ***Peyssonnelia sp. encroûtantes*** (44 % du vivant) et les corallines ***Mesophyllum alternans*** (28 % du vivant) et quelques ***Lithophyllum stictaeforme***. On constate que les algues filamenteuses observées au T-1 avant nettoyage ont disparu.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **éponges** (12,1 % des organismes vivants) sont représentées surtout par des éponges encroûtantes et quelques espèces massives avec notamment ***Axinella damicornis* qui forme la strate basse du coralligène**. Ce sont les éléments les plus importants de la

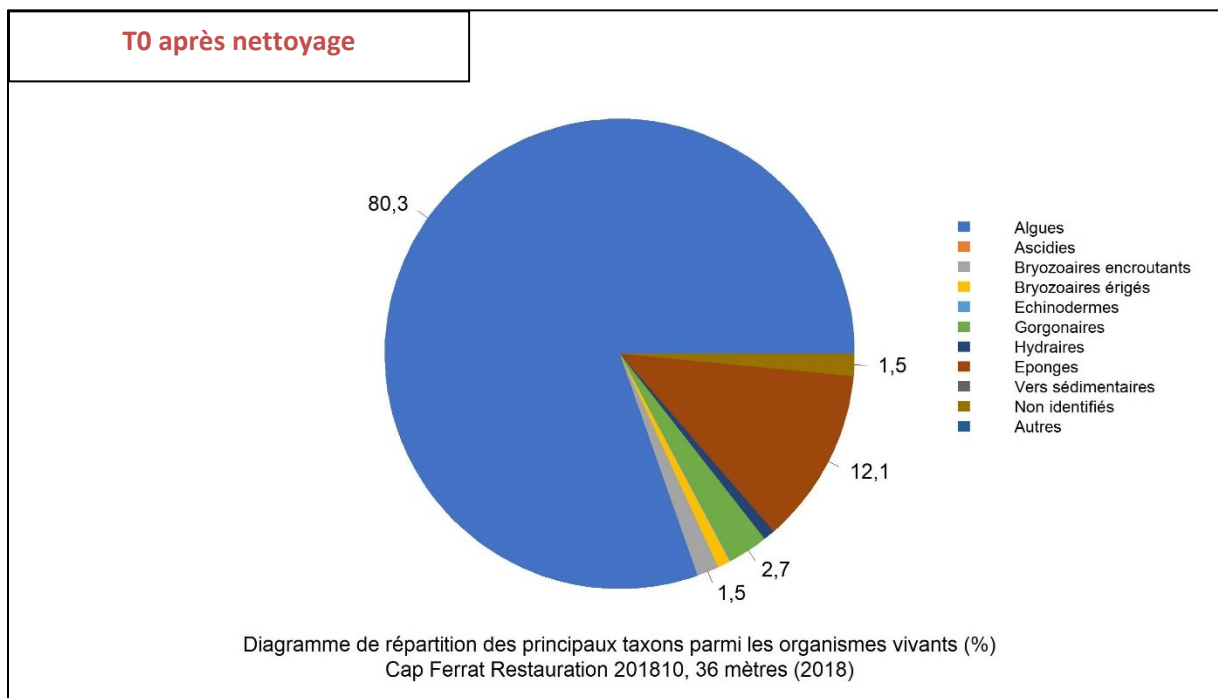


faune devant les gorgones (2,7 %) constituées par les **gorgones jaunes *Eunicella cavolinii*** qui forment la **strate haute**, et du corail rouge *Corallium rubrum*.

Les **bryozoaires** sont formés par des espèces encrustantes et érigées (*Crisia sp.*, *Dentiporella verrucosa*, *Myriapora truncata*, *Reteporella sp.*).



Figure 27 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -36 mètres – T0 après nettoyage.

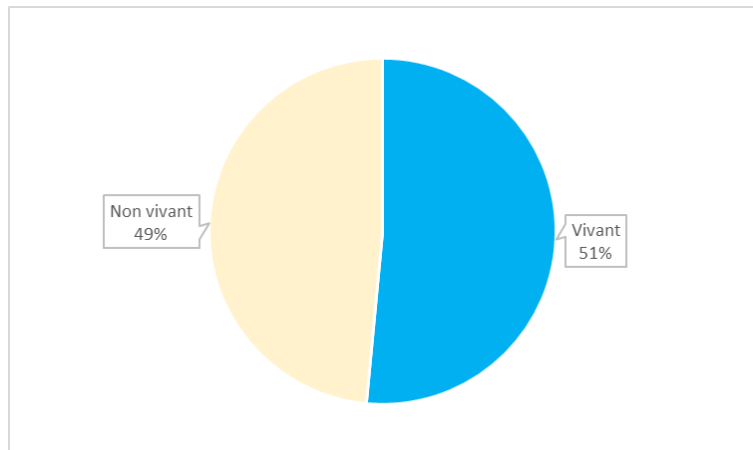


III.B.1.c. T1 après nettoyage

Sur la station à **-36 mètres au suivi T1 après nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

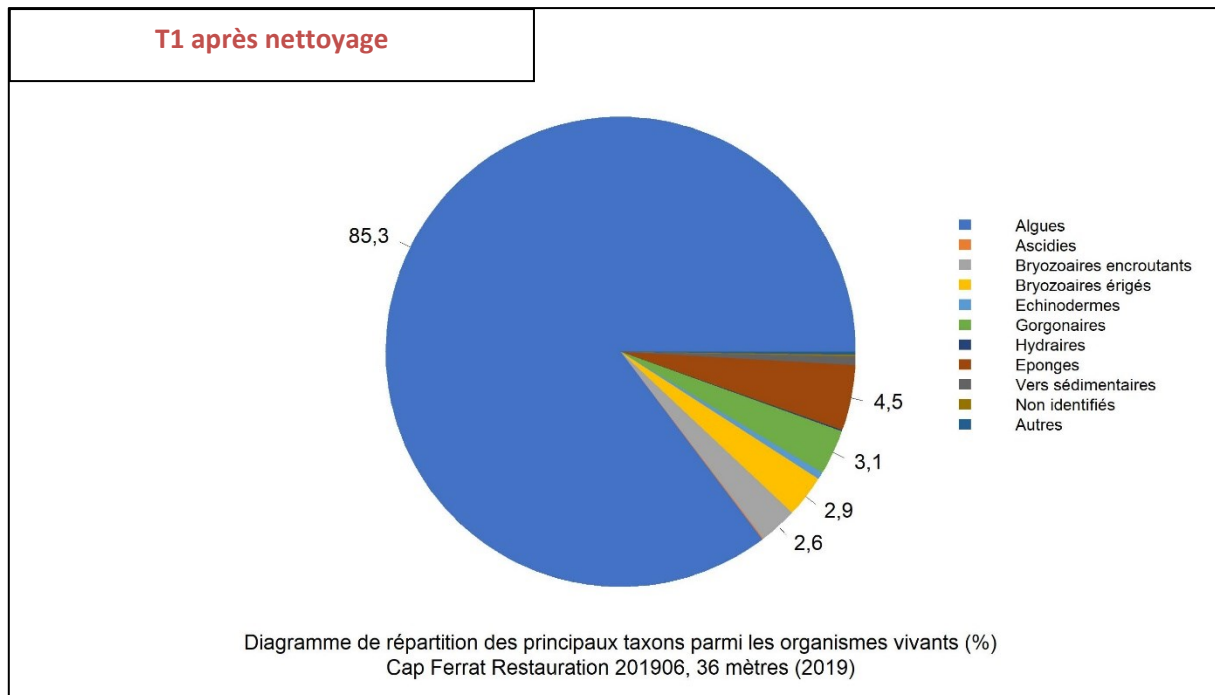
- ↳ **51 % par des organismes vivants** (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)
- ↳ **49 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (33 %, pourcentage supérieur à la moyenne régionale) et, en moindre proportion, du **sable** (5,3 %). On trouve aussi des **cavités** (6 %) et des **débris biologiques** (4 %).



Ces chiffres témoignent d'un début de recolonisation par le vivant du substrat nettoyé. L'envasement naturel du site augmente sur cette période de huit mois séparant les deux suivis, entraînant alors une diminution du recouvrement par les autres catégories de non-vivant.

Parmi les **51 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).



Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues, les bryozoaires, les éponges, et les gorgones.

Parmi le vivant (**recouvrement de 51 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -36 mètres (85,3 % des organismes vivants) avec des **algues rouges encroûtantes qui forment la strate basse**. Elles sont dominées par des *Peyssonnelia sp. encroûtantes* (51,7 % du vivant) mais aussi des espèces érigées (10 % des organismes vivants), les corallines *Mesophyllum alternans* (14 % du vivant) et quelques *Lithophyllum stictaeforme* et *Lithophyllum incrustans*.



L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **bryozoaires** sont les éléments les plus importants avec des espèces encroûtantes (2,6 %) et **érigées** (2,9 %) **qui forment la strate moyenne** (*Adeonella calveti*, *Crisia sp.*, *Dentiporella verrucosa*, *Myriapora truncata*, *Reteporella sp.*). Les **éponges** (4,5 % des organismes vivants) sont représentées surtout par des éponges encroûtantes et quelques espèces massives. Les gorgones (3,1 %) sont constituées par les **gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* qui forment la strate haute**, et du corail rouge *Corallium rubrum*.



Figure 28 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -36 mètres – T1.

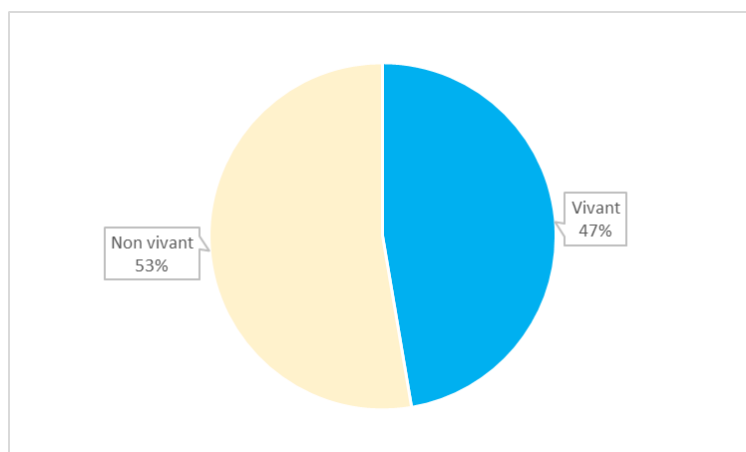
III.B.1.d. T2 après nettoyage

Sur la station à **-36 mètres au suivi T2 après nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

↳ **47 % par des organismes vivants**
(pourcentage inférieur à la moyenne régionale)

↳ **53 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend **du sédiment vaseux** (34 %, pourcentage proche de la moyenne régionale), **du sable** (11 %), **des cavités** (5 %), et des **débris biologiques** (3 %).



Ces chiffres montrent que les recouvrements par la vase et par le sable augmentent sur la station entre les deux suivis d'été, entraînant alors une légère diminution du recouvrement par les autres catégories de non-vivant et du recouvrement par le vivant par rapport au suivi précédent.

Parmi les **47 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure suivante). Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues, les bryozoaires, les éponges, et les gorgones.

Parmi le vivant (**recouvrement de 47 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -36 mètres (93,5 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (13 %, constituées de moitié par des algues filamenteuses et de moitié par *Padina pavonica*), **et des algues rouges encroûtantes** (79 %) **qui forment la strate basse**. Elles sont dominées par des *Peyssonnelia sp. encroûtantes* (59,5 % du vivant) mais aussi des espèces érigées (3 % des organismes vivants), les corallines *Mesophyllum alternans* (14 % du vivant) et quelques *Lithophyllum stictaeforme*.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **bryozoaires** sont les éléments les plus importants avec des espèces encroûtantes (1,2 %) et **érigées** (0,7 %) **qui forment la strate moyenne** (*Crisia sp.*, *Myriapora truncata*, *Reteporella sp.*). Les **éponges** (2,4 % des organismes vivants) sont représentées surtout par des éponges encroûtantes et quelques espèces massives. Les gorgones (1,3 %) sont constituées par les **gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* qui forment la strate haute**, et du corail rouge *Corallium rubrum*.

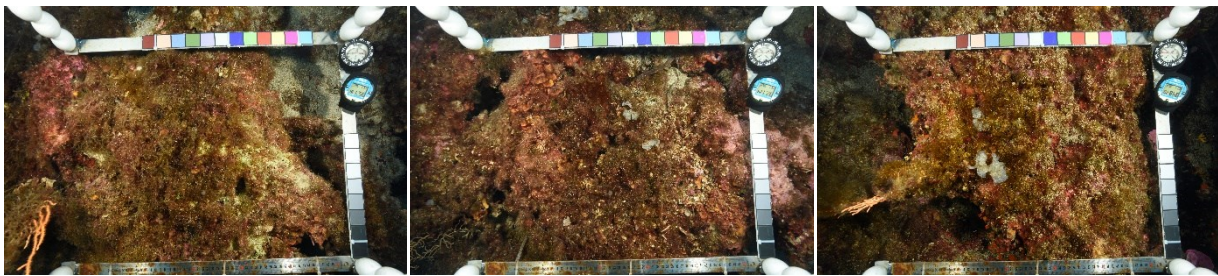
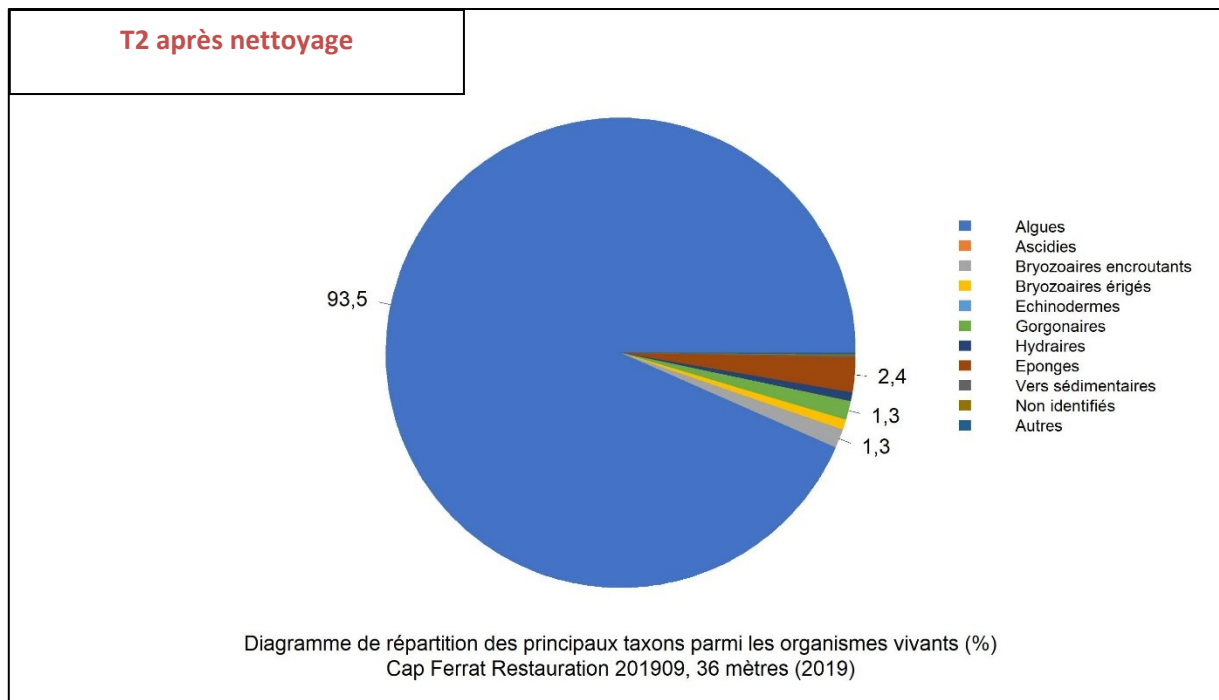


Figure 29 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -36 mètres – T2.

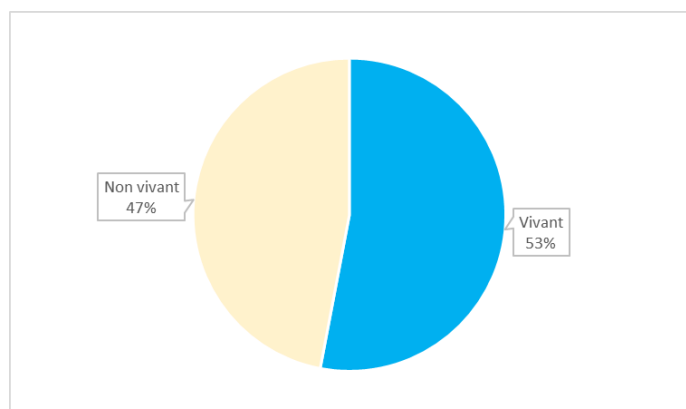
III.B.1.e. T3 après nettoyage

Sur la station à -36 mètres au suivi T3 après nettoyage, les quadrats sont couverts à :

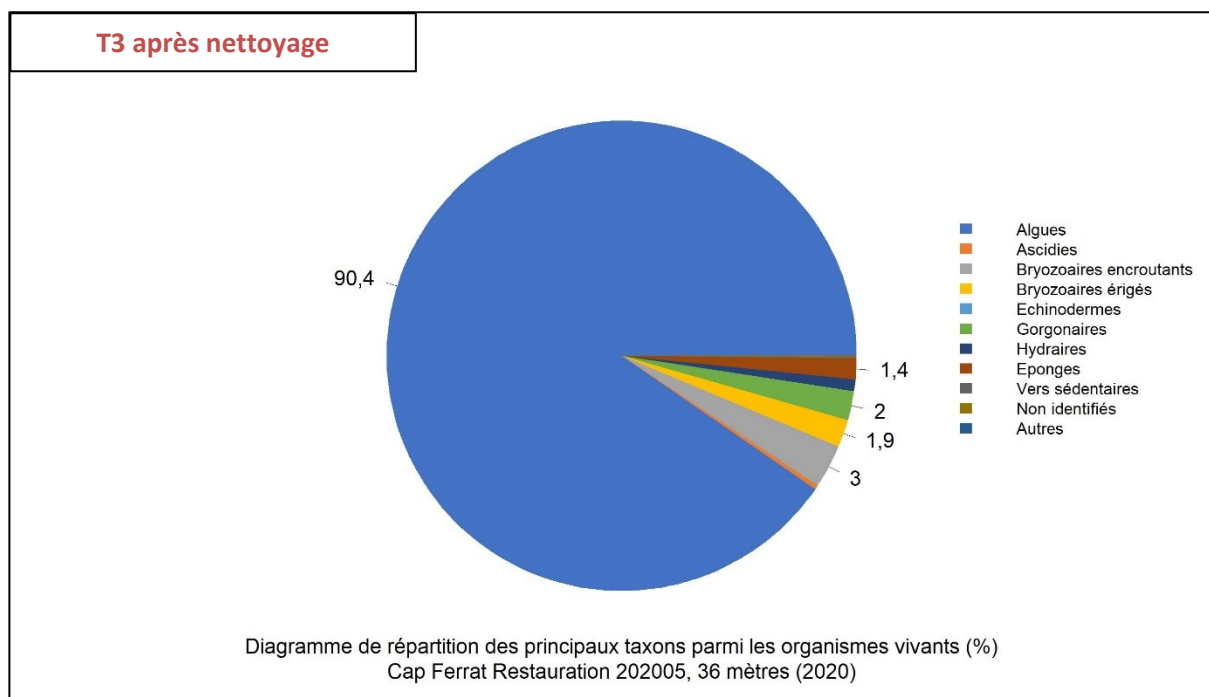
↳ **53 % par des organismes vivants** (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)

↳ **47 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (16,1 %, pourcentage inférieur à la moyenne régionale), du **sable** (18,5 %), **des cavités** (7,0 %), et **des débris biologiques** (5,0 %).



Parmi les **53 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).



Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues, les bryozoaires, les gorgones et les éponges.

Parmi le vivant (**recouvrement de 53 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -36 mètres (90,4 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (5,1 %, constituées par des algues filamenteuses, des espèces non identifiées et *Dictyota dichotoma*), quelques **algues vertes** (2,4 % - *Bryopsis sp.*, *Flabellia petiolata*, *Codium bursa*), et des **algues rouges** (82 % dont 7,7 % d'algues rouges encroûtantes nécrosées) qui forment la **strate basse**. Elles sont dominées par des ***Peyssonnelia sp.* encroûtantes** (42,3 % du vivant), les ***Peyssonnelia sp.* érigées** (13,9 % des organismes vivants), les **corallines *Mesophyllum alternans*** (13,2 % du vivant) et quelques *Lithophyllum stictaeforme* et *L. incrustans* (1,8 %).

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **bryozoaires** sont les éléments les plus importants avec des espèces **encroûtantes** (3 % - *Schizomavella mamillata*) et **érigées** (1,9 %) qui forment la **strate moyenne** (*Crisia sp.*, *Myriapora truncata*, *Reteporella sp.*, *Smittina cervicornis*).

Les gorgones (2 %) sont constituées par les **gorgones jaunes *Eunicella cavolinii*** qui forment la **strate haute**, et du **corail rouge *Corallium rubrum***.

Les **éponges** (1,4 % des organismes vivants) sont représentées surtout par des éponges encroûtantes et quelques espèces massives, dont des clones.

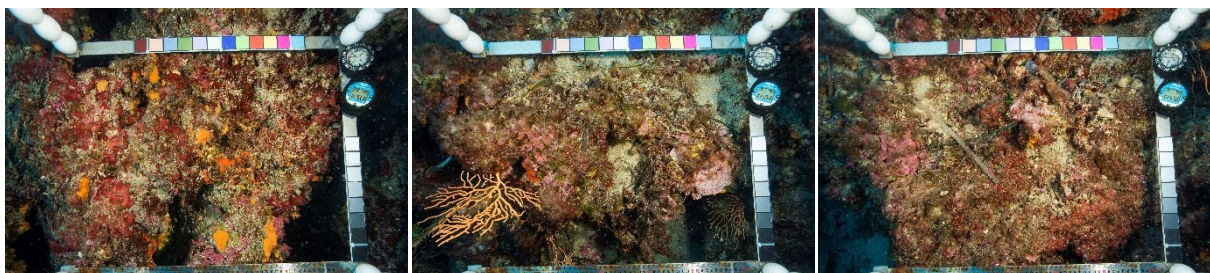


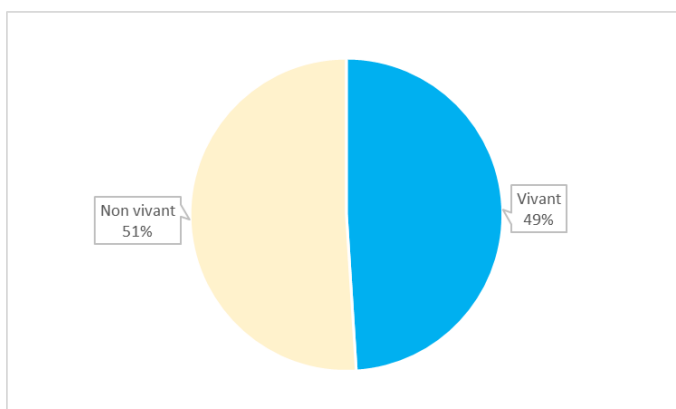
Figure 30 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -36 m – T3.

III.B.1.f. T4 après nettoyage

Sur la station à **-36 mètres au suivi T4 après nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

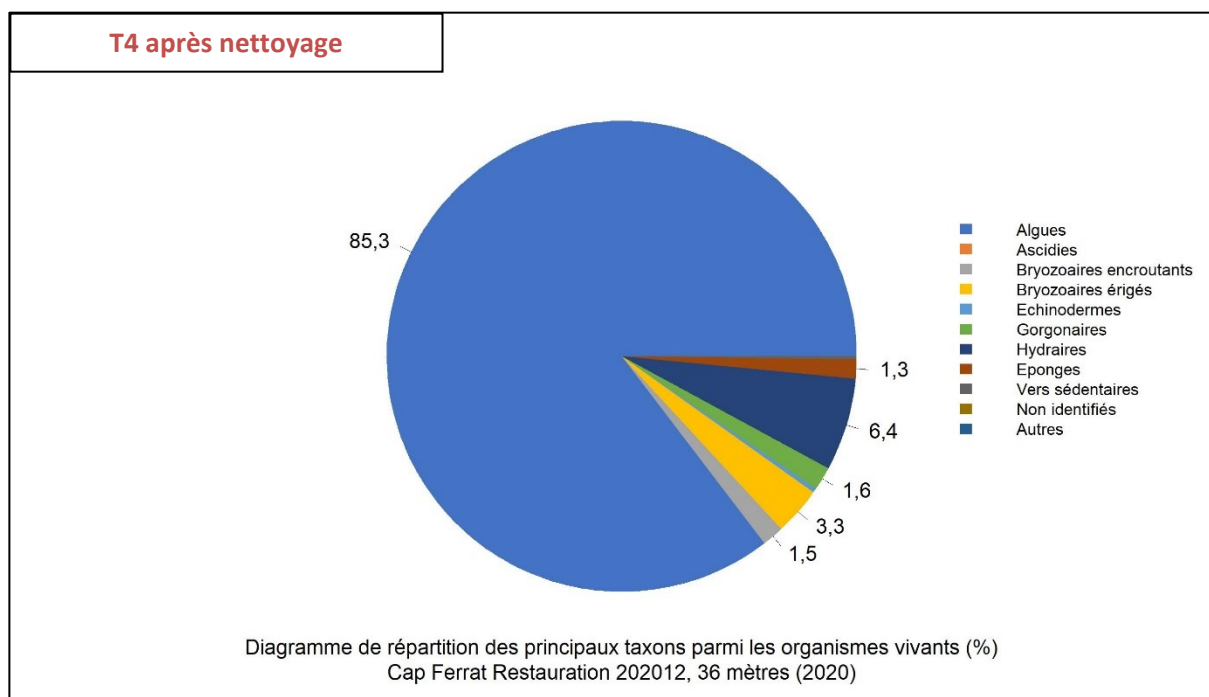
- ↳ **49 % par des organismes vivants** (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)
- ↳ **51 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux (21,8 %**, pourcentage inférieur à la moyenne régionale) du **sable, des cavités (9,5 %)**, et **des débris biologiques (4,0 %)**.



Ces chiffres montrent que les recouvrements par la vase augmentent légèrement sur la station entre les deux suivis, entraînant alors une petite diminution du recouvrement par le vivant par rapport au suivi précédent.

Parmi les **49 % de vivant**, on s'intéresse aux **groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun** (figure ci-dessous). Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues, les hydraires, les bryozoaires, les gorgonaires et les éponges.



Parmi le vivant (**recouvrement de 49 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -36 mètres (85,3 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (2,1 %, constituées par des espèces non identifiées et *Dictyota dichotoma*), des rares **algues vertes** (2,4 % - *Bryopsis sp.*, *Flabellia petiolata*), et des **algues rouges** (82,7 % dont 11,5 % d'algues rouges encrustantes nécrosées) qui forment la **strate basse**. Elles sont dominées par des ***Peyssonnelia sp.* encrustantes** (35,0 % du vivant), les ***Peyssonnelia sp.* érigées** (5,8 % des organismes vivants), les **corallines *Mesophyllum alternans*** (14,7 % du vivant) et quelques *Lithophyllum stictaeforme* (1,7 %).

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **hydraires (6,4 %)** sont les éléments les plus importants suivis par les bryozoaires avec des espèces **encrustantes (1,5 % - *Schizomavella mamillata*)**



et **érigées** (3,3 % - *Aeonella sp.*, *Crisia sp.*, *Myriapora truncata*, *Smittina cervicornis*) qui forment la **strate moyenne** avec les hydraires.

Les gorgones (1,6 %) sont constituées par les **gorgones jaunes** *Eunicella cavolinii* qui forment la **strate haute**, et du **corail rouge** *Corallium rubrum*.

Les **éponges** (1,3 % des organismes vivants) sont représentées surtout par des éponges encroûtantes et quelques espèces massives.

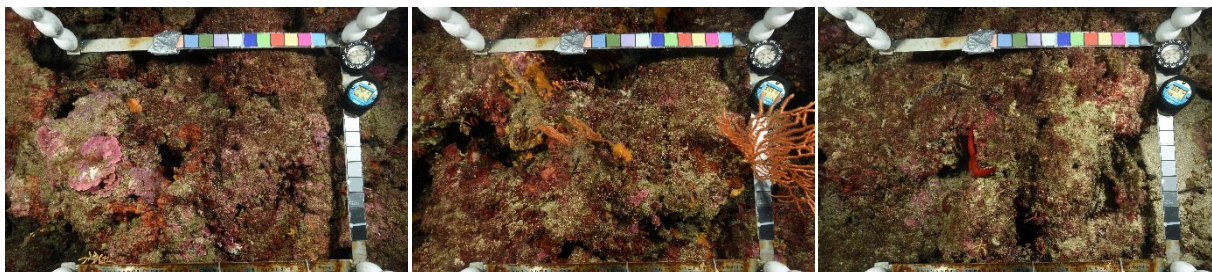


Figure 31 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -36 m – T4.

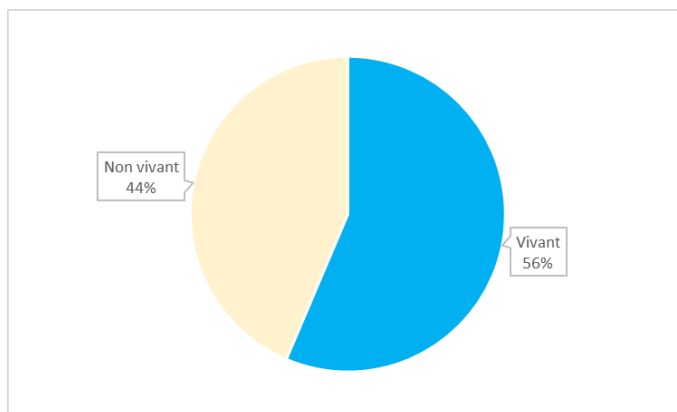
III.B.1.g. T5 après nettoyage

Sur la station à -36 mètres au suivi T5 après nettoyage, les quadrats sont couverts à :

— 56 % par des organismes vivants (pourcentage proche de la moyenne régionale)

— 44 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (23,3 %, pourcentage proche de la moyenne régionale) **du sable** (1,3 %), **des cavités** (17,3 %), et **des débris biologiques** (1,7 %).



Parmi les **56 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure suivante). Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues, les bryozoaires, les éponges et les gorgones.

Parmi le vivant (**recouvrement de 56 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -36 mètres (94,1 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (4,6 %, constituées par des algues filamenteuses, des espèces non identifiées, *Padinia pavonica* et *Dictyota dichotoma*), quelques **algues vertes** (0,9 %, *Flabellia petiolata*, *Codium bursa*), et **des algues rouges** (88,6 % dont 5,1 % d'algues rouges encroûtantes nécrosées) qui forment la **strate basse**. Elles sont dominées par des *Peyssonnelia sp.* encroûtantes (39,1 % du vivant), les *Peyssonnelia sp.* érigées (9,6 % des organismes vivants), les corallines *Mesophyllum alternans* (12,3 % du vivant) et quelques *Lithophyllum incrustans*.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **bryozoaires** sont les éléments les plus importants avec des espèces encroûtantes (1,5 % - *Schizomavella mamillata*) et érigées (1,3 %) qui forment la **strate moyenne** (*Aeonella calveti*, *Crisia sp.*, *Myriapora truncata*, *Reteporella sp.*, *Pentapora fascialis*).

Les **éponges** (1,7 % des organismes vivants) sont représentées surtout par des éponges encroûtantes.

Les gorgones (0,7 %) sont constituées par les **gorgones jaunes *Eunicella cavolinii*** qui forment la **strate haute**, et du **corail rouge *Corallium rubrum***.

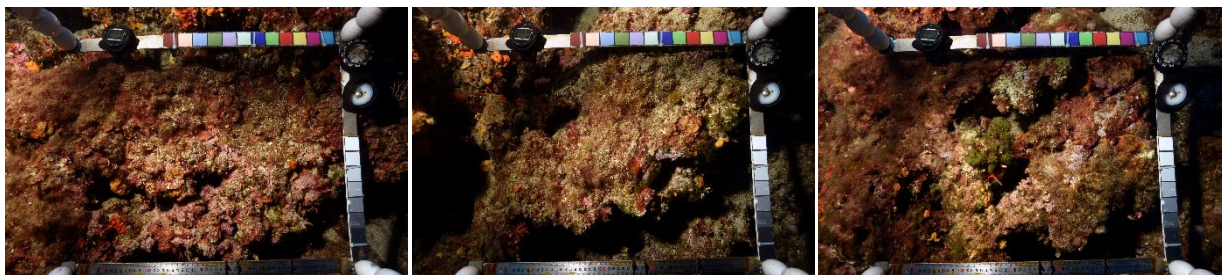
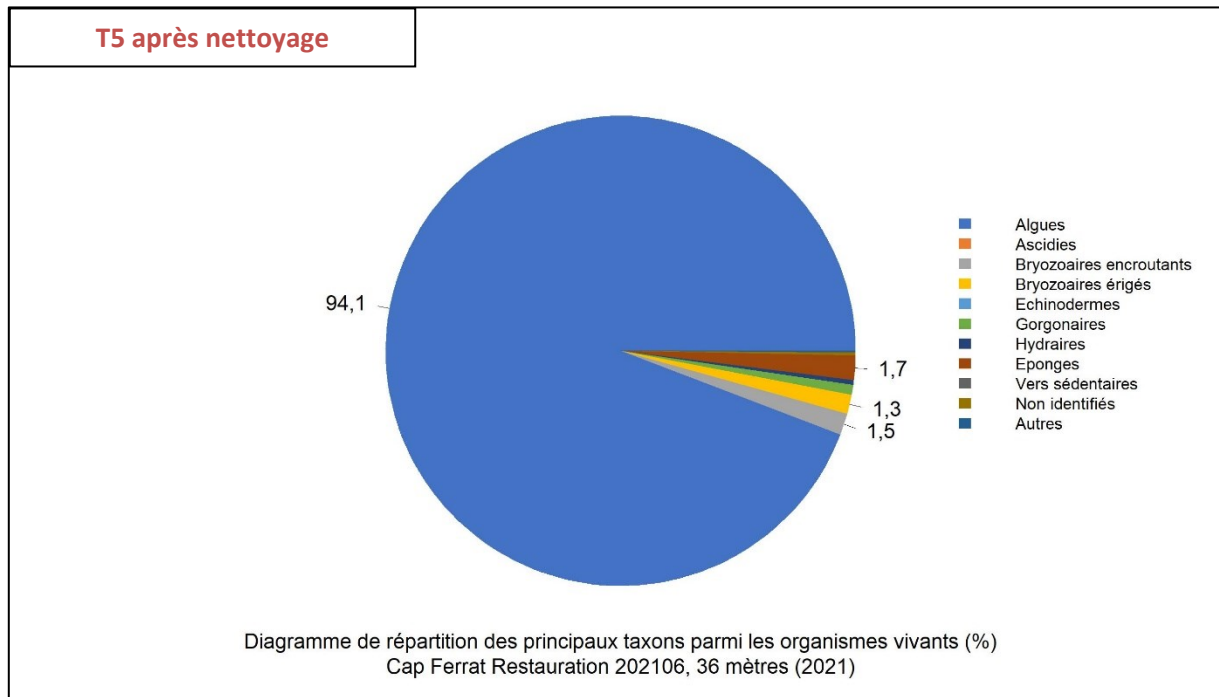


Figure 32 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -36 m – T5.

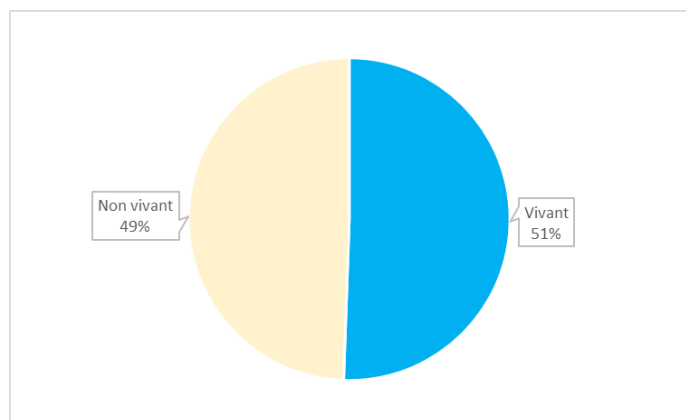
III.B.1.h. T6 après nettoyage

Sur la station à **-36 mètres au suivi T6 après nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

↳ **51 % par des organismes vivants** (pourcentage inférieur de la moyenne régionale)

↳ **49 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (24,7 %, pourcentage proche de la moyenne régionale), du **sable** (11 %), **des cavités** (11,3 %), et **des débris biologiques** (2,5 %).



Parmi les **51 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure suivante). Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues, les bryozoaires, les éponges, les organismes non identifiés et les gorgones.

Les **algues** dominent largement à -36 mètres (84,3 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (2,2 %, constituées par des algues filamenteuses, des espèces non identifiées, *Dictyota implexa* et *Dictyota dichotoma*), quelques **algues vertes** (1,9 %, *Flabellia petiolata*, *Codium bursa*), et **des algues rouges** (80,2 % dont 6,3 % d'algues rouges encroûtantes nécrosées) **qui forment la strate basse**. Elles sont dominées par des *Peyssonnelia sp. encroûtantes* (48,3 % du vivant), les *Peyssonnelia sp. érigées* (5 % des organismes vivants), les **corallines** *Mesophyllum alternans* (9,5 % du vivant) et quelques *Lithophyllum incrustans*.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **bryozoaires** sont les éléments les plus importants avec des espèces **encroûtantes** (2,4 % - *Schizomavella mamillata*, espèces non identifiées) et **érigées** (2,7 %) **qui forment la strate moyenne** (*Crisia sp.*, *Hornera frondiculata*, *Myriapora truncata*, *Reteporella sp.*, *Smittina cervicornis*).

Les **éponges** (5,5 % des organismes vivants) sont représentées surtout par des éponges encroûtantes (4,3 % - espèces majoritairement non identifiées).

Les gorgones (1,7 %) sont constituées par les **gorgones jaunes** *Eunicella cavolinii* **qui forment la strate haute**, et du **corail rouge** *Corallium rubrum*.

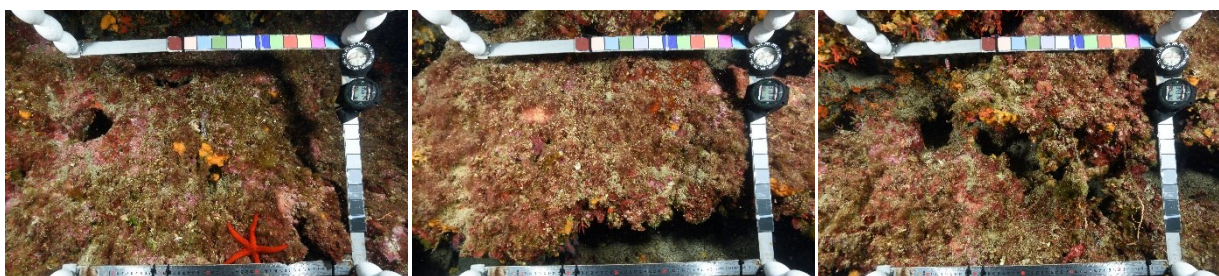
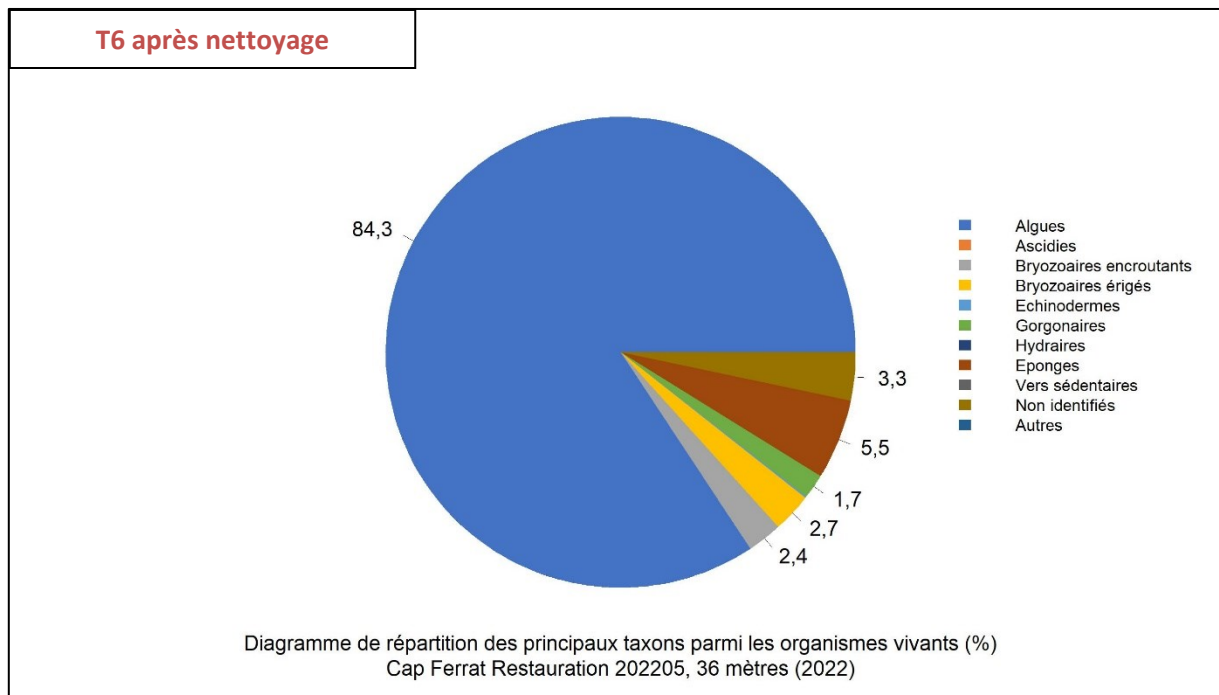


Figure 33 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -36 m – T6.

III.B.1.i. Analyse comparative des quadrats sur la durée du projet, entre T-1 et T6

L'analyse comparative des 30 quadrats photographiques entre les quatre suivis réalisés à **-36 mètres** dans cette **zone nettoyée** en septembre 2018 montre que la **stratification du coralligène est similaire** entre le suivi T-1 avant nettoyage et les suivis post-nettoyage. Ainsi, la strate haute est formée par des gorgones jaunes *Eunicella cavolinii*. La strate moyenne est constituée par les éponges *Axinella damicornis* (faible recouvrement), les bryozoaires érigés (à partir des suivis post-nettoyage), et le corail rouge. La strate basse est formée par des algues rouges *Peyssonnelia sp.* (espèces très majoritairement encroûtantes). Parmi les organismes vivants **les algues dominant toujours la station**. Les autres groupes les plus représentés parmi le vivant sont les **éponges**, les **gorgones** et les **bryozoaires** et, **uniquement au suivi T4, des hydraires et, au suivi T6, des espèces non identifiées**. Du corail rouge (*Corallium rubrum*) est observé à chaque suivi.

Des différences majeures entre les suivis sont relevées :

- L'observation d'**hydraires après nettoyage uniquement au suivi T4** dont l'abondance relative est de 6,4 % (celle-ci est toujours inférieure à 1 % aux autres suivis).

- L'observation d'**espèces non identifiées** en proportion importante **uniquement au suivi T6** dont l'abondance relative est de 3,5 % (celle-ci est toujours inférieure à 1 % aux autres suivis).

- Une très **forte diminution de la proportion relative des algues filamenteuses après nettoyage**. Le sable et le récif qui ont été nettoyés par jet d'eau abritaient des algues brunes filamenteuses (28,4 % des organismes vivants au T-1 avant nettoyage) qui ont donc disparu par le nettoyage. Par contre à partir du suivi T2 on observe des abondances plus élevées des algues filamenteuses qui recolonisent la station. Cette colonisation ne semble pas être saisonnière puisque les algues filamenteuses sont observées à l'automne (T2, 5,1 % - algues rouges et brunes filamenteuses), au printemps (T3, 6,0 % - algues rouges et brunes filamenteuses ; T5, 21,8 % - grande majorité algues rouges filamenteuses ; T6, 10,7 %) et en hiver (T4, 14,0 % - grande majorité algues rouges filamenteuses). La proportion d'algues rouges filamenteuses augmente progressivement entre T2 et T5 sur la station. Au suivi T5 l'abondance relative des algues filamenteuses est supérieure à la moyenne régionale tout en restant un tiers inférieur à celle du suivi T-1 avant nettoyage. Elle diminue de nouveau au suivi T6.

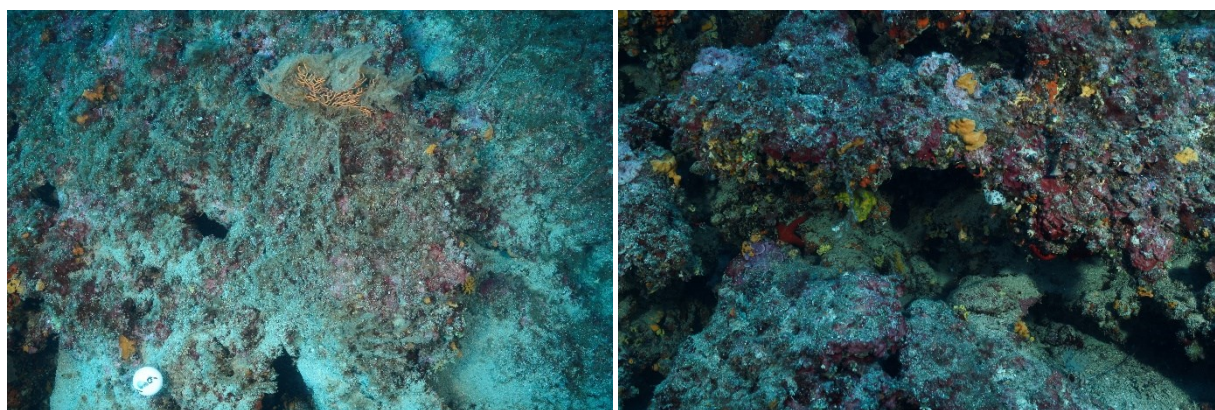


Figure 34 : Forte diminution de la proportion relative des algues filamenteuses entre T-1 avant nettoyage (à gauche, voir la gorgone jaune *Eunicella cavolinii* recouverte d'algues filamenteuses) et T0 après nettoyage (à droite).

- Une **proportion relative plus élevée des espèces érigées après nettoyage** (les bryozoaires érigés, les gorgones, les algues rouges érigées *Lithophyllum sp.* et *Peyssonnelia sp.*, les hydraires (uniquement au suivi T4)). Grâce au nettoyage, les algues filamenteuses qui recouvraient le substrat et les espèces (dont les érigées) ont disparu permettant aux espèces érigées d'être bien visibles. Par contre au T2 après nettoyage, les proportions relatives des espèces érigées (*Peyssonnelia sp.*, bryozoaires érigés, gorgones, *Lithophyllum sp.*, *Axinella sp.*) sont moins élevées par rapport au T1 ainsi qu'aux suivis T3, T4, T5 et T6, pour se rapprocher de celles du T0 post-nettoyage, ce qui peut s'expliquer en partie par un pourcentage de sédimentation fort (supérieur à la moyenne régionale) et une proportion d'algues filamenteuses proche de la moyenne régionale. On remarque qu'au printemps (suivis T1, T3, T5, T6), les proportions relatives des espèces érigées de *Peyssonnelia sp.* sont plus élevées qu'aux autres périodes de l'année.






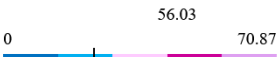
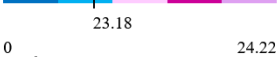













- La présence de **nécroses des algues rouges encroûtantes à chaque suivi après le nettoyage** dont l'abondance relative est largement supérieure à la moyenne régionale à partir du T3 et sur les suivis postérieurs.
- Une **biodiversité de la station qui augmente légèrement au cours des suivis** selon les indices de Simpson et de Shannon grâce aux actions de nettoyage (plus de diversité d'espèces visibles) à part au suivi T6 où elle diminue (plus d'espèces non identifiées).
- Des **pourcentages de recouvrement par le sédiment, les cavités et les débris biologiques qui augmentent entre T-1 et T0 après nettoyage**. Ceci est lié aux opérations de nettoyage et de retrait des sédiments sur la zone située en-dessous vers -38 m. En effet, la remise en suspension de particules provoque une légère augmentation de la sédimentation et le nettoyage permet de dé-ensevelir et de mettre en lumière les débris biologiques formés consécutivement aux travaux de l'émissaire, et les cavités. A partir du suivi T3 on note un pourcentage de sédimentation inférieur à la moyenne régionale, proche de la valeur à T-1, et qui augmente très légèrement au cours du temps jusqu'au T6 (envasement naturel).
- Un **pourcentage de recouvrement par le sable qui diminue** entre le « T-1 avant nettoyage » et le « T0 après nettoyage » qui est lié aux opérations de nettoyage par jet d'eau.

Les tableaux suivants présentent une comparaison régionale (région Sud) de paramètres / indicateurs / taxons issus de l'analyse des quadrats photographiques sous CPCe entre les suivis T-1 et T6 sur la station à -36 m.

Tableau 3: Comparaison régionale de paramètres / indicateurs / taxons issus de l'analyse des quadrats sous CPCe. Les paramètres correspondant à des pourcentages de recouvrement sont notés dans l'intitulé des lignes, les autres sont des proportions relatives parmi les organismes vivants (en pourcentage). « T-1 » = T-1 avant nettoyage ; « T0 » = T0 après nettoyage.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	
Masse d'eau côtière	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	
Site	T-1	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Profondeur	36	36	36	36	36	36	36	36	
Année	2018	2018	2019	2019	2020	2020	2021	2022	
% recouvrement par le vivant	60.89	46.86	51.5	47.33	53.27	49.1	56.4	50.56	10.16 58.67 94.81
% recouvrement par le non vivant	39.11	53.14	48.5	52.67	46.73	50.9	43.6	49.44	5.19 41.33 89.84
% recouvrement par le sédiment	18.76	25.89	33.26	34.18	16.13	21.75	23.31	24.69	2.19 28.89 79.54
% recouvrement par les débris biologiques	2.02	7.76	3.58	2.64	5	4.02	1.66	2.47	0 1.97 14.77
% recouvrement par les cavités	3.93	9.72	6.26	4.58	7.03	9.52	17.26	11.29	0 5.45 22.21
% recouvrement par les macrodéchets	0.11	0.05	0.11	0.11	0	0	0	0	0 0.11 2.34
CAI	0.45	0.43	0.46	0.4	0.52	0.46	0.46	0.46	0.08 0.43 0.79
% recouvrement par les bryozoaires totaux	0.58	1.15	2.83	0.92	2.61	2.38	1.6	2.59	0 2.75 18.15
% recouvrement par les bioconstructeurs principaux	38.1	38.01	42.14	37.36	43.8	34.81	40.17	37.74	0.57 33.17 79.58
Indice de Simpson	0.82	0.77	0.82	0.85	0.85	0.83	0.89	0.72	0.37 0.8 0.95
Indice de Shannon	2.29	2.06	2.12	2.41	2.5	2.35	2.65	2.01	0.86 2.22 3.2
% Nécroses parmi le vivant	1.13	6.18	0.62	0.46	7.89	11.53	5.07	6.28	0 2.52 97.91
Indicateur de perturbation	28.97	0.23	2.6	5.69	6.49	14.12	21.88	10.7	0 8.77 91.69
% Algues filamenteuses	28.36	0.23	1.97	5.13	5.99	14.01	21.78	10.7	0 7.71 91.45
% Algues total	91.01	80.3	85.25	93.51	90.41	85.34	94.12	84.3	0 70.26 99.39



Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	
Site	T-1	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Profondeur	36	36	36	36	36	36	36	36	
Année	2018	2018	2019	2019	2020	2020	2021	2022	
% Algues brunes	28.53	0.7	5.71	12.98	5.09	2.05	4.56	2.21	
% Algues vertes	0.79	0	0.42	0.57	2.4	0.65	0.91	1.86	
% Algues rouges	61.69	79.6	79.13	79.95	82.92	82.65	88.65	80.23	
% Mesophyllum spp.	8.55	27.74	14.02	13.55	13.19	14.66	12.26	9.53	
% Lithophyllum spp.	2.44	0.7	1.87	0.91	1.8	1.72	0.41	0.93	
% Peyssonnelia sp. Érigées	3.4	4.08	10.07	2.96	13.89	5.82	9.63	5	
% Peyssonnelia sp. Encroutantes	46.16	43.59	51.71	59.45	42.26	35.02	39.11	48.37	
% Eponges	4.89	12.12	4.47	2.39	1.4	1.29	1.72	5.47	
% Eponges massives	1.05	2.45	0.93	0.8	0	0.32	0.2	1.16	
% Eponges encroutantes	3.84	9.67	3.53	1.59	1.4	0.97	1.52	4.3	
% Axinella sp.	0.52	0.93	0.1	0	0	0.11	0.1	0.23	
% Cliona spp.	0	0	0	0	0.2	0	0	0.12	
% Gorgones	1.83	2.68	3.12	1.25	2	1.62	0.71	1.74	
% Gorgones rouges	0	0.12	0	0	0	0	0	0	
% Gorgones jaunes	1.13	2.1	2.8	1.14	1.5	1.19	0.2	0.23	
% Corail rouge	0.7	0.47	0.31	0.11	0.5	0.43	0.51	1.51	
% Bryozoaires encroutants	0.96	1.52	2.6	1.25	3	1.51	1.52	2.44	
% Bryozoaires érigés	0	0.93	2.91	0.68	1.9	3.34	1.32	2.67	

III.B.2. Station à -38 m

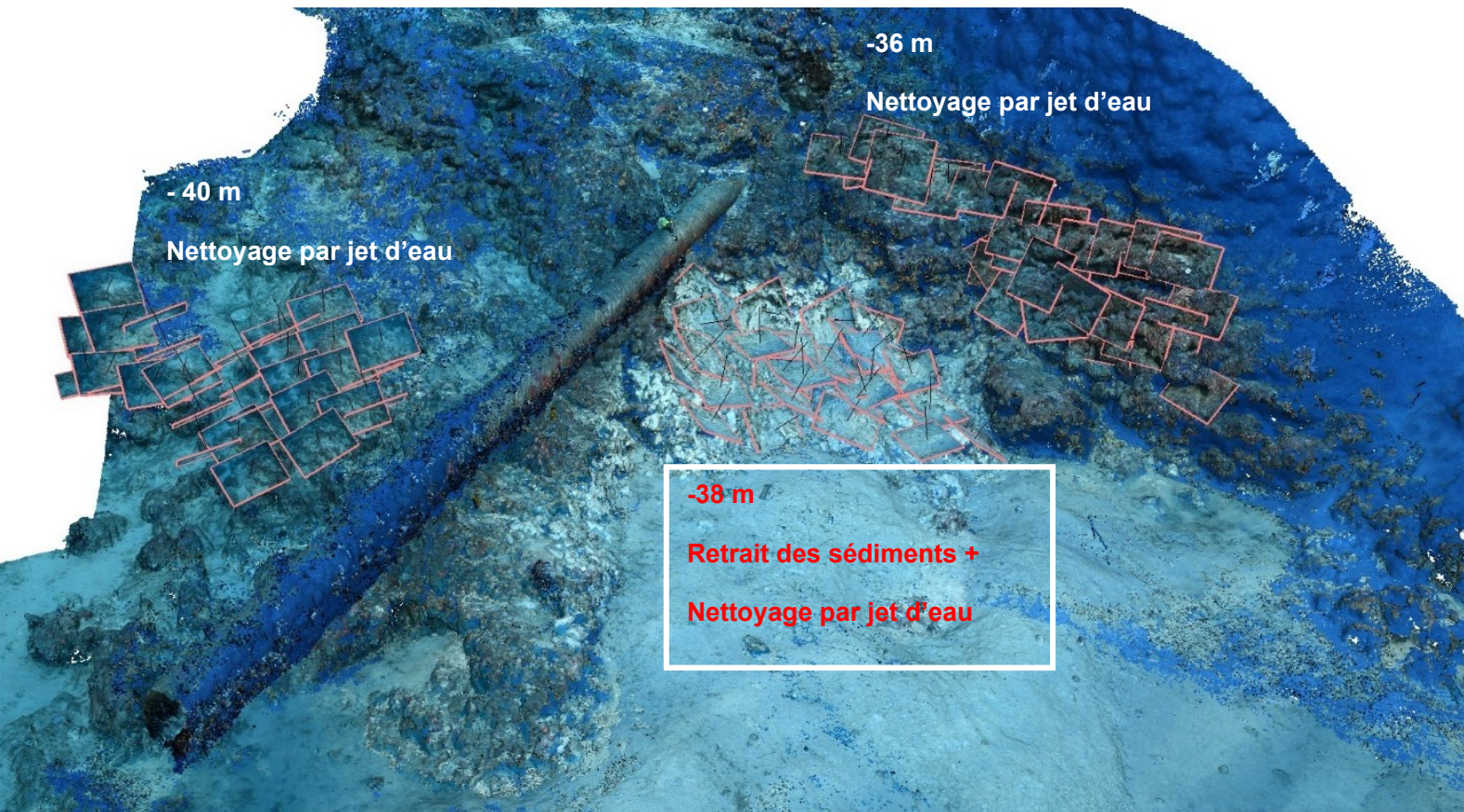


Figure 35 : Localisation de la station à -38m par rapport aux deux autres stations et à la position de l'émissaire.



III.B.2.a. T-1 avant désensévelissement

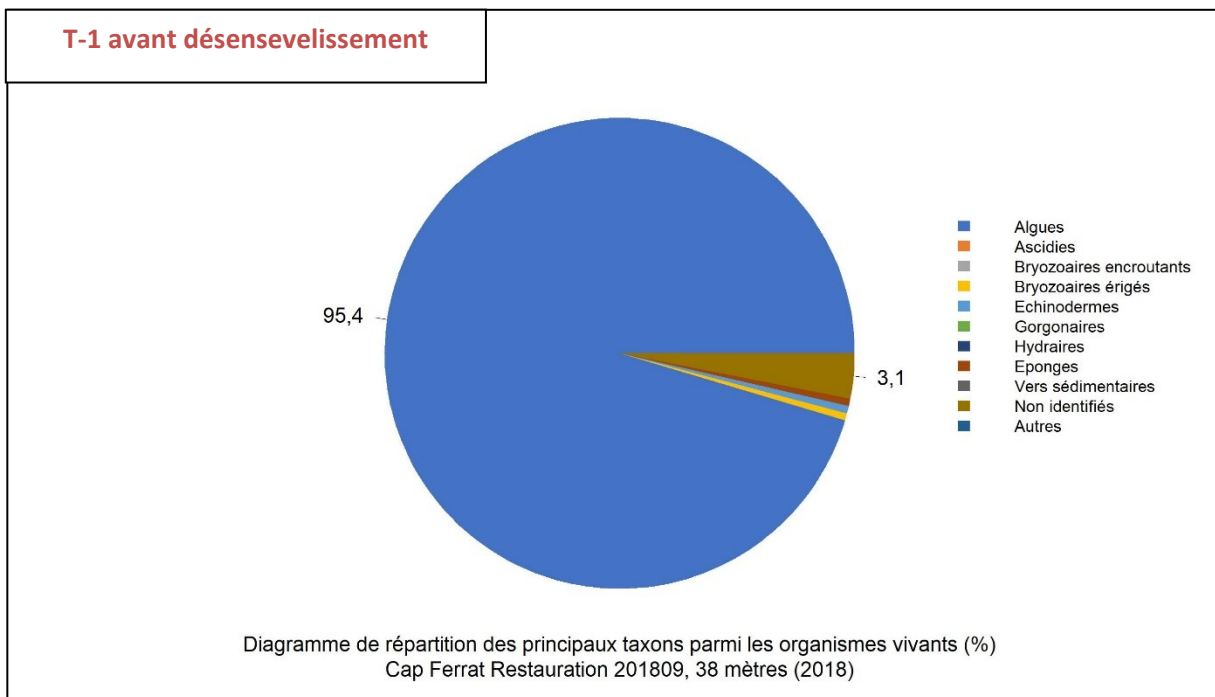
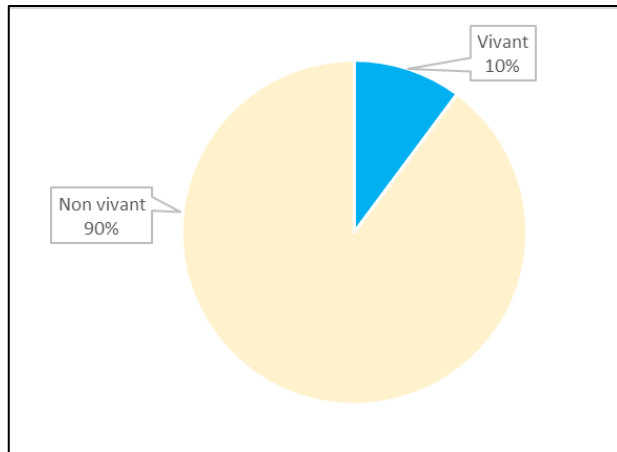
Sur la station à **-38 mètres avant désensévelissement**, les quadrats sont couverts à :

10 % par des organismes vivants
(valeur minimale régionale)

90 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (2,4 %, pourcentage proche de la valeur minimale régionale) et du **sable** (86,2 %).

Parmi les **10 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous). Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues, les espèces non identifiées, les éponges, les gorgones.



Parmi le vivant (**recouvrement de 10 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues brunes filamenteuses qui dominant** (88,7 % des organismes vivants). Ces algues sont quasiment toutes observées sur le sable. Présence de quelques *Peyssonnelia sp.* encroûtantes (2,6 % du vivant) et *Mesophyllum sp.* (1,5 % du vivant).



Figure 36 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -38 mètres – T-1 avant désensévelissement.

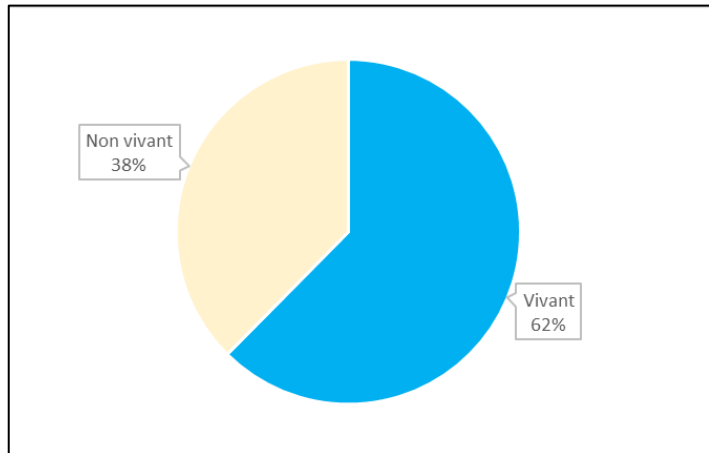
III.B.2.b. T0 après désensevelissement

Sur la station à **-38 mètres après désensevelissement**, les quadrats sont couverts à :

— **62 % par des organismes vivants** (pourcentage supérieur à la moyenne régionale)

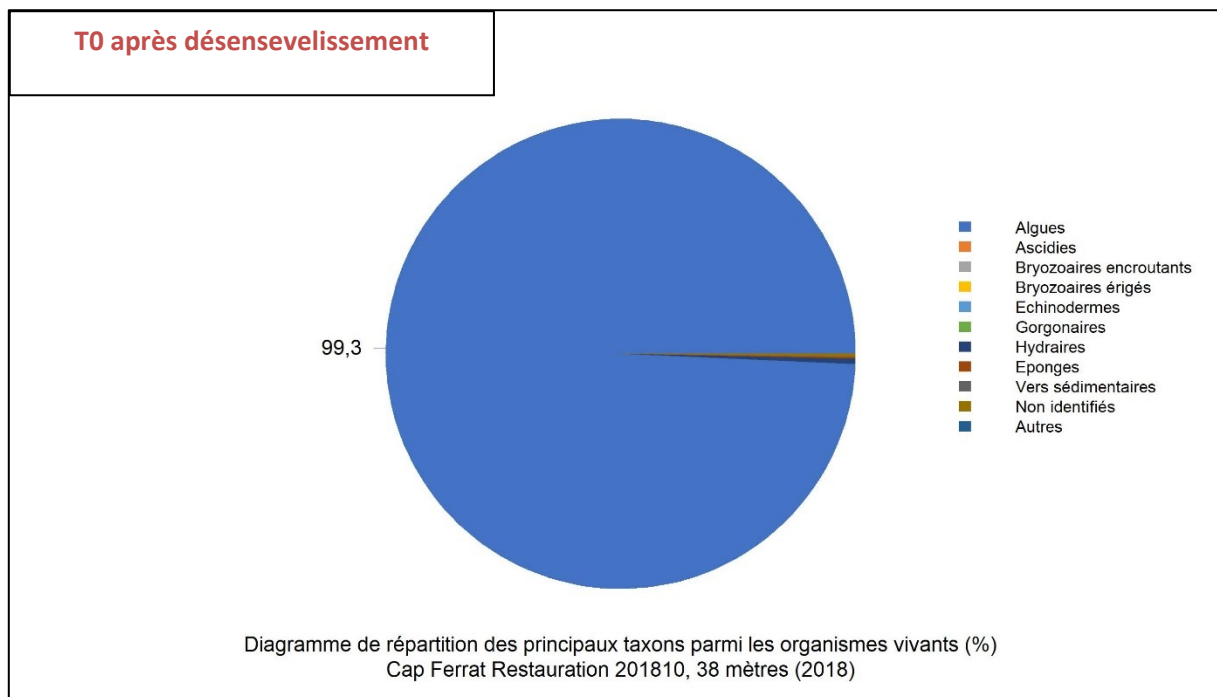
— **38 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (9 %, pourcentage proche de la valeur minimale régionale), du **sable** (18 %), des **cavités** (1 %) et des **débris biologiques** (6 %).



Ces chiffres témoignent des actions de retrait des sédiments réalisées sur la station. La forte diminution du recouvrement par le sable (-40 %) entraîne une augmentation du recouvrement par le vivant et par les débris biologiques (qui étaient recouverts par le sable à cause des travaux sur l'émissaire).

Parmi les **38 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).



Le groupe du vivant le plus représenté est celui des **algues** : elles représentent plus de 99 % des organismes vivants sur la station à -38 mètres avec des **algues rouges encroûtantes non identifiées qui sont toutes nécrosées** (99,7 % d'algues rouges nécrosées).

Le retrait des sédiments a permis de mettre en lumière le récif coralligène nécrosé (anciennement récif vivant mais qui a été enseveli sous le sable à cause des travaux). Ce récif laisse apparaître des algues rouges encroûtantes qui sont toutes nécrosées. Le pourcentage « de vivant » sur la station indique donc ici uniquement



les espèces qui sont nécrosées, et quasiment aucune espèce vivante n'a été vue (les algues filamenteuses qui étaient observées au T-1 avant désensevelissement sur le sable ont toutes disparu par les actions de nettoyage).

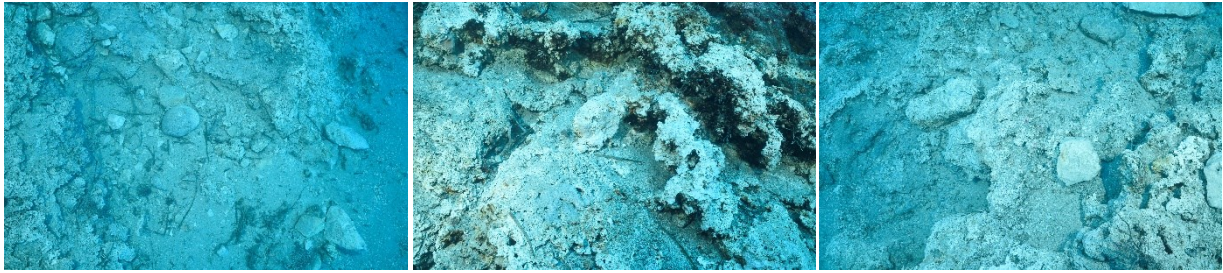


Figure 37 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -38 mètres – T0 après désensevelissement.

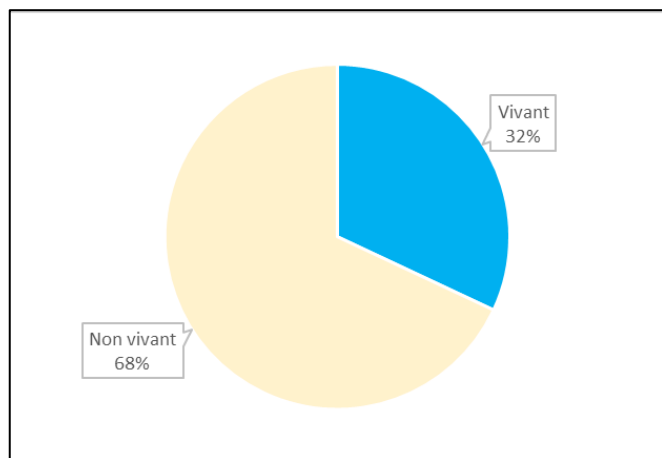
III.B.2.c. T1 après désensevelissement

Sur la station à **-38 mètres au suivi T1 après désensevelissement**, les quadrats sont couverts à :

— **32 % par des organismes vivants** (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)

— **68 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (37 %, pourcentage supérieur à la moyenne régionale), **du sable** (15 %), des **cavités** (4 %) et des **débris biologiques** (11 %).



L'envasement naturel du site augmente sur cette période de huit mois séparant les deux suivis (tout comme sur la station précédente), entraînant alors une diminution du recouvrement par le vivant.

Parmi les **32 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure suivante). Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues et les bryozoaires.

Parmi le vivant (**recouvrement de 32 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -38 mètres (88,3 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (5,6 % du vivant) et des **algues rouges encroûtantes non identifiées (82,7 %) qui sont en très grande partie nécrosées**. En effet, l'indicateur de nécroses des organismes vivants est de 77 % sur la station. Le retrait des sédiments a permis de mettre en lumière le récif coralligène nécrosé (anciennement récif vivant mais qui a été enseveli sous le sable à cause des travaux). Ce récif laisse apparaître des algues rouges encroûtantes, qui étaient toutes nécrosées au T0 après désensevelissement (97 % des organismes « du vivant »), et à 77 % nécrosées au T1 – donc des espèces vivantes commencent à recoloniser les zones nécrosées.

Le pourcentage « de vivant » sur la station indique donc ici uniquement une majorité d'espèces d'algues rouges qui sont nécrosées, mais aussi quelques algues rouges encroûtantes vivantes non nécrosées qui se sont développées (*Mesophyllum sp.*, *Peyssonnelia sp.*), des algues brunes, quelques éponges (0,66 %) ainsi que des **bryozoaires**. Ils sont les éléments de la faune les plus importants avec des **espèces encroûtantes** (3,5 %) et **érigées** (4,6 % : *Crisia sp.*, *Myriapora truncata*, *Reteporella sp.*, *Pentapora fascialis*).

T1 après désensivelissement

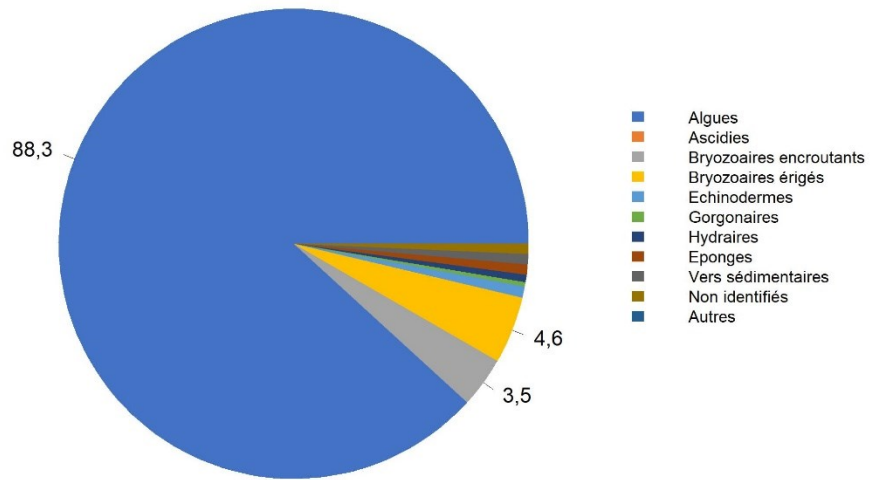
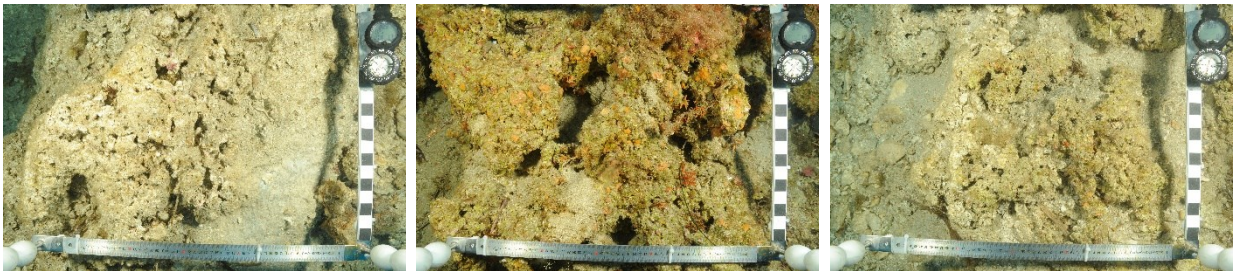


Diagramme de répartition des principaux taxons parmi les organismes vivants (%)
Cap Ferrat Restauration 201906, 38 mètres (2019)



III.B.2.d. T2 après désensivelissement

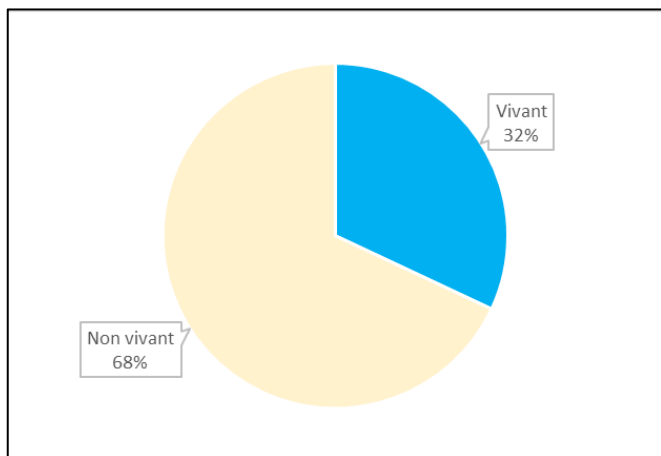
Sur la station à -38 mètres au suivi T2 après désensivelissement, les quadrats sont couverts à :

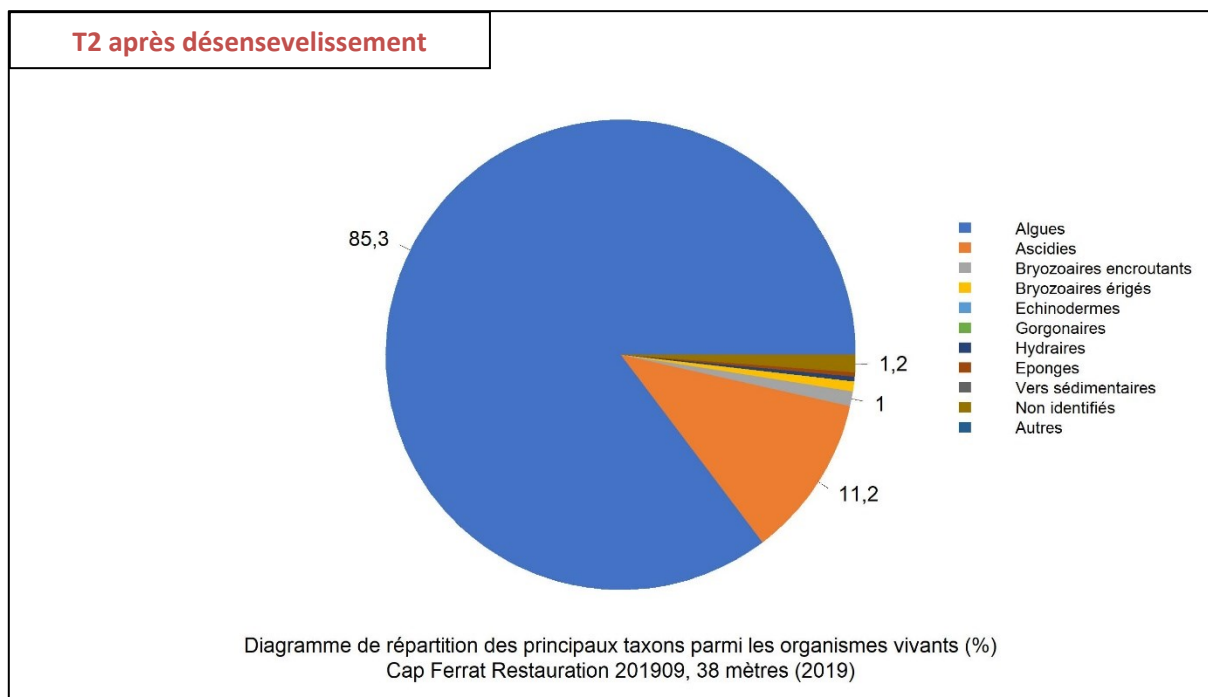
32 % par des organismes vivants (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)

68 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (26 %, pourcentage proche de la moyenne régionale), du **sable** (31 %), des **cavités** (2 %) et des **débris biologiques** (8 %).

Parmi les **32 % de vivant**, on s'intéresse aux **groupes du vivant les plus représentés** et aux **proportions relatives de chacun** (figure suivante).





Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues et les ascidies.

Parmi le vivant (**recouvrement de 32 % de la surface des quadrats**), ce sont les **algues** qui dominent largement à -38 mètres (85,3 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (52 % du vivant, dont 20 % sont des espèces filamenteuses) et des **algues rouges encroûtantes** (33 %). Elles sont constituées par des ***Peyssonnelia sp. encroûtantes*** (9,2 % des organismes vivants, majorité de *Peyssonnelia rosa-marina*) et des **espèces non identifiées nécrosées (21 % des organismes vivants)**. Le retrait des sédiments a permis de mettre en lumière le récif coralligène nécrosé (anciennement récif vivant mais qui a été enseveli sous le sable à cause des travaux). Ce récif laisse apparaître des algues rouges encroûtantes, qui étaient toutes nécrosées au T0 après désensevelissement à 93 % nécrosées au T1 (77 % des organismes), à 64 % nécrosées au T2 (21 % des organismes).

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **ascidies** (11,2 %) sont les éléments les plus importants. On trouve aussi des **bryozoaires encroûtants** (1 %) et **érigés** (0,7 %), mais leur abondance relative est plus faible qu'à T1.



Figure 39 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -38 mètres – T2.

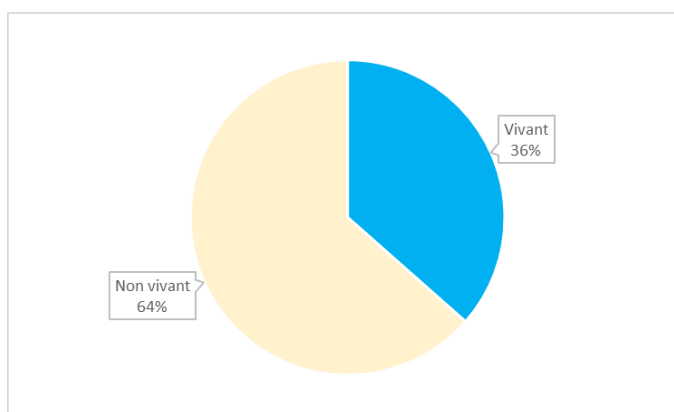
III.B.2.e. T3 après désensevelissement

Sur la station à **-38 mètres au suivi T3 après désensevelissement**, les quadrats sont couverts à :

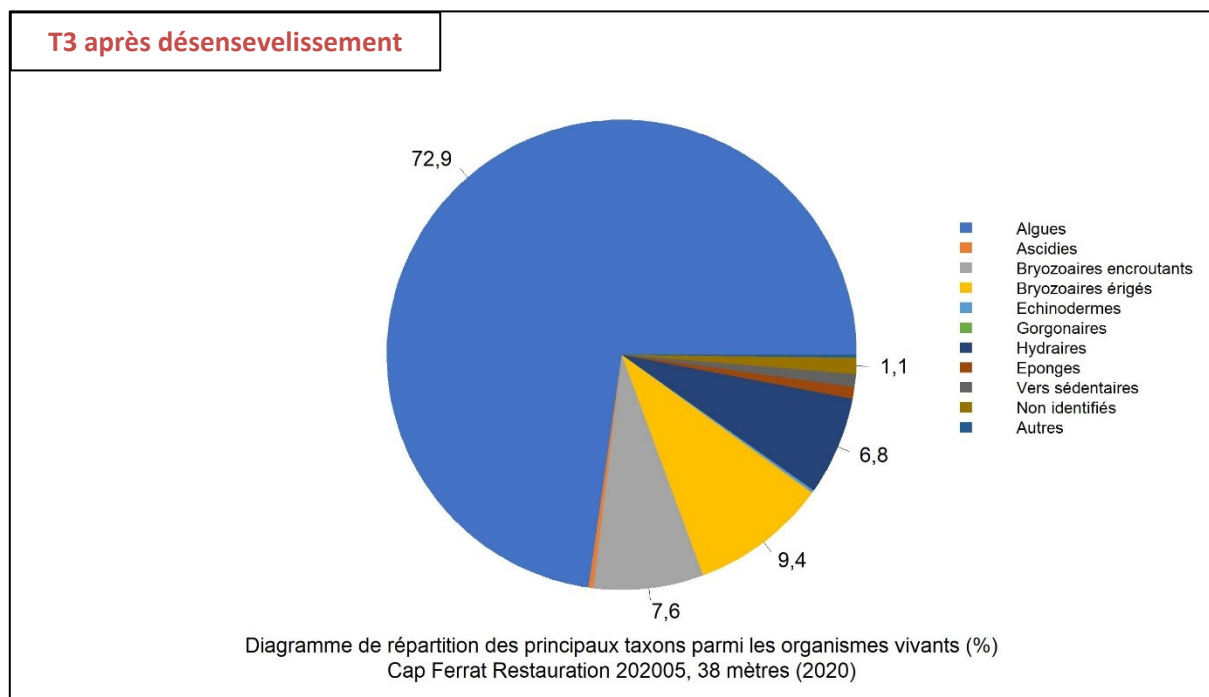
— **36,5 % par des organismes vivants** (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)

— **63,5 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (17,8 %, pourcentage inférieur à la moyenne régionale), du **sable** (30,3 %), des **débris biologiques** (8,9 %) et des **cavités** (6,4 %).



Parmi les **36,5 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).



Les groupes du vivant les plus représentés sont les **algues**, les **bryozoaires érigés et encroûtants**, et les **hydriaires**.

Parmi le vivant (**recouvrement de 36,5 % de la surface des quadrats**), ce sont les **algues** qui dominent à -38 m (72,9 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (4,5 % du vivant, constituées par des algues filamenteuses, des espèces non identifiées et *Dictyota dichotoma*) et des **algues rouges** (67,5 %).

Les algues rouges sont formées par des ***Peyssonnelia sp. encroûtantes*** (9,5 % des organismes vivants, majorité de *Peyssonnelia rosa-marina*), des espèces de ***Peyssonnelia sp. érigées*** (3,2 %), des ***Mesophyllum sp.*** (20,7 %), et des **algues rouges encroûtantes nécrosées** (31,0 % des organismes « vivants »). Le retrait des sédiments a permis de mettre en lumière le récif coralligène nécrosé (anciennement récif vivant mais qui a été enseveli sous le sable à cause des travaux). Ce récif laisse apparaître des algues rouges encroûtantes, qui étaient toutes nécrosées au T0 après désensevelissement, puis dont le recouvrement diminue aux premiers suivis puis se stabilise (77 % des organismes à T1), 21 % des organismes à T2 et 31 % à T3.



L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **bryozoaires** sont les éléments les plus importants avec des espèces **encrouantes** (7,6 % - *Schizomavella mamillata*, espèces non identifiées) et **érigées** (9,4 % - *Adeonella sp.*, *Crisia sp.*, *Pentapora fascialis*, *Reteporella sp.*) **qui forment la strate moyenne** avec les **hydriaires** (6,8 %).



Figure 40 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -38 m – T3.

III.B.2.f. T4 après désensivellement

Sur la station à -38 mètres au suivi T4 après désensivellement, les quadrats sont couverts à :

- **47,1 % par des organismes vivants** (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)
- **52,9 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (21,9 %, pourcentage inférieur à la moyenne régionale), du **sable** (16,8 %), des **cavités** (6,4 %) et des **débris biologiques** (7,8 %).

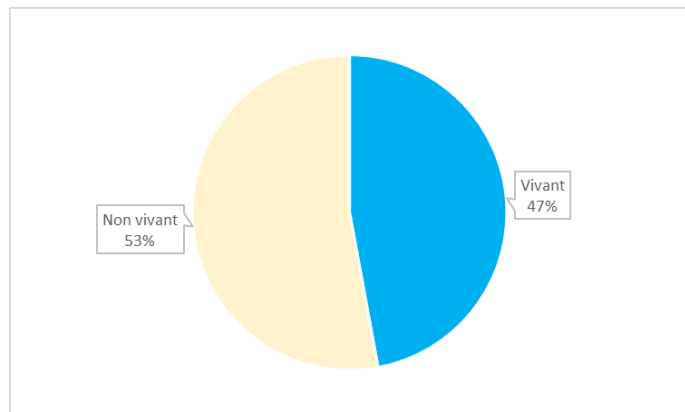


Figure 41 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -38 m – T4.

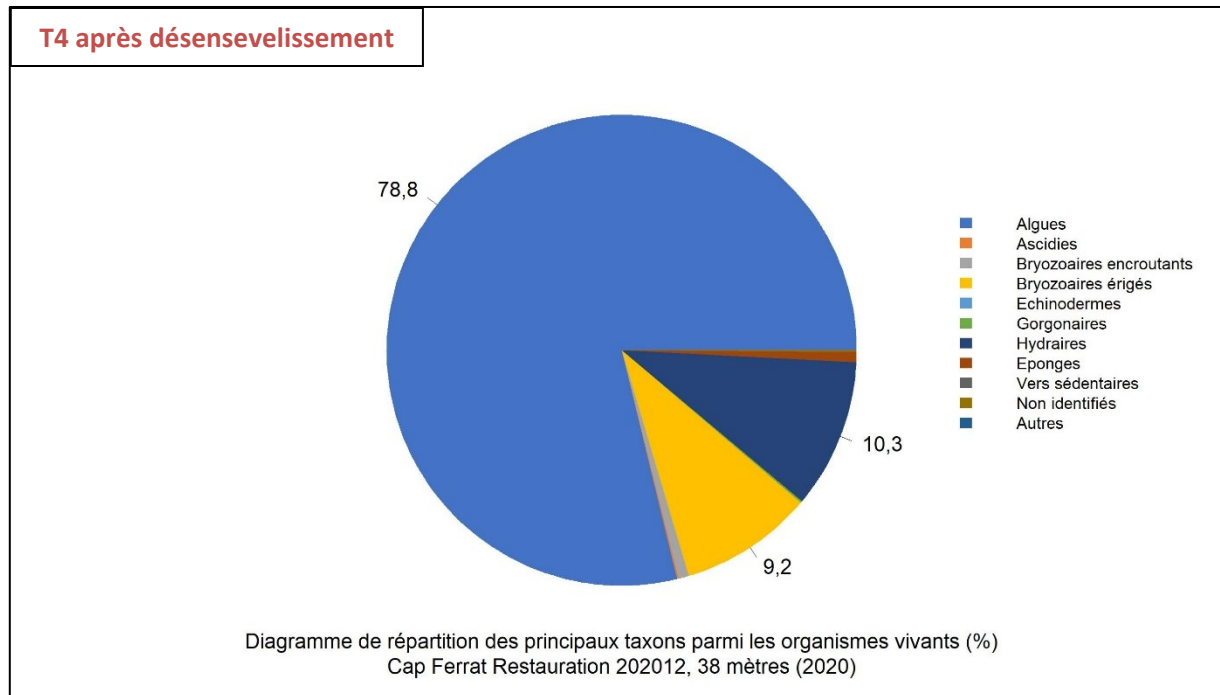
Parmi les **47,1 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure suivante). Les groupes du vivant les plus représentés sont les **algues**, les **bryozoaires érigés** et les **hydriaires**.

Parmi le vivant (**recouvrement de 47,1 % de la surface des quadrats**), ce sont les **algues** qui dominent à -38 m (78,8 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (6,6 % du vivant, constituées par des algues filamenteuses, des espèces non identifiées, *Padina pavonica*, *Zanardina typus*, et *Dictyota dichotoma*) et des **algues rouges** (72,0 %).

Les algues rouges sont formées par des ***Peyssonnelia sp.* encrouantes** (8,4 % des organismes vivants, majorité de *Peyssonnelia rosa-marina*), des ***Peyssonnelia sp.* érigées** (0,4 %), ***Mesophyllum sp.*** (11,4 %), et des **algues rouges encrouantes nécrosées** (30,0 % des organismes vivants). Présence également d'**algues rouges**

filamenteuses (21 %). Le retrait des sédiments a permis de mettre en lumière le récif coralligène nécrosé (anciennement récif vivant mais qui a été enseveli sous le sable à cause des travaux). Ce récif laisse apparaître des algues rouges encroûtantes, qui étaient toutes nécrosées au T0 après désensevelissement, puis dont le recouvrement diminue aux premiers suivis puis se stabilise (77 % des organismes à T1), 21 % des organismes à T2 et 31 % à T3 et T4.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **hydraires** (10,3 %) sont les éléments les plus importants avec les **bryozoaires érigés** (9,2 % - *Crisia sp.*, *Pentapora fascialis*, *Smittina cervicornis*).



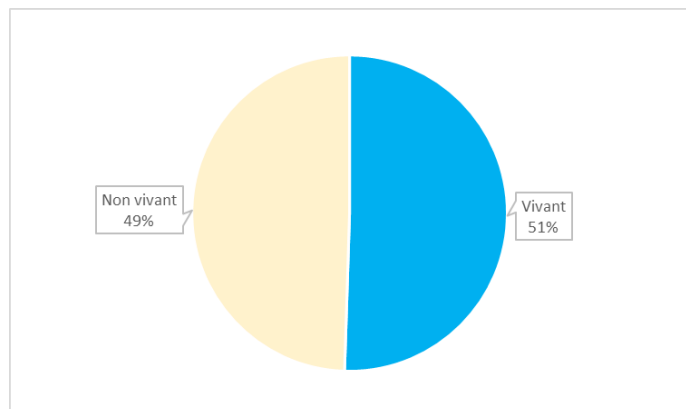
III.B.2.g. T5 après désensevelissement

Sur la station à **-38 mètres au suivi T5 après désensevelissement**, les quadrats sont couverts à :

↳ **50,5 % par des organismes vivants** (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)

↳ **49,5 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (30,5 %, pourcentage légèrement supérieur à la moyenne régionale), **du sable** (34,6 %), des **débris biologiques** (4 %) et **des cavités** (9,9 %).



Parmi les **50,5 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).

Les groupes du vivant les plus représentés sont les **algues** et les **bryozoaires érigés**.



T5 après désensevelissement

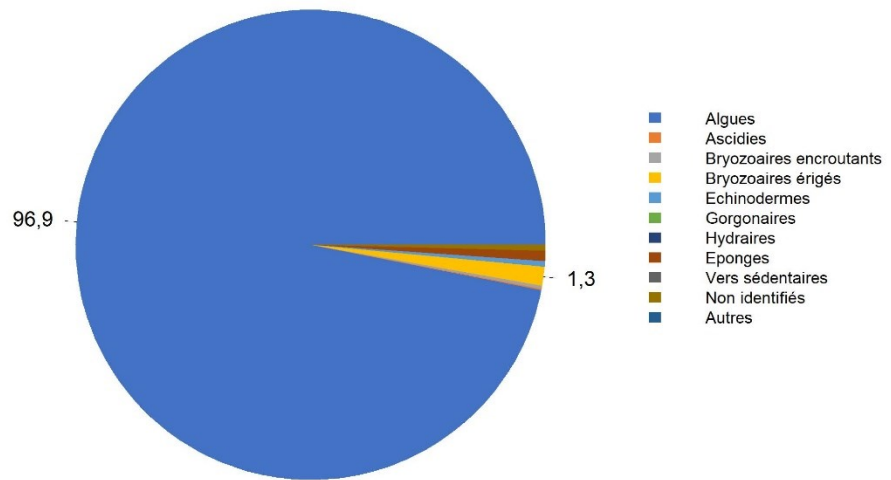


Diagramme de répartition des principaux taxons parmi les organismes vivants (%)
Cap Ferrat Restauration 202106, 38 mètres (2021)

Parmi le vivant (**recouvrement de 50,5 % de la surface des quadrats**), ce sont les **algues** qui dominent à -38 m (96,9 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (17,3 % du vivant, constituées majoritairement par *Zanardina typus*, puis par des algues filamenteuses, des espèces non identifiées, et *Dictyota dichotoma*) et des **algues rouges** (79,0 %).

Les algues rouges sont formées par des *Peyssonnelia sp. encroûtantes* (18,1 % des organismes vivants, majorité de *Peyssonnelia rosa-marina*), des *Peyssonnelia sp. érigées* (1,3 %), *Mesophyllum sp.* (5,5 %), et des **algues rouges encroûtantes nécrosées** (5 % des organismes vivants). Présence également d'**algues rouges filamenteuses** (50 %). Le retrait des sédiments a permis de mettre en lumière le récif coralligène nécrosé (anciennement récif vivant mais qui a été enseveli sous le sable à cause des travaux). Ce récif laisse apparaître des algues rouges encroûtantes, qui étaient toutes nécrosées au T0 après désensevelissement, puis dont le recouvrement diminue aux premiers suivis (77 % des organismes à T1, 21 % des organismes à T2), puis se stabilise (31 % à T3 et T4) et diminue de nouveau (5 % à T5).



Figure 42 : Les algues brunes représentent 17,3 % du vivant, constituées majoritairement par *Zanardina typus*.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **bryozoaires érigés** (1,3 %) sont les éléments les plus importants (*Pentapora fascialis* en majorité, *Turbicellepora avicularis*, *Reteporella* sp., *Crisia* sp.).



Figure 43 : Les bryozoaires érigés représentent 1,3 % du vivant, constituées majoritairement par *Pentapora fascialis*,



Figure 44 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -38 m – T5.

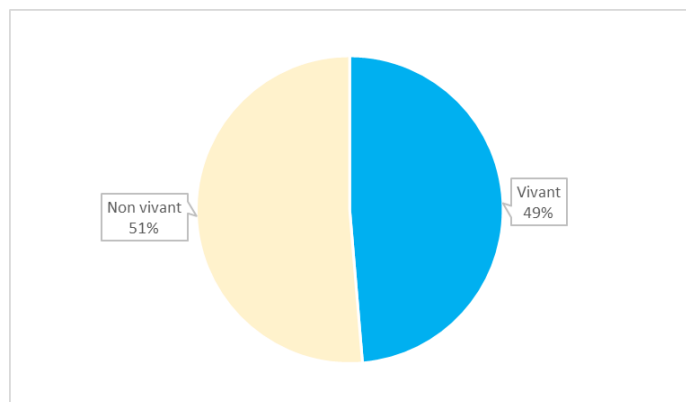
III.B.2.h. T6 après désensevelissement

Sur la station à -38 mètres au suivi T6 après désensevelissement, les quadrats sont couverts à :

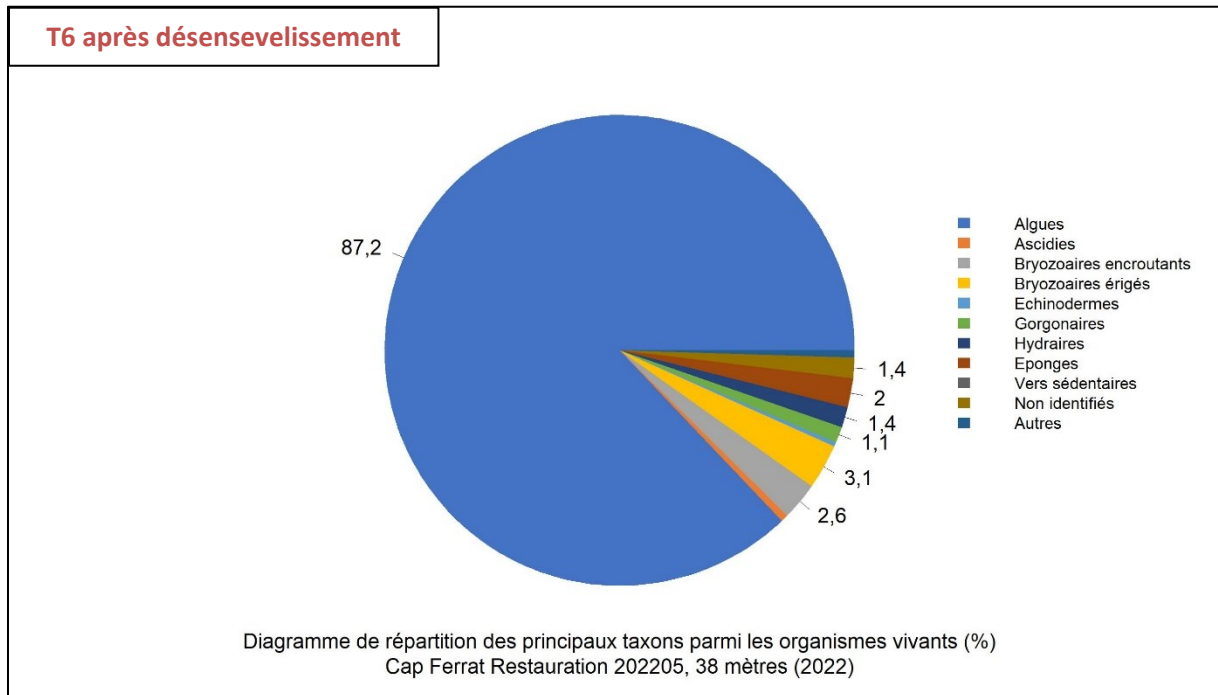
— **48,7 % par des organismes vivants** (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)

— **51,3 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (23,4 %, pourcentage légèrement supérieur à la moyenne régionale), du **sable** (13,2 %), des **débris biologiques** (8,9 %) et des **cavités** (9,9 %).



Parmi les **48,7 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous). Les groupes du vivant les plus représentés sont les **algues**, les **bryozoaires**, les **éponges**, les **hydraires**, les **gorgones** et des **espèces non identifiées**.



Parmi le vivant (**recouvrement de 48,7 % de la surface des quadrats**), ce sont les **algues** qui dominent à -38 m (87,2 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (8,7 % du vivant, constituées majoritairement par des algues filamenteuses, des espèces non identifiées, et *Dictyota dichotoma*), des **algues vertes** (2,9 % - algues filamenteuses) et des **algues rouges** (75,5 %).

Les algues rouges sont formées par des *Peyssonnelia sp. encroûtantes* (21,7 % des organismes vivants, majorité de *Peyssonnelia rosa-marina*), des *Peyssonnelia sp. érigées* (4,8 %), *Mesophyllum sp.* (9,4 %), et des **algues rouges encroûtantes nécrosées** (5 % des organismes vivants). Présence également d'**algues rouges filamenteuses**. Le retrait des sédiments a permis de mettre en lumière le récif coralligène nécrosé (anciennement récif vivant mais qui a été enseveli sous le sable à cause des travaux). Ce récif laisse apparaître des algues rouges encroûtantes, qui étaient toutes nécrosées au T0 après désensevelissement, puis dont le recouvrement diminue aux premiers suivis (77 % des organismes à T1, 21 % des organismes à T2), puis se stabilise (31 % à T3 et T4) et diminue de nouveau (5 % à T5 et T6).

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **bryozoaires érigés** (3,1 %) sont les éléments les plus importants (*Pentapora fascialis*, *Turbicellepora avicularis*, *Reteporella sp.*, *Myriapora truncata*, *Crisia sp.*) avec les **bryozoaires encroûtants** (2,6 %).

Les éponges (2,2 % - principalement des espèces encroûtantes), **les hydraires** (1,4 %), **les gorgones** (1,2 % - *Eunicella cavolinii*, *Corallium rubrum*) font leur apparition à ce dernier suivi.

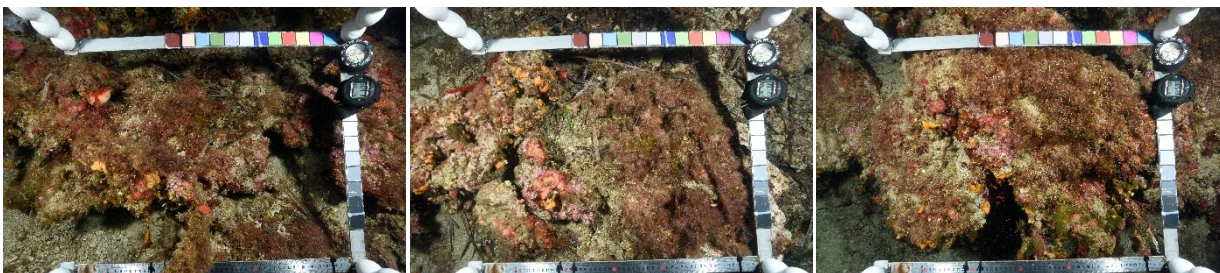


Figure 45 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -38 m – T6.

III.B.2.a. Analyse comparative des quadrats sur la durée du projet, entre T-1 et T6

L'analyse comparative des 30 quadrats photographiques entre les différents suivis réalisés à **-38 m dans la zone désensévelie (retrait de sédiments et nettoyage par jet d'eau)** montre :

- Une très **forte diminution du pourcentage de recouvrement par le sable** entre les suivis « T-1 avant désensévelissement » et « T0 après désensévelissement » qui s'explique par les opérations de retrait du sédiment menées en Septembre 2018. La forte diminution du recouvrement par le sable entraîne une **augmentation par les débris biologiques** (qui étaient recouverts par le sable à cause des travaux sur l'émissaire). Le pourcentage de sable représente entre 15 et 35 % du recouvrement au cours des suivis T2 à T6, et celui des débris biologiques se stabilise autour de 8 % à partir du suivi T2.

- Une petite **augmentation des pourcentages de recouvrement par le sédiment vaseux** (environ 5 %) entre les suivis T-1 avant désensévelissement et T0 après désensévelissement qui sont sûrement liés aux opérations de nettoyage (remise en suspension de particules fines). Le recouvrement par le sédiment vaseux augmente (+20 %) entre T0 après désensévelissement et T1 (envasement naturel) puis se stabilise entre les suivis T1 et T6 (valeur en dessous de la moyenne régionale), hormis au suivi T5 où il augmente (+9 %) et se retrouve légèrement au-dessus de la moyenne régionale.

- Des **forts taux de nécroses des organismes vivants (algues rouges encroûtantes non identifiées)** sur les suivis post-désensévelissement. Le retrait des sédiments a permis de mettre en lumière le récif coralligène nécrosé (anciennement récif vivant mais qui a été enseveli sous le sable à cause des travaux). Ce récif laisse apparaître des algues rouges encroûtantes, qui étaient toutes nécrosées au T0 après désensévelissement, puis dont le recouvrement diminue aux premiers suivis (77 % des organismes à T1, 21 % des organismes à T2), puis se stabilise (31 % à T3 et T4) et diminue de nouveau (5 % à T5 et T6). **L'indicateur de nécroses des organismes vivants diminue donc progressivement au cours des suivis post-désensévelissement grâce à une augmentation de la colonisation du substrat par les organismes vivants** (bryozoaires, ascidies, éponges, algues, hydraires).

- Un **développement des hydraires après désensévelissement aux suivis T3 et T4**. Ils ne sont plus observés au suivi T5 et de nouveau un peu au suivi T6.

- Une très **forte diminution de la proportion relative des algues brunes filamenteuses après désensévelissement** (88,7 % des organismes vivants au T-1 avant désensévelissement puis 0,1 % au T0 après désensévelissement) qui s'explique par le nettoyage du site. Par contre à partir du suivi T2 on observe, comme sur la station précédente, des abondances plus élevées des algues filamenteuses qui recolonisent la station. Cette **colonisation ne semble pas être saisonnière** puisque les algues filamenteuses sont observées à l'automne (T2, 10,7 % - algues brunes filamenteuses), au printemps (T3, 2,3 % - 2/3 d'algues rouges et 1/3 d'algues brunes filamenteuses ; T5, 51,9 % - exclusivement des algues rouges filamenteuses ; T6, 37,7 % - algues rouges et vertes filamenteuses) et en hiver (T4, 21 % - exclusivement des algues rouges filamenteuses). La proportion d'algues rouges filamenteuses augmente progressivement entre T2 et T5 sur la station, diminue entre T5 et T6. Dès le suivi T4 l'abondance relative des algues filamenteuses est supérieure à la moyenne régionale, tout en restant inférieure à celle du suivi T-1 avant désensévelissement ;

- Une **proportion relative plus élevée des espèces érigées** (les bryozoaires érigés dès le T1, les hydraires aux suivis T3, T4, T6, les gorgones et peysonneliacées érigées à T6) **aux suivis post-désensévelissement**. On relève aux suivis T2 et T5 une diminution de la proportion relative des bryozoaires érigés qui peut être liée au développement des algues filamenteuses qui les recouvrent alors et, pour le T5, à l'augmentation du pourcentage de recouvrement par les sédiments. Même si au T4 on observe plus d'algues filamenteuses qu'au T2, le pourcentage de recouvrement par le sédiment vaseux est plus faible permettant quand même aux espèces érigées de se développer.



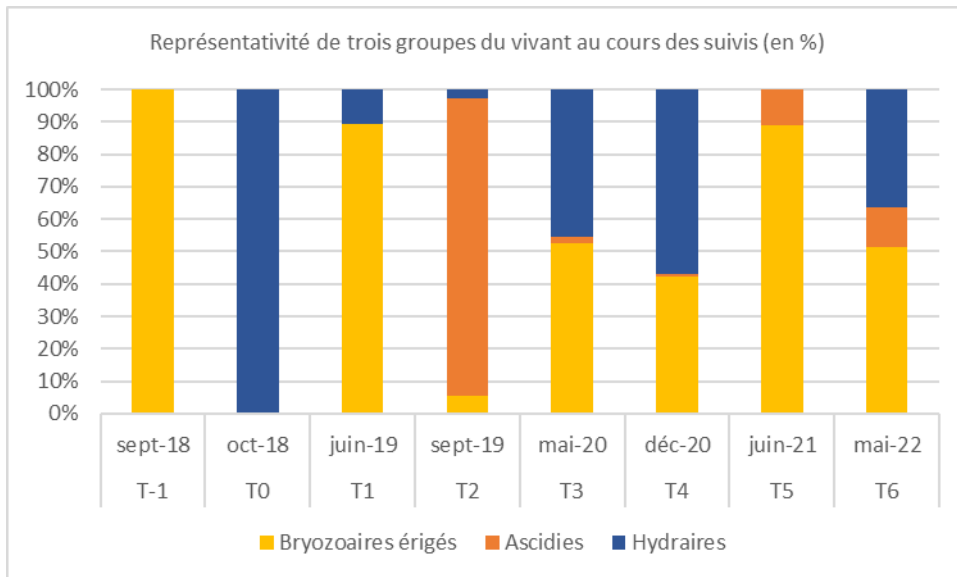


Figure 46 : Pourcentage de représentativité des bryozoaires, ascidies et hydraires au cours des suivis.

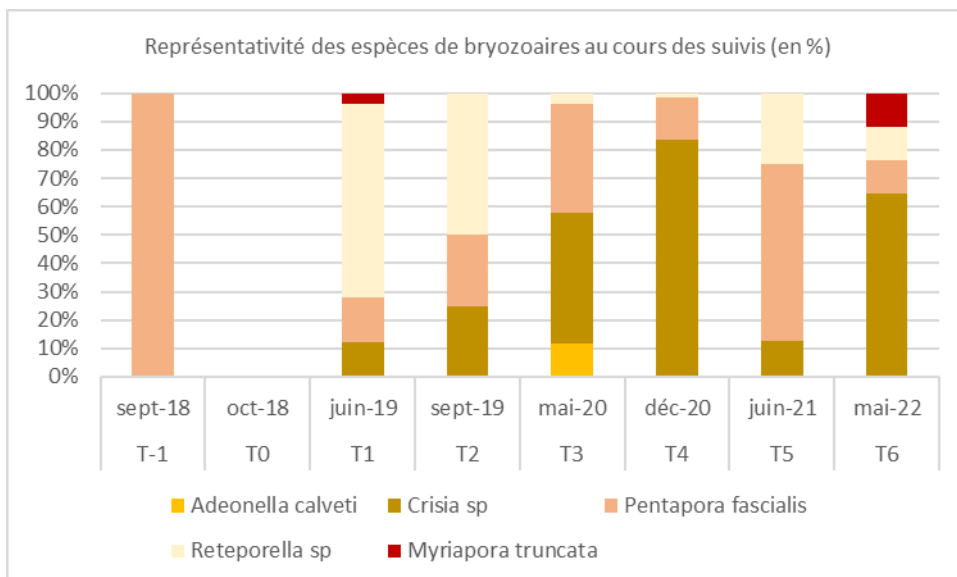


Figure 47 : Pourcentage de représentativité des différentes espèces de bryozoaires identifiées au cours des suivis.

Les tableaux suivants présentent une comparaison régionale (région Sud) de paramètres / indicateurs / taxons issus de l'analyse des quadrats photographiques sous CPCe entre les suivis T-1 et T6 sur la station à -38 m.

Tableau 4: Comparaison régionale de paramètres / indicateurs / taxons issus de l'analyse des quadrats sous CPCe. Les paramètres correspondant à des pourcentages de recouvrement sont notés dans l'intitulé des lignes, les autres sont des proportions relatives parmi les organismes vivants (en pourcentage). « T-1 » = T-1 avant désenssevelissement; « T0 » = T0 après désenssevelissement.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	
Site	T-1	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Profondeur Année	38 2018	38 2018	38 2019	38 2019	38 2020	38 2020	38 2021	38 2022	
% recouvrement par le vivant	10.16	62.43	31.98	32.12	36.48	47.13	50.51	48.67	
% recouvrement par le non vivant	89.84	37.57	68.02	67.88	63.52	52.87	49.49	51.33	
% recouvrement par le sédiment	2.4	8.96	36.94	26.24	17.83	21.87	30.51	23.48	
% recouvrement par les débris biologiques	0.42	5.84	11.13	7.51	8.94	7.76	4.02	8.78	
% recouvrement par les cavités	0	1.15	4.38	2.38	6.4	6.12	9.91	5.8	
% recouvrement par les macrodéchets	0	0	0	0.26	0.06	0.33	0.42	0	
CAI	0.34	0.57	0.38	0.31	0.51	0.46	0.32	0.41	
% recouvrement par les bryozoaires totaux	0.05	0	2.59	0.53	6.18	4.65	0.78	2.76	
% recouvrement par les bioconstructeurs principaux	0.57	61.96	27.7	10.63	27.92	24.93	15.8	22.54	
Indice de Simpson	0.86	0.81	0.88	0.8	0.81	0.79	0.89	0.83	
Indice de Shannon	2.47	2.12	2.7	2.11	2.24	2.22	2.69	2.34	
% Nécroses parmi le vivant	0.51	97.91	76.9	21.09	31.01	30.05	5.23	5.33	
Indicateur de perturbation	89.23	0.08	0.99	10.71	2.57	21	51.96	37.68	
% Algues filamenteuses	88.72	0.08	0.83	10.71	2.27	21	51.96	37.68	
% Algues total	95.38	99.33	88.28	85.34	72.92	78.77	96.91	87.17	



Région Masse d'eau côtière	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA <i>Légende</i>
	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	
Site	T-1	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Profondeur Année	38 2018	38 2018	38 2019	38 2019	38 2020	38 2020	38 2021	38 2022	
% Algues brunes	89.74	0.08	5.61	52.22	4.54	6.61	17.24	8.74	0 8.96 89.7
% Algues vertes	0.51	0	0	0	0.91	0.12	0.59	2.95	0 5.27 91.7
% Algues rouges	5.13	99.25	82.67	33.11	67.47	72.04	79.07	75.48	0 56.03 99.2
% Mesophyllum spp.	1.54	0.08	3.14	0.66	20.73	11.14	5.47	9.42	0 23.18 70.8
% Lithophyllum spp.	0.51	0	0.17	0	0.45	0	0.12	0.68	0 2.77 24.2
% Peyssonnelia sp. Érigées	0	0.08	0.17	0	3.18	0.35	1.31	4.77	0 6.69 55.9
% Peyssonnelia sp. Encroustantes	2.56	0.58	2.15	9.23	9.53	8.35	18.19	21.68	0 16.54 65.7
% Eponges	0.51	0.08	0.66	0.33	0.76	0.7	0.71	2.04	0 13.5 91.0
% Eponges massives	0.51	0	0.17	0.33	0.15	0.23	0.24	0.57	0 3.55 32.6
% Eponges encroustantes	0	0.08	0.5	0	0.61	0.46	0.48	1.48	0 9.94 66.0
% Axinella sp.	0	0	0	0	0	0	0.12	0.11	0 0.8 9.6
% Cliona spp.	0	0	0	0	0.15	0	0	0.11	0 0.37 5.9
% Gorgones	0	0	0.33	0	0	0.12	0	1.14	0 4.78 37.8
% Gorgones rouges	0	0	0	0	0	0	0	0	0 2.6 33.6
% Gorgones jaunes	0	0	0.17	0	0	0	0	0.91	0 1.72 21.0
% Corail rouge	0	0	0.17	0	0	0	0	0.23	0 0.4 31.1
% Bryozoaires encroustants	0	0	3.47	0.99	7.56	0.7	0.24	2.61	0 2.71 17.9
% Bryozoaires érigés	0.51	0	4.62	0.66	9.38	9.16	1.31	3.06	0 2.25 18.2

III.B.3. Station à -40 m

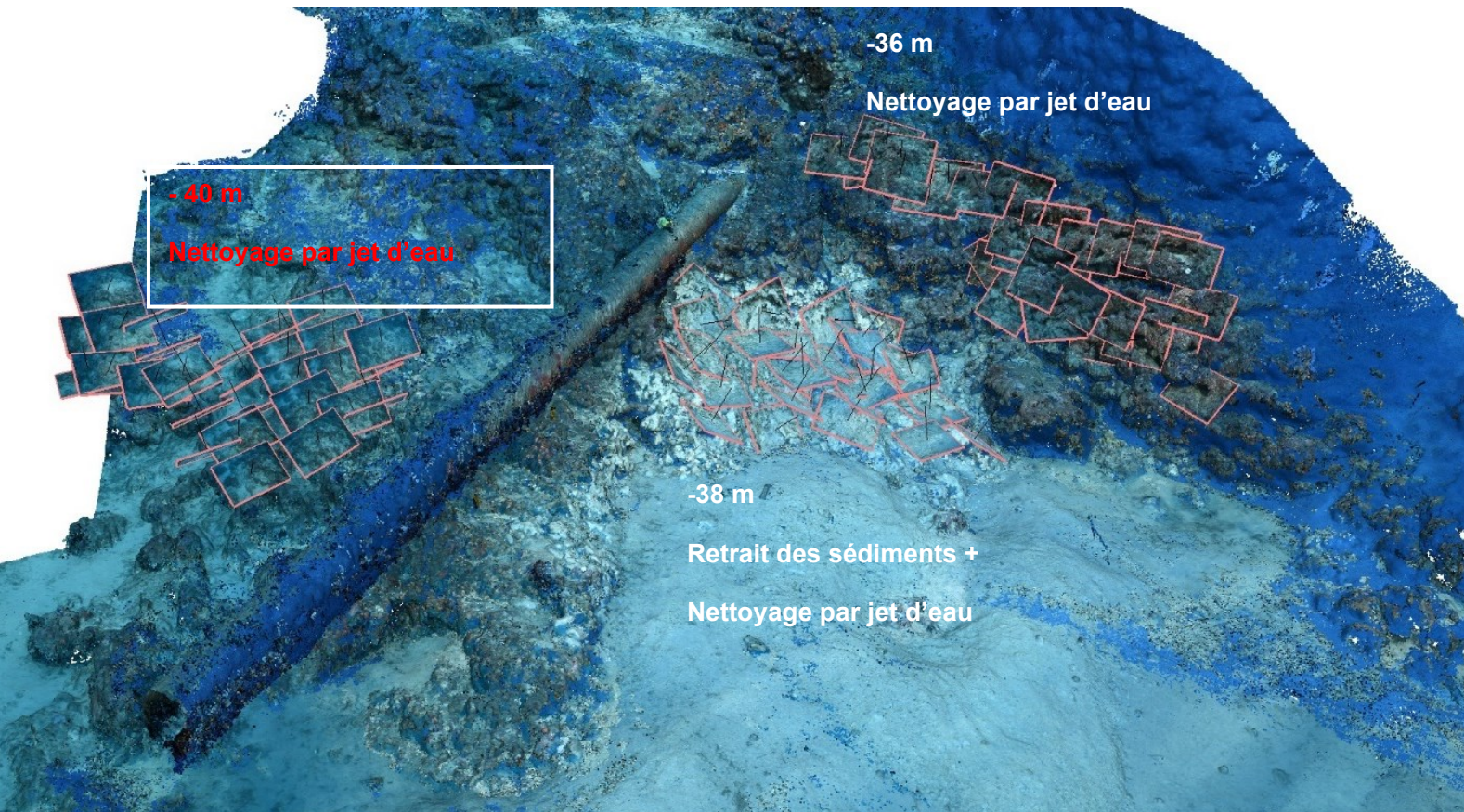


Figure 48 : Localisation de la station à -40 m par rapport aux deux autres stations et à la position de l'émissaire.



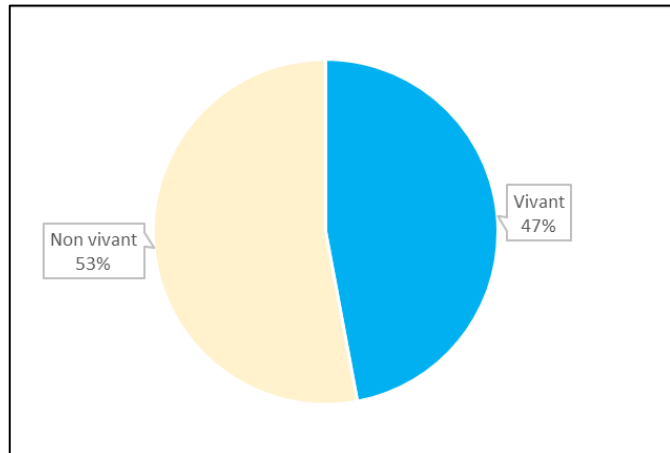
III.B.3.a. T-1 avant nettoyage

Sur la station à **-40 mètres avant nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

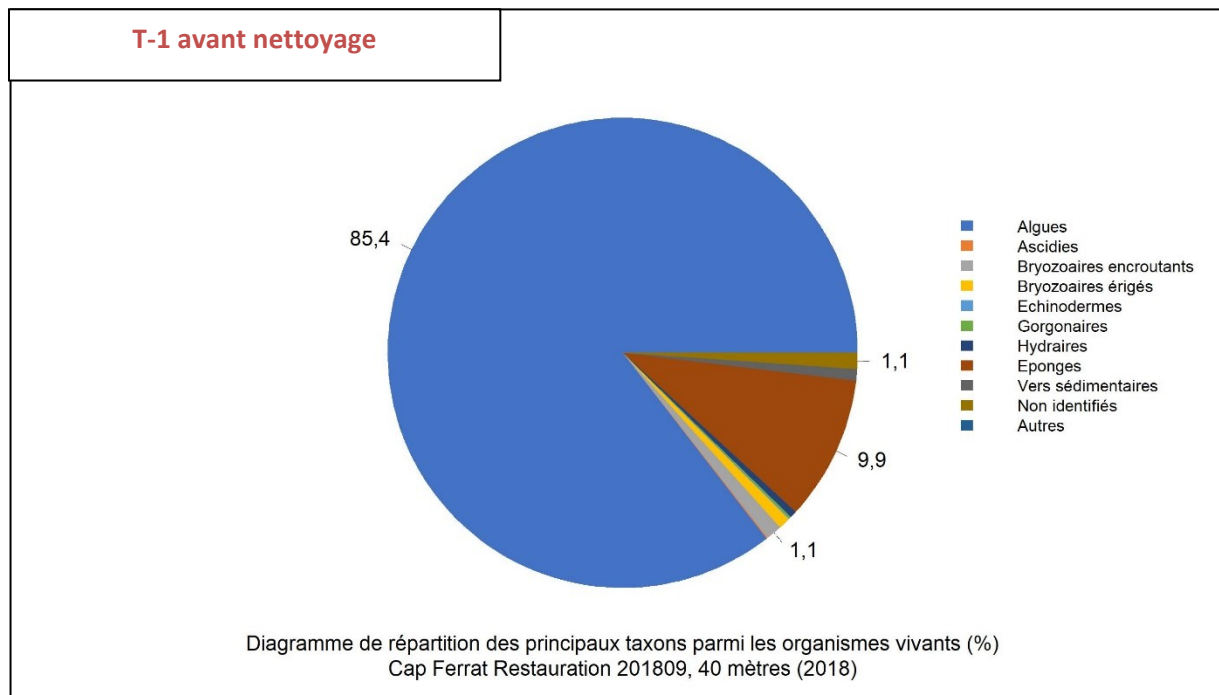
↳ **47,1 % par des organismes vivants** (pourcentage inférieur à la moyenne régionale),

↳ **52,9 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux (33 %)**, pourcentage supérieur à la valeur moyenne régionale), du **sable (16 %)**, des **cavités (2 %)** et des **débris biologiques (2 %)**.



Parmi les **47 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).



Les groupes du vivant les plus représentés sont les **algues, les éponges, et les bryozoaires**.

Parmi le vivant (**recouvrement de 47 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -40 mètres (85,4 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (21 % des organismes vivants dont 66 % sont des algues filamenteuses) et des **algues rouges encroûtantes (62,9 %)** qui forment la strate basse. Elles sont dominées par des ***Peyssonnelia sp. encroûtantes*** (40,8 % du vivant), mais on observe aussi *Mesophyllum alternans* (14,3 %) et quelques *Lithophyllum stictaeforme* (0,7 %).

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **éponges** (9,9 % des organismes vivants) sont représentées surtout par des **éponges encroûtantes** (7 % : *Chondrosia reniformis*, *Phorbas tenacior*, *Spirastrella cunctatrix*) et aussi des espèces massives avec notamment ***Axinella sp.*** qui forme la strate basse du coralligène.

Ce sont les éléments les plus importants de la faune devant les **bryozoaires encroûtants** (1,1 %) et **érigés** (0,8 %, *Aeonalla calveti*, *Myriapora truncata*). Les gorgones (0,1 %) sont peu représentées mais les quelques **gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* forment la strate haute**. Le corail rouge *Corallium rubrum* n'est pas observé.

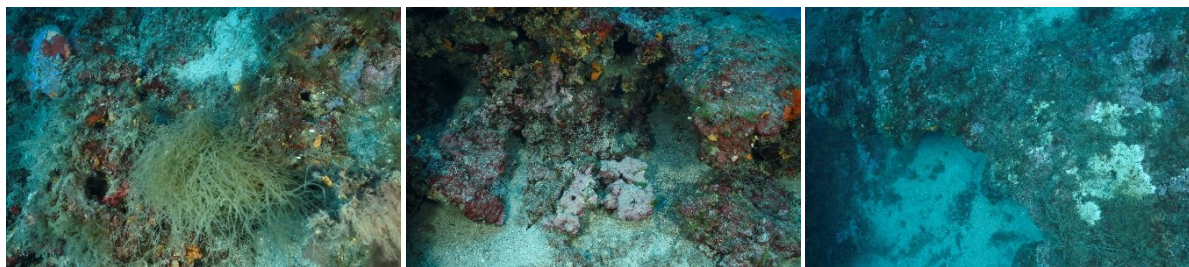


Figure 49 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -40 mètres – T-1 avant nettoyage.

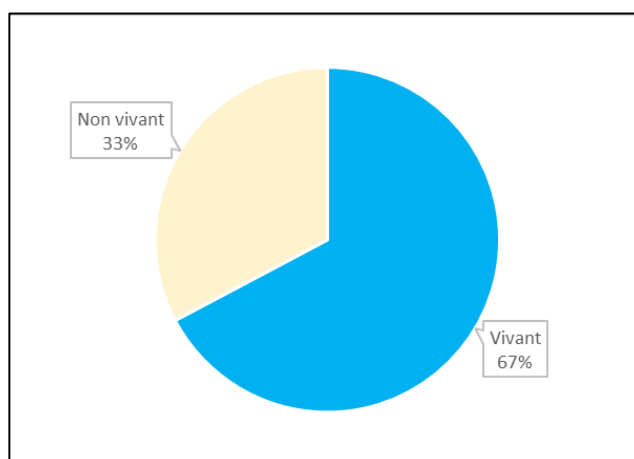
III.B.3.b. T0 après nettoyage

Sur la station à **-40 mètres au T0 après nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

— **67 % par des organismes vivants**
(pourcentage supérieur à la moyenne régionale)

— **33 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (17 %, pourcentage inférieur à la valeur moyenne régionale), **du sable** (13 %), des **cavités** (1 %) et des **débris biologiques** (2 %).



Parmi les **67 % de vivant**, on s'intéresse aux **groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun** (figure suivante).

Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues, et les éponges.

Les **algues** qui dominent largement à -40 mètres (97 % des organismes vivants) avec des **algues rouges encroûtantes qui forment la strate basse**. Elles sont dominées par des ***Peyssonnelia sp.* encroûtantes** (33 % du vivant), et des **algues rouges encroûtantes non identifiées**.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **éponges** (2,5 % des organismes vivants) sont représentées par des éponges encroûtantes (1,2 %) et des espèces massives (1,2 %) avec notamment ***Axinella sp.* qui forme la strate moyenne du coralligène**.

Les gorgones (0,08 %) sont peu représentées mais les quelques **gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* forment la strate haute**. Le corail rouge *Corallium rubrum* n'est pas observé.



T0 après nettoyage

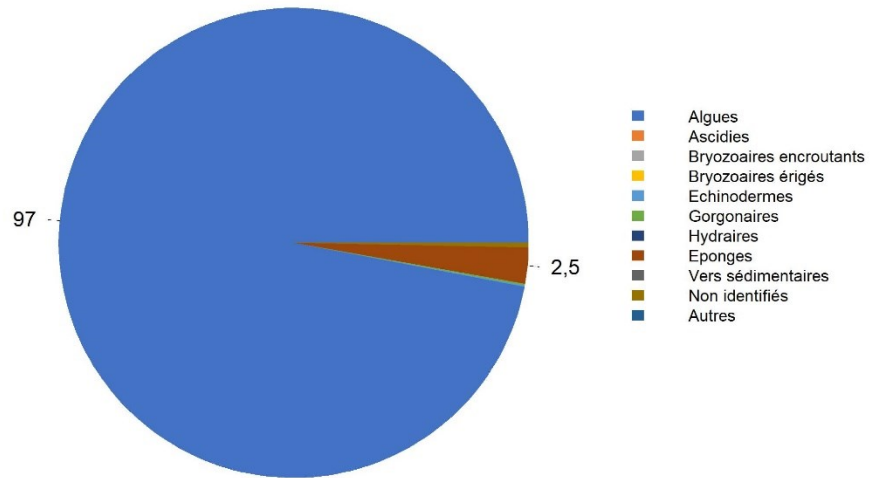


Diagramme de répartition des principaux taxons parmi les organismes vivants (%)
Cap Ferrat Restauration 201810, 40 mètres (2018)



Figure 50 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -40 mètres – T0 après nettoyage.

III.B.3.c. T1 après nettoyage

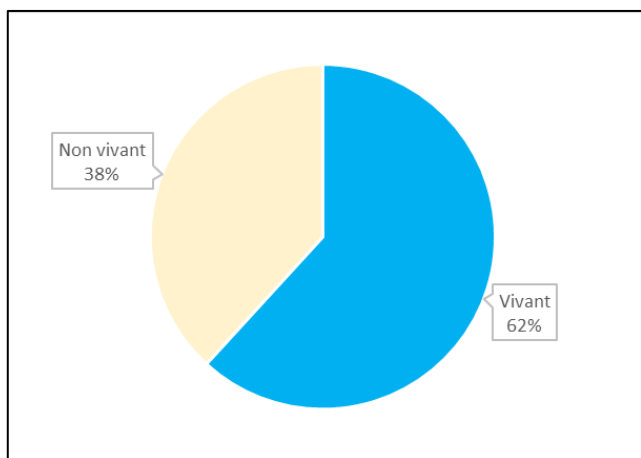
Sur la station à **-40 mètres au T1 après nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

62 % par des organismes vivants
(pourcentage supérieur à la moyenne régionale)

38 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (21 %, pourcentage inférieur à la valeur moyenne régionale), du **sable** (9 %), des **cavités** (5 %) et des **débris biologiques** (4 %).

Parmi les **62 % de vivant**, on s'intéresse aux **groupes du vivant les plus représentés** et aux **proportions relatives de chacun** (figure suivante).



T1 après nettoyage

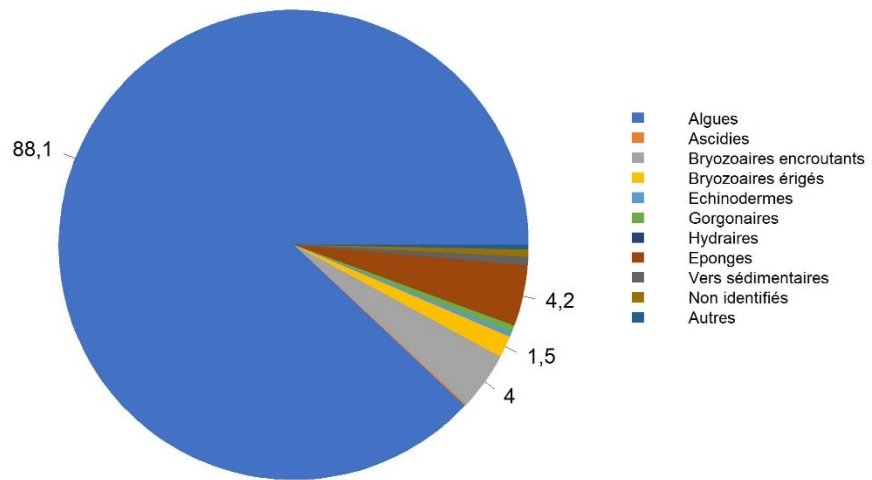


Diagramme de répartition des principaux taxons parmi les organismes vivants (%)
Cap Ferrat Restauration 201906, 40 mètres (2019)

Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues, les éponges, les bryozoaires encroûtants, les bryozoaires érigés.

Parmi le vivant (**recouvrement de 62 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -40 mètres (88 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (11 % des organismes vivants dont 60 % sont des algues filamenteuses) et des **algues rouges encroûtantes (74 %) qui forment la strate basse**. Elles sont dominées par des ***Peyssonnelia sp. encroûtantes*** (44 % du vivant), mais on observe aussi *Mesophyllum alternans* (16 %) et *Lithophyllum sp.* (7 %, *L. incrustans majoritaire*, *L. stictaeforme*).

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **éponges** (4,2 % des organismes vivants) sont représentées par des éponges encroûtantes (2,9 %) et des espèces massives (1,2 %) avec notamment ***Axinella sp. qui forme la strate moyenne du coralligène***. Ce sont les éléments dominants devant les **bryozoaires encroûtants (4 %) et érigés (1,5 % : *Crisia sp.*, *Myriapora truncata*, *Pentapora fascialis*, *Reteporella sp.*)**.

Les gorgones (0,5 %) sont peu représentées mais les quelques **gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* forment la strate haute**. Le corail rouge *Corallium rubrum* n'est pas observé.

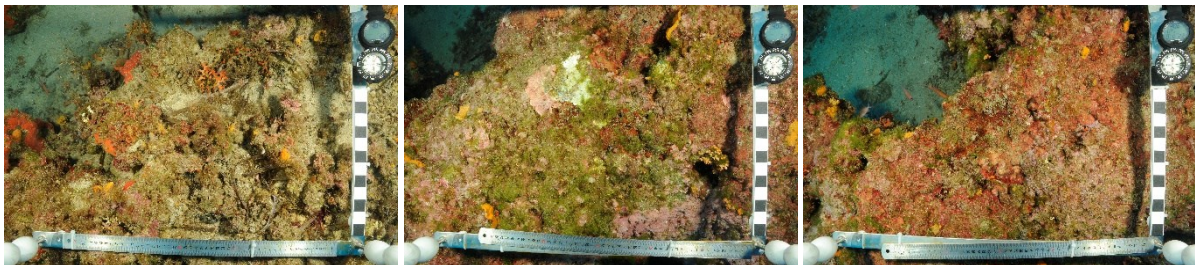


Figure 51 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -40 mètres – T1.



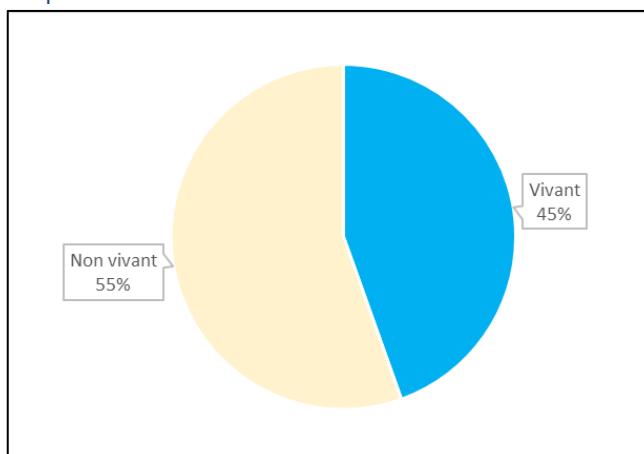
III.B.3.d. T2 après nettoyage

Sur la station à **-40 mètres au T2 après nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

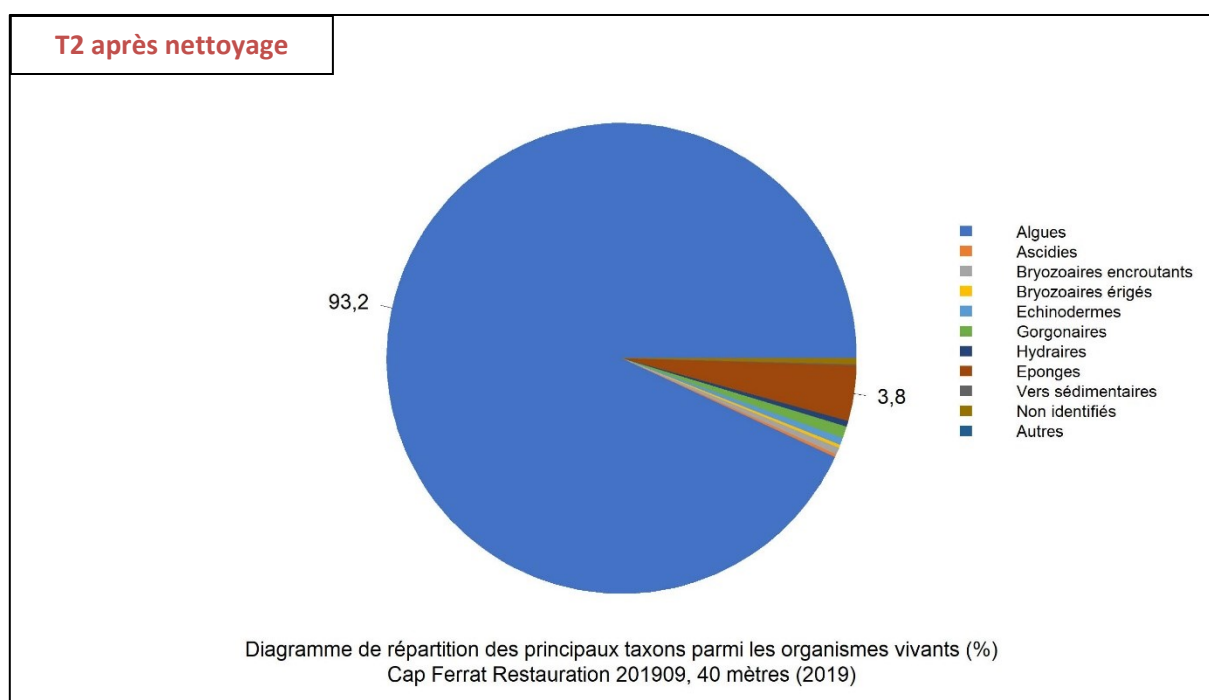
45 % par des organismes vivants (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)

55 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (41 %, pourcentage inférieur à la valeur moyenne régionale), du **sable** (10 %), des **cavités** (2 %) et des **débris biologiques** (2 %).



Parmi les **45 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).



Les groupes du vivant les plus représentés sont les algues et les éponges.

Parmi le vivant (**recouvrement de 45 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -40 mètres (93,2 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (48 % des organismes vivants dont 12 % sont des algues filamenteuses) et des **algues rouges encroûtantes** (45 %) qui forment la **strate basse**. Elles sont formées par des *Peyssonnelia sp. encroûtantes* (18 % du vivant) et des corallines *Mesophyllum alternans* (19 %). Présence de quelques *Lithophyllum sp.* (0,12 %, *L. stictaeforme*).

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **éponges** (3,8 % des organismes vivants) sont représentées par des éponges encroûtantes (2,6 %) et des espèces massives (1,2 %) avec notamment *Axinella sp. qui forme la strate moyenne du coralligène*. Ce sont les éléments dominants devant les **bryozoaires encroûtants** (0,5 %) et **érigés** (0,2 %).

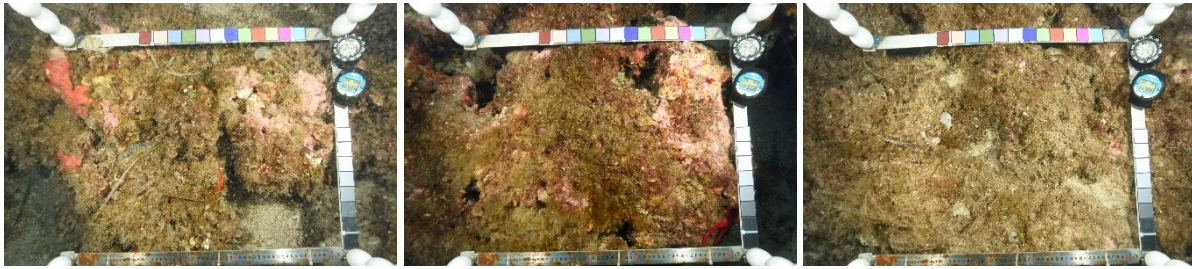


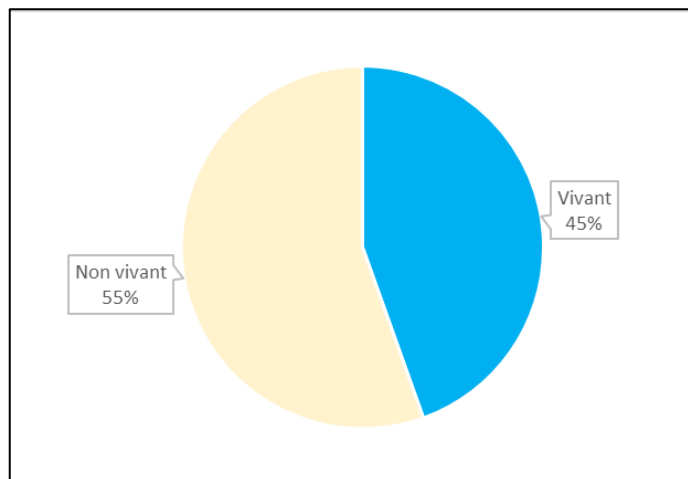
Figure 52 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -40 mètres – T2.

III.B.3.e. T3 après nettoyage

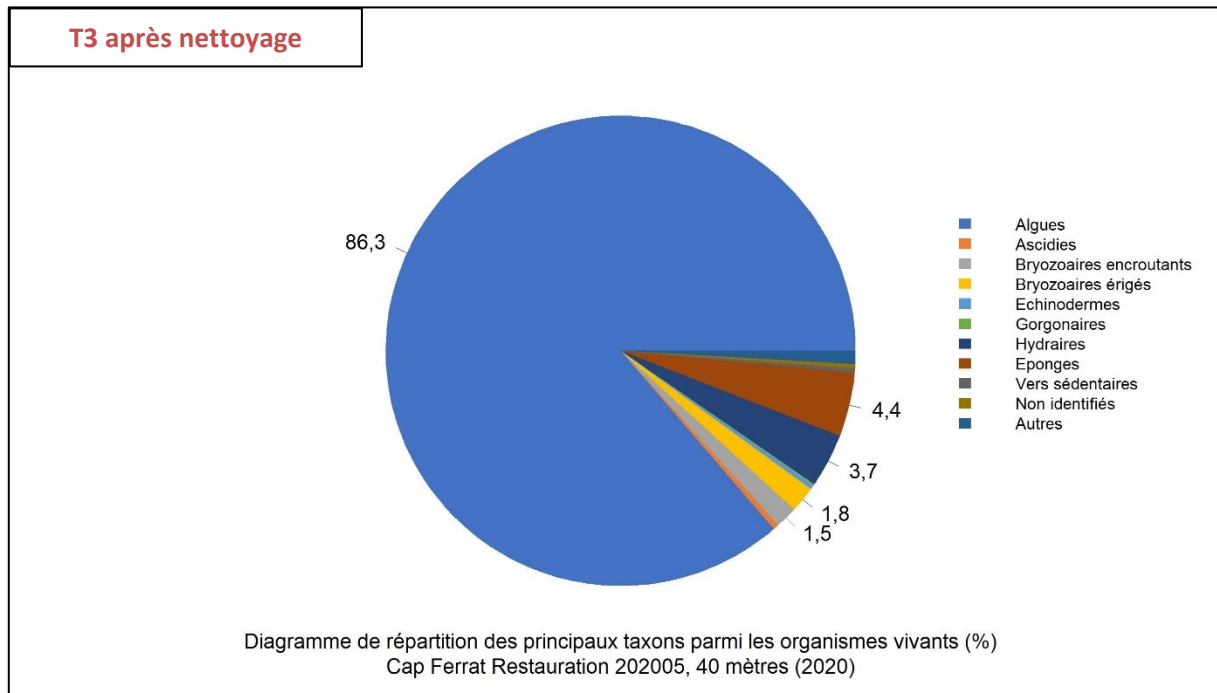
Sur la station à **-40 mètres au T3 après nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

- **55,1 % par des organismes vivants** (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)
- **44,9 % par du non vivant.**

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (21,4 %, pourcentage inférieur à la valeur moyenne régionale), du **sable** (12,3 %), des **cavités** (2,9 %) et des **débris biologiques** (8,2 %).



Parmi les **55,1 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).



Les groupes du vivant les plus représentés sont les **algues**, les **éponges**, les **hydraires** et les **bryozoaires**.



Parmi le vivant (**recouvrement de 55,1 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent largement à -40 m (86,3 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (8,0 % des organismes vivants, constituées par des algues filamenteuses, des espèces non identifiées, *Spatoglossum solieri*, *Zanardina typus*, et *Dictyota dichotoma*), des **algues vertes** (8,6 % - *Bryopsis sp.* (majoritaire), *Halimeda tuna*, *Flabellia petiolata*, *Codium bursa*) et des **algues rouges** (69,7 % - 4,8 % d'algues rouges nécrosées).

Les algues rouges encroûtantes forment la strate basse. Elles sont formées par des *Peyssonnelia sp. encroûtantes* (32,6 % du vivant, dominance par *Peyssonnelia polymorpha*) et des *Peyssonnelia sp. érigées* (6,4 %), des corallines *Mesophyllum alternans* (20,7 %) et *Lithophyllum sp.* (3,7 %, *L. incrustans* en majorité). Présence de quelques algues rouges filamenteuses.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **éponges** (4,4 % des organismes vivants) sont représentées par des éponges encroûtantes (3,4 % - *Crambe crambe*, *Dictyonella sp.*, *Phorbis tenacior*, espèces non identifiées) et des espèces massives (1,1 %) avec notamment *Axinella sp. qui forme la strate moyenne du coralligène*.

Ce sont les éléments dominants devant les **hydriaires** (3,7 %) et les **bryozoaires encroûtants** (1,5 %) et **érigés** (1,8 % - *Crisia sp.*, *Pentapora fascialis*).



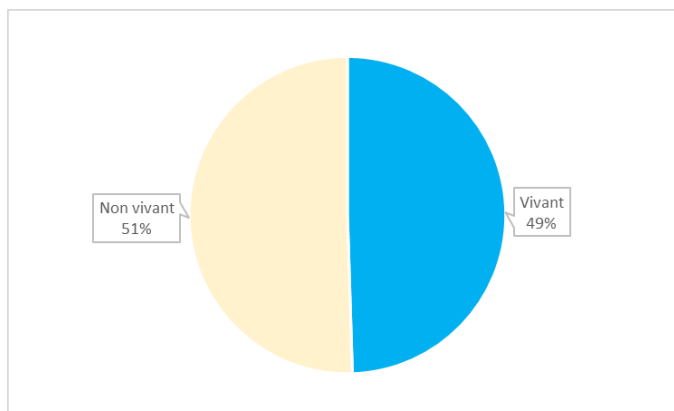
Figure 53 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -40 mètres – T3.

III.B.3.f. T4 après nettoyage

Sur la station à -40 mètres au T4 après nettoyage, les quadrats sont couverts à :

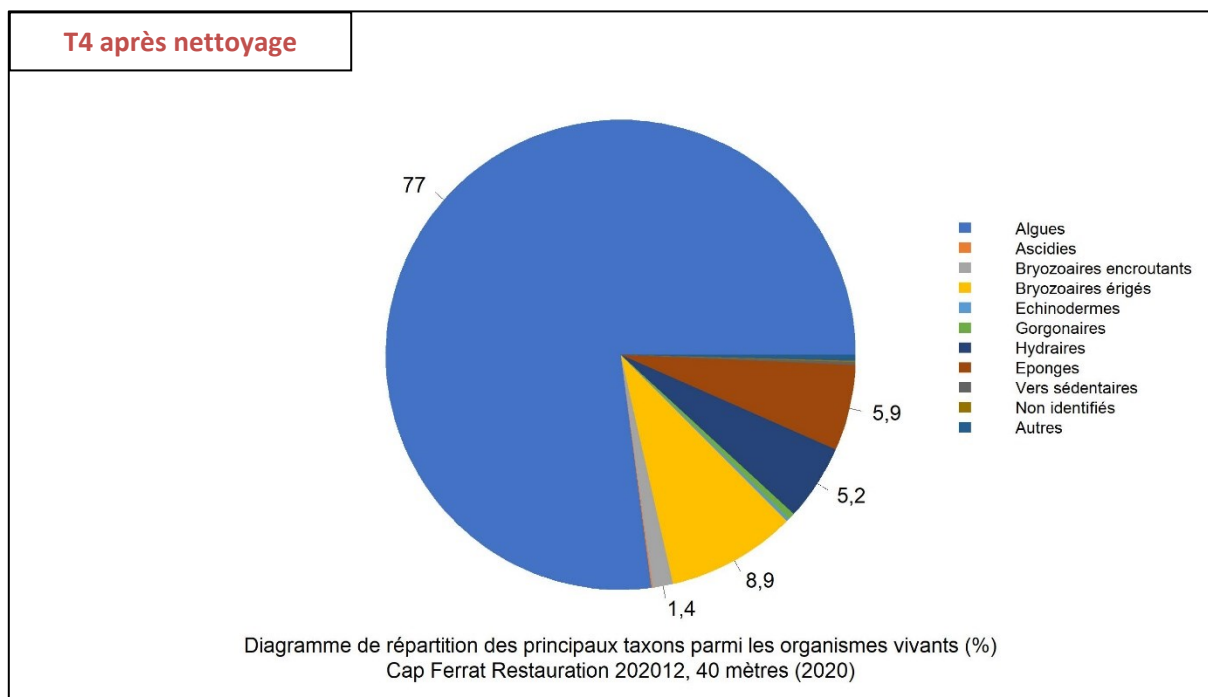
- 49,5 % par des organismes vivants (pourcentage inférieur à la moyenne régionale)
- 50,5 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (30,5 %, pourcentage proche de la valeur moyenne régionale), du **sable** (10,4 %), des **cavités** (6,7 %) et des **débris biologiques** (2,8 %).



Parmi les **49,5 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure suivante).

Les groupes du vivant les plus représentés sont les **algues**, les **bryozoaires érigés**, les **éponges**, les **hydriaires**.



Parmi le vivant (**recouvrement de 49,5 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent à -40 m (77 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (6,0 % des organismes vivants, constituées par des algues filamenteuses, des espèces non identifiées, *Zanardina typus*, et *Dictyota dichotoma*), et des **algues rouges** (70,9 % - 6,3 % d'algues rouges nécrosées).

Les algues rouges encroûtantes (69,7 %) forment la strate basse. Elles sont formées par des *Peyssonnelia sp. encroûtantes* (31,3 % du vivant, dominance par *Peyssonnelia polymorpha*) et des *Peyssonnelia sp. érigées* (7,9 %), des corallines *Mesophyllum alternans* (16,9 %) et *Lithophyllum sp.* (1,5 %, *L. stictaeforme* en majorité). Présence d'algues rouges filamenteuses.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **bryozoaires érigés** (8,9 % - *Crisia sp* (majoritaire), *Pentapora fascialis*, *Turbicellepora avicularis*) sont les éléments les plus importants de la faune devant les **éponges** (5,9 % des organismes vivants) et les **hydriaires** (5,2 %). Les éponges sont surtout représentées par des éponges encroûtantes (5,3 %) telles que *Crambe crambe*, *Phorbos tenacior*, espèces non identifiées) et des espèces massives (0,6 %) avec notamment *Axinella sp.* qui forme la strate moyenne du coralligène.



Figure 54 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -40 mètres – T4.

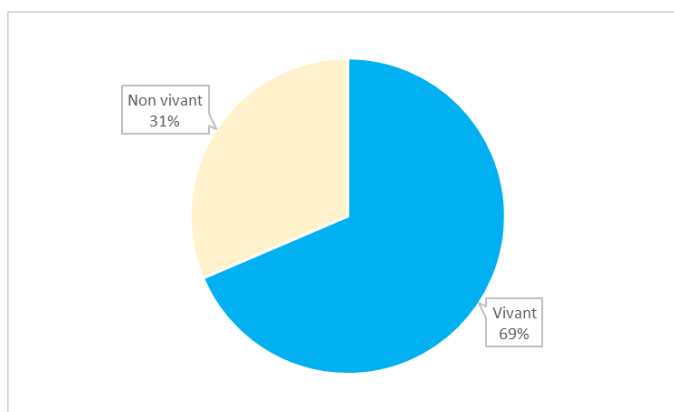


III.B.3.g. T5 après nettoyage

Sur la station à **-40 mètres au T5 après nettoyage**, les quadrats sont couverts à :

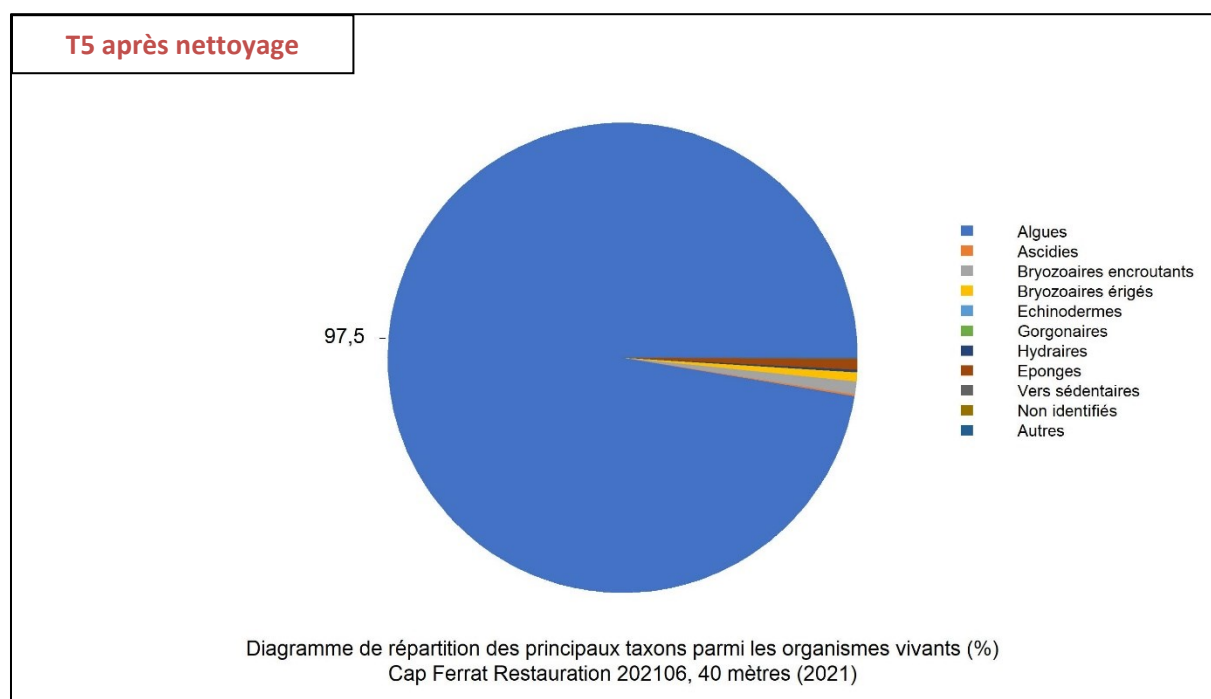
- 68,5 % par des organismes vivants (pourcentage supérieur à la moyenne régionale)
- 31,5 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (21,9 %, pourcentage inférieur à la valeur moyenne régionale), du **sable** (0,8 %), des **cavités** (6,7 %) et des **débris biologiques** (1,9 %).



Parmi les **68,5 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).

Les groupes du vivant les plus représentés sont les **algues**, les **bryozoaires** et les **éponges**.



Parmi le vivant (**recouvrement de 68,5 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent à -40 m (97,5 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (7,3 % des organismes vivants, constituées par des algues filamenteuses, des espèces non identifiées, *Zanardina typus*, et *Dictyota dichotoma*), des **algues vertes** (9,4 %, constituées par des algues filamenteuses) et des **algues rouges** (80,7 % - 5,6 % d'algues rouges nécrosées).

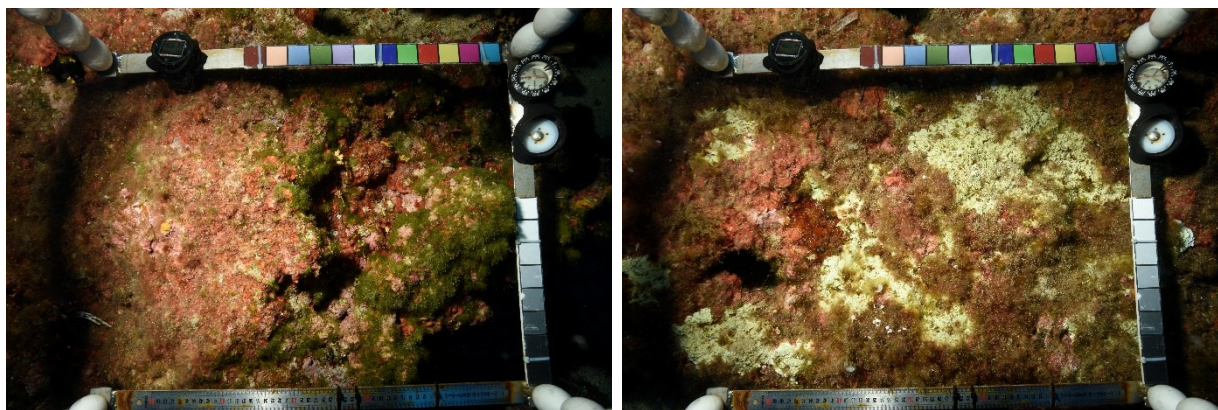


Figure 55 : Quadrats photographiques réalisés à -40 mètres – T5 montrant la présence localisée d'algues vertes filamenteuses (à gauche) et de zones de nécroses d'algues rouges (à droite).

Les algues rouges encroûtantes (69,7 %) forment la strate basse. Elles sont formées par des *Peyssonnelia sp. encroûtantes* (37,7 % du vivant, dominance par *Peyssonnelia polymorpha*) et des *Peyssonnelia sp. érigées* (1,8 %), des corallines *Mesophyllum alternans* (16,3 %) et *Lithophyllum sp.* (1,8 %, *L. stictaeforme* et *L. incrustans*). Présence d'algues rouges filamenteuses.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **bryozoaires** sont les éléments les plus importants de la faune avec des bryozoaires érigés (0,6 % - *Pentapora fascialis*, *Smittina cervicornis*, *Reteporella sp.*) et les bryozoaires encroûtants (0,9 %). On trouve ensuite des **éponges** (0,7 % des organismes vivants) avec notamment *Axinella sp.* qui forme la strate moyenne du coralligène.



Figure 56 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -40 mètres – T5.

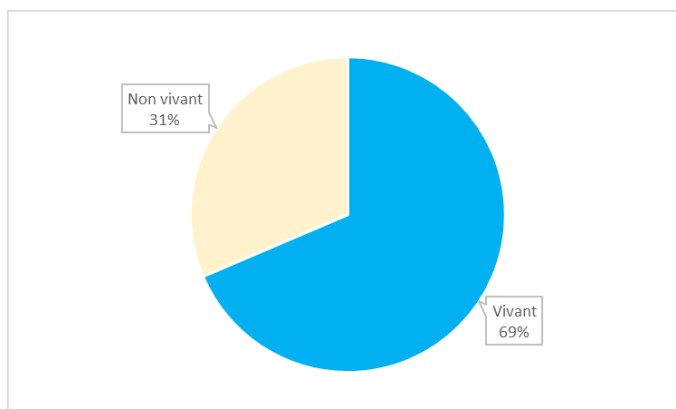
III.B.3.h. T6 après nettoyage

Sur la station à -40 mètres au T6 après nettoyage, les quadrats sont couverts à :

— 55,7 % par des organismes vivants (pourcentage proche de la moyenne régionale)

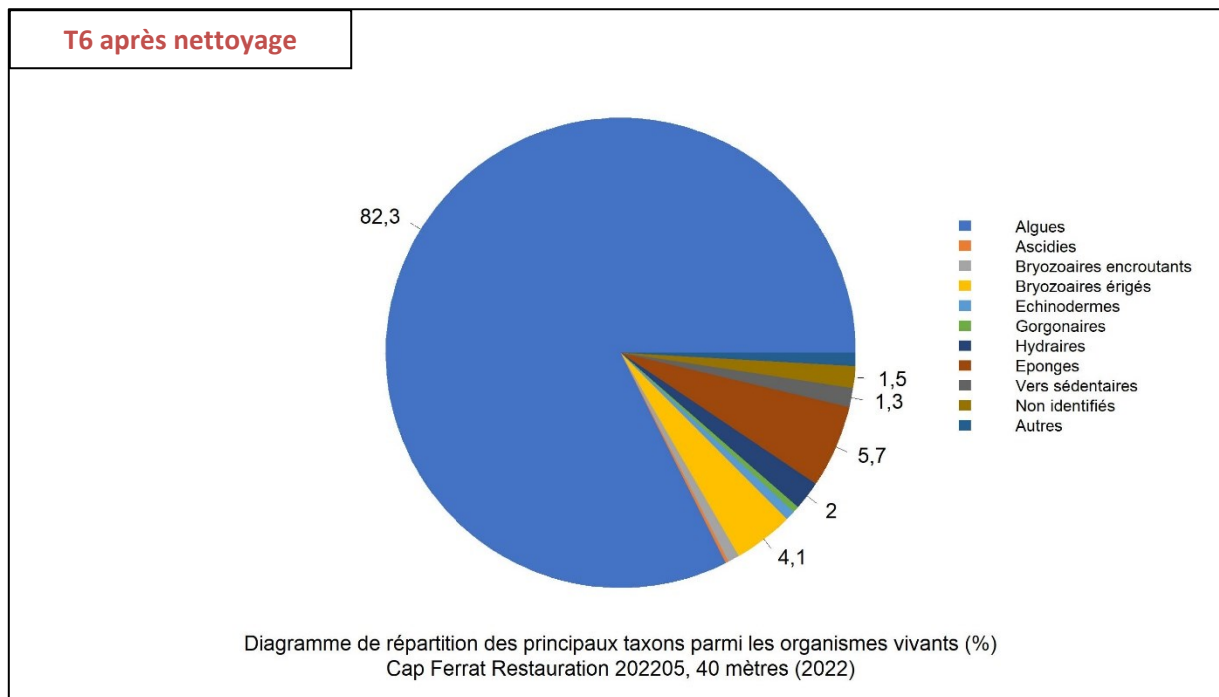
— 44,3 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (21,5 %, pourcentage inférieur à la valeur moyenne régionale), du **sable** (9,8 %), des **cavités** (4,8 %) et des **débris biologiques** (8,2 %).



Parmi les **55,7 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).

Les groupes du vivant les plus représentés sont les **algues**, les **bryozoaires** et les **éponges**.



Parmi le vivant (**recouvrement de 55,7 % de la surface des quadrats**) ce sont les **algues** qui dominent à -40 m (82,3 % des organismes vivants) avec des **algues brunes** (20,8 % des organismes vivants, constituées par des algues filamenteuses, des espèces non identifiées, *Zanardina typus*, *Dictyota dichotoma* et *Dictyota sp.*), des **algues vertes** (3,6 %, constituées par des algues filamenteuses) et des **algues rouges** (57,8 % - 6,0 % d'algues rouges nécrosées).

Les algues rouges encroûtantes forment la strate basse. Elles sont formées par des *Peyssonnelia sp. encroûtantes* (7,6 % du vivant) et des *Peyssonnelia sp. érigées* (6,3 %), des corallines *Mesophyllum alternans* (7,3 %) et *Lithophyllum sp.* (1,2 %, *L. cabiochae* et *L. incrustans*). Présence d'algues rouges filamenteuses.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre que les **éponges** (5,7 % des organismes vivants) sont les éléments les plus importants de la faune. Elles sont surtout représentées par des éponges encroûtantes (4,9 %) telles que *Spirastrella cunctatrix*, *Phorbastrellia tenacior*, espèces non identifiées) et des espèces massives (0,7 %) avec notamment *Cliona sp.* et *Axinella sp.* qui forme la strate moyenne du coralligène.

On trouve des **bryozoaires érigés** (4,2 % - dominance de *Crisia sp.*, *Pentapora fascialis*, *Turbicellepora avicularis*, *Reteporella sp.*, *Myriapora truncata*) et les **bryozoaires encroûtants** (0,8 %). Les **vers sédentaires** et les **hydrides** se développent à ce suivi.



Figure 57 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -40 mètres – T6.

III.B.3.a. Analyse comparative des quadrats sur la durée du projet, entre T-1 et T6

L'analyse comparative des 30 quadrats photographiques entre les quatre suivis réalisés à **-40 m** dans la **zone nettoyée** en Septembre 2018 montre que la **stratification du coralligène est similaire** entre le suivi T-1 avant nettoyage et les suivis post-nettoyage. Ainsi, la strate haute est formée par des gorgones jaunes *Eunicella cavolinii*. La strate moyenne est constituée par les éponges *Axinella sp.* avec des bryozoaires érigés, et la strate basse par des algues rouges encroûtantes *Peyssonnelia sp.* (majoritairement encroûtantes) et *Mesophyllum sp.* Parmi les organismes vivants **les algues dominent toujours la station**. Les autres groupes les plus représentés parmi le vivant sont les **bryozoaires, les éponges, les hydraires** aux suivis T3, T4, T6, et les **vers sédentaires** au suivi T6. Le corail rouge (*Corallium rubrum*) est absent sur cette station.

Des différences majeures entre les suivis sont relevées :

- Une **diminution de la proportion relative des algues filamenteuses au T0 après nettoyage**. Le sable et le récif qui ont été nettoyés par jet d'eau abritaient des algues filamenteuses (13,9 % des organismes vivants au T-1 avant nettoyage) qui ont donc disparu par le nettoyage. Elles apparaissent dès le T1 et varient au cours du temps. **Leur abondance relative est forte aux suivis T5 (30 %) et T6 (39 %) ;**
- Une **proportion relative plus élevée des espèces érigées au T1 post-nettoyage** par rapport aux deux suivis antérieurs (les bryozoaires érigés, les gorgones, les algues rouges érigées *Lithophyllum sp.* et *Peyssonnelia sp.*). L'abondance relative des bryozoaires érigés et *Peyssonnelia sp.* érigés augmente au cours des suivis post-nettoyage à partir de T1 (diminuent au suivi T5 mais augmentent de nouveau à T6), et à ces espèces érigées s'ajoutent les **hydraires** aux suivis T3, T4, T6 et les **vers sédentaires** au suivi T6. On relève aux T2 et T5 une diminution de la proportion relative des bryozoaires érigés qui peut être liée au fort pourcentage de recouvrement par la vase au T2 ou à celui des algues filamenteuses au T5.
- Une **biodiversité** (selon les indices de Simpson et de Shannon) **en légère augmentation au cours des suivis post-nettoyage**. Au T0 après nettoyage la biodiversité chute nettement, ce qui s'explique par la dominance des organismes vivants par les algues rouges encroûtantes non identifiées donc moins de diversité d'espèces qu'aux autres suivis post-nettoyage où les différentes espèces d'algues rouges ont été différenciées. Elle diminue légèrement au T5 (en lien avec l'augmentation du recouvrement par les algues filamenteuses).
- La présence de **nécroses des algues rouges encroûtantes à chaque suivi** dont l'abondance relative est supérieure à la moyenne régionale sur tous les suivis.
- Des **pourcentages de recouvrement par les cavités et les débris biologiques qui augmentent entre T-1 et T0 après nettoyage**. Ceci est lié aux opérations de nettoyage et de retrait des sédiments sur la zone située en-dessous vers -38 m. En effet, le nettoyage permet de dé-ensevelir et de mettre en lumière les débris biologiques formés consécutivement aux travaux de l'émissaire, et les cavités. Au suivi T6 on note la présence de nombreux débris biologiques (recouvrement : 8 %) situés à proximité du **filet de pêche maillant actif** observé sur la station lors des plongées.
- Un **pourcentage de recouvrement par le sable qui diminue** entre les « T-1 avant nettoyage » et les suivis post-nettoyage qui est lié aux opérations de nettoyage par jet d'eau.

Les tableaux suivants présentent une comparaison régionale (région Sud) de paramètres / indicateurs / taxons issus de l'analyse des quadrats photographiques sous CPCe entre les suivis T-1 et T6 sur la station à -40 m.



Tableau 5: Comparaison régionale de paramètres / indicateurs / taxons issus de l'analyse des quadrats sous CPCe. Les paramètres correspondant à des pourcentages de recouvrement sont notés dans l'intitulé des lignes, les autres sont des proportions relatives parmi les organismes vivants (en pourcentage). « T-1 » = T-1 avant nettoyage; « T0 » = T0 après nettoyage.

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	
Masse d'eau côtière	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Site	T-1	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Profondeur	40	40	40	40	40	40	40	40	
Année	2018	2018	2019	2019	2020	2020	2021	2022	
% recouvrement par le vivant	47.06	67.26	61.8	44.54	55.11	49.49	68.59	55.65	10.16 58.67 94.81
% recouvrement par le non vivant	52.94	32.74	38.2	55.46	44.89	50.51	31.41	44.35	5.19 41.33 89.84
% recouvrement par le sédiment	32.74	17.05	21.29	41.34	21.38	30.52	21.98	21.45	2.19 28.89 79.54
% recouvrement par les débris biologiques	1.67	1.62	3.69	1.94	8.24	2.82	1.89	8.19	0 1.97 14.77
% recouvrement par les cavités	2.16	1.15	4.6	1.78	2.93	6.7	6.66	4.79	0 5.45 22.21
% recouvrement par les macrodéchets	0.27	0	0	0.05	0	0.05	0	0	0 0.11 2.34
CAI	0.37	0.56	0.53	0.29	0.46	0.47	0.47	0.39	0.08 0.43 0.79
% recouvrement par les bryozoaires totaux	0.92	0	3.37	0.31	1.86	5.1	1	2.77	0 2.75 18.15
% recouvrement par les bioconstructeurs principaux	30.2	65.27	48.31	20.25	38.72	32.64	45.17	17.42	0.57 33.17 79.58
Indice de Simpson	0.83	0.79	0.76	0.72	0.87	0.83	0.88	0.89	0.37 0.8 0.95
Indice de Shannon	2.19	1.98	2.07	1.71	2.64	2.32	2.68	2.76	0.86 2.22 3.2
% Nécroses parmi le vivant	3.21	5.05	4.76	3.3	4.92	6.34	5.58	6.01	0 2.52 97.91
Indicateur de perturbation	13.89	0	9.52	6.12	2.9	6.34	29.94	39.9	0 8.77 91.69
% Algues filamenteuses	13.89	0	9.52	6.12	2.7	6.34	29.94	38.86	0 7.71 91.45
% Algues total	85.42	97.05	88.05	93.17	86.29	77.01	97.49	82.28	0 70.26 99.39

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	PACA	
Masse d'eau côtière	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Site	T-1	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Profondeur	40	40	40	40	40	40	40	40	
Année	2018	2018	2019	2019	2020	2020	2021	2022	
% Algues brunes	20.78	0	11.17	48.29	8.01	6.02	7.36	20.83	89.74 8.96
% Algues vertes	1.72	0	2.86	0	8.59	0.11	9.39	3.63	91.76 5.27
% Algues rouges	62.92	97.05	74.03	44.88	69.69	70.89	80.74	57.82	99.25 56.03
% Mesophyllum spp.	14.35	3.73	15.76	19.2	20.75	16.86	16.34	7.25	70.87 23.18
% Lithophyllum spp.	0.69	0	7.1	0.12	3.67	1.5	1.78	1.24	24.22 2.77
% Peyssonnelia sp. Érigées	2.64	0.23	2.51	4	6.37	7.95	3.16	6.32	55.99 6.69
% Peyssonnelia sp. Encroustantes	40.87	32.74	44.16	18.26	32.63	31.26	37.7	7.67	65.71 16.54
% Eponges	9.87	2.49	4.16	3.77	4.44	5.91	0.73	5.7	91.06 13.5
% Eponges massives	2.87	1.24	1.21	1.18	1.06	0.64	0.32	0.73	32.68 3.55
% Eponges encroustantes	7	1.24	2.94	2.59	3.38	5.26	0.4	4.97	66.07 9.94
% Axinella sp.	0.57	1.17	0.43	0.82	0.97	0.21	0.32	0.52	9.61 0.8
% Cliona spp.	0	0	0.35	0	0.1	0.21	0	0.31	5.96 0.37
% Gorgones	0.11	0.08	0.52	0.82	0.1	0.54	0	0.41	37.82 4.78
% Gorgones rouges	0	0	0	0.71	0	0	0	0	33.68 2.6
% Gorgones jaunes	0.11	0.08	0.17	0.12	0.1	0.54	0	0.1	21.09 1.72
% Corail rouge	0	0	0	0	0	0	0	0	31.5 0.4
% Bryozoaires encroustants	1.15	0	3.98	0.47	1.54	1.4	0.89	0.83	17.98 2.71
% Bryozoaires érigés	0.8	0	1.47	0.24	1.83	8.92	0.57	4.15	18.28 2.25



III.B.4. Station RECOR (-40 m)

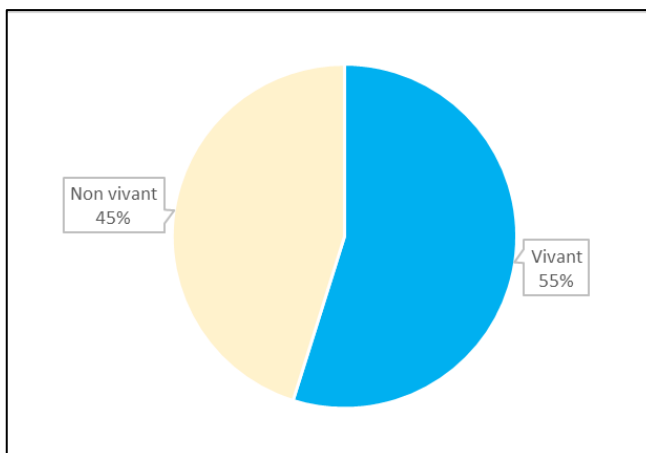
III.B.4.a. Station RECOR échantillonnée au T1 (juin 2019)

Sur la station RECOR à -40 mètres au T1 après nettoyage, les quadrats sont couverts à :

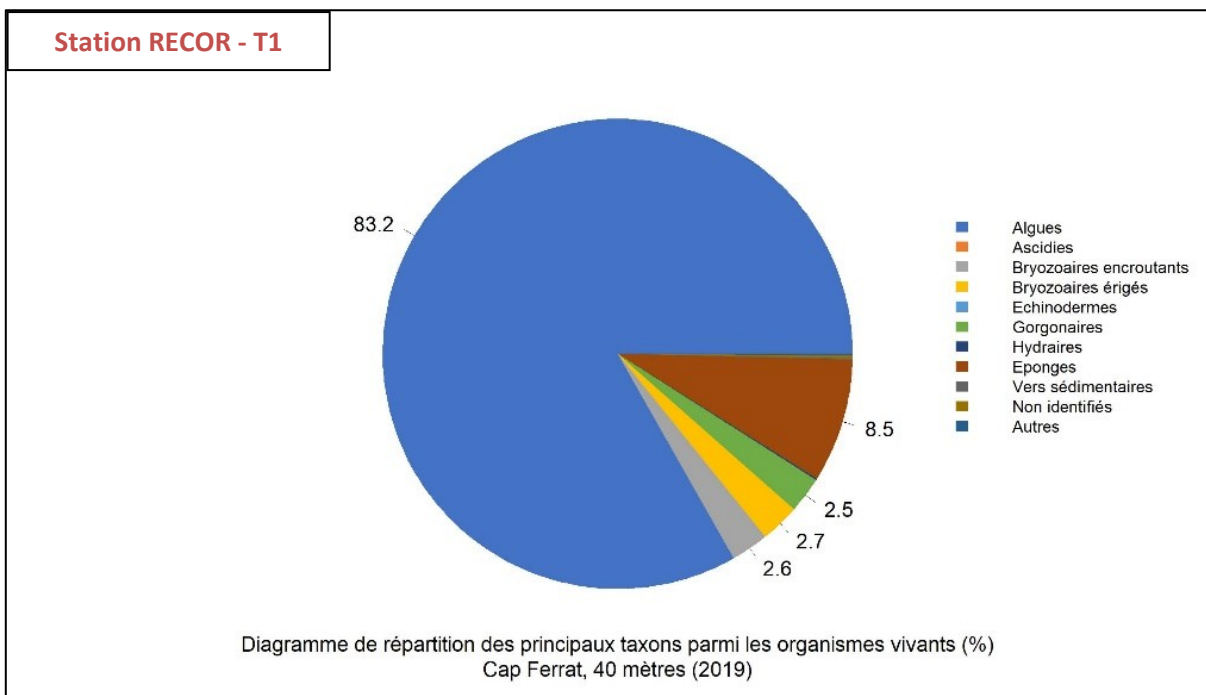
55 % par des organismes vivants (pourcentage proche de la valeur moyenne régionale)

45 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (33 %, pourcentage proche de la valeur moyenne régionale), **du sable** (4 %), des **cavités** (6 %) et des **débris biologiques** (2 %).



Parmi les **55 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).



Dans les quadrats, les groupes du vivant les plus représentés sont les **algues** qui dominent à -40 mètres (83,2 % des organismes vivants) avec essentiellement les algues rouges (71 %) représentées par les **peyssonneliacées qui forment la strate basse** (63 % des organismes vivants ; *Peyssonnelia sp.* encroûtantes majoritaires) et par quelques *Mesophyllum alternans*.

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre qu'à -40 mètres les **éponges** sont les éléments les plus importants de la faune (8,5 % du vivant ; peu d'espèces, dominance de *Spirastrella cunratrix* et des espèces encroûtantes non identifiées).

On trouve ensuite les **bryozoaires (5,4 %)** dont la moitié sont des bryozoaires érigés qui constituent la strate moyenne (espèces variées avec *Crisia sp.*, *Adeonella calveti*, *Pentapora fascialis*, *Reteporella sp.*, *Turbicellepora avicularis*).

Les gorgones (2,5 %) constituées par *Eunicella cavolinii* forment la strate haute.



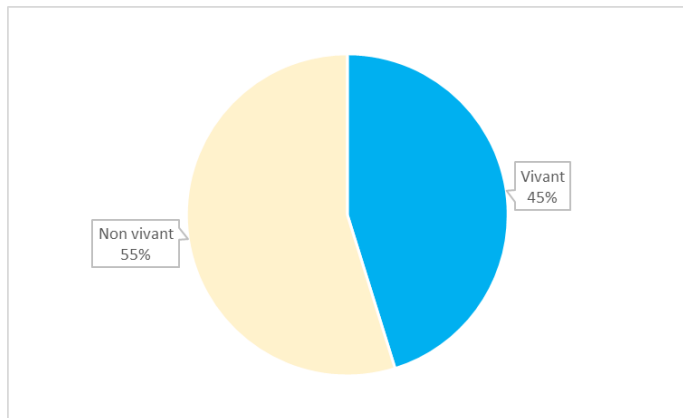
Figure 58 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -40 mètres – Station RECOR « Cap Ferrat » (T1).

III.B.4.b. Station RECOR échantillonnée au T6 (juin 2022)

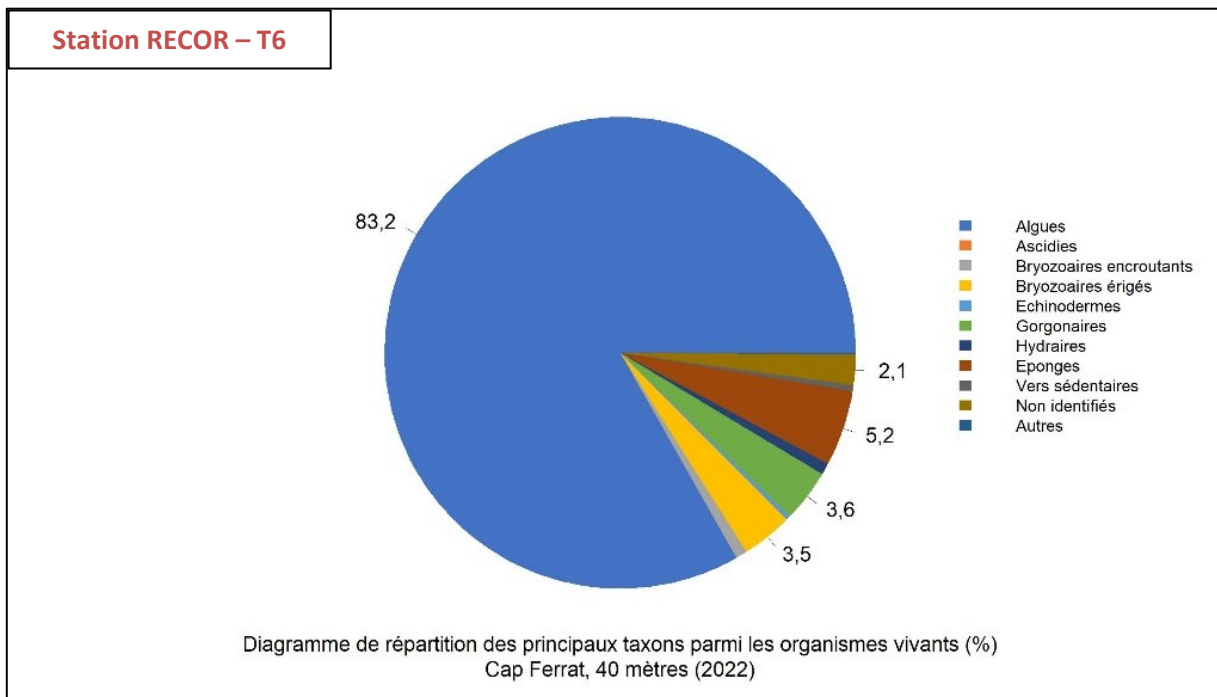
Sur la station RECOR à -40 mètres au T6 après nettoyage, les quadrats sont couverts à :

- 45 % par des organismes vivants (pourcentage inférieur à la valeur moyenne régionale)
- 55 % par du non vivant.

Le recouvrement par le non vivant comprend du **sédiment vaseux** (21 %, pourcentage proche de la valeur moyenne régionale), des **cavités** (5 %) et des **débris biologiques** (8 %).



Parmi les **45 % de vivant**, on s'intéresse aux groupes du vivant les plus représentés et aux proportions relatives de chacun (figure ci-dessous).



Le groupe du vivant le plus représenté est celui des **algues qui dominent à -40 mètres** (83,2 % des organismes vivants) avec des algues brunes (31,4 % - algues filamenteuses, *Dictyota dichotoma*, *Zanardinia typus*) et des algues rouges (50,5 % - 4,5 % d'algues rouges encroûtantes nécrosées). Elles sont représentées par les **peyssonneliacées qui forment la strate basse** (18,6 % de *Peyssonnelia sp.* encroûtantes, 5,7 % de *Peyssonnelia sp.* érigées) et par *Mesophyllum alternans* (12,8 %).

L'analyse de la répartition des grands groupes faunistiques montre qu'à -40 mètres les **éponges** sont les éléments les plus importants de la faune (5,2 % du vivant ; peu d'espèces, dominance de *Spirastrella cunctatrix* et des espèces encroûtantes non identifiées).

On trouve ensuite les **bryozoaires érigés (3,5 %) qui constituent la strate moyenne** (espèces variées avec *Crisia sp.*, *Adeonella calveti*, *Smittina cervicornis*, *Reteporella sp.*, *Turbicellepora avicularis*).

Les **gorgones (3,6 %) constituées par *Eunicella cavolinii* forment la strate haute**.

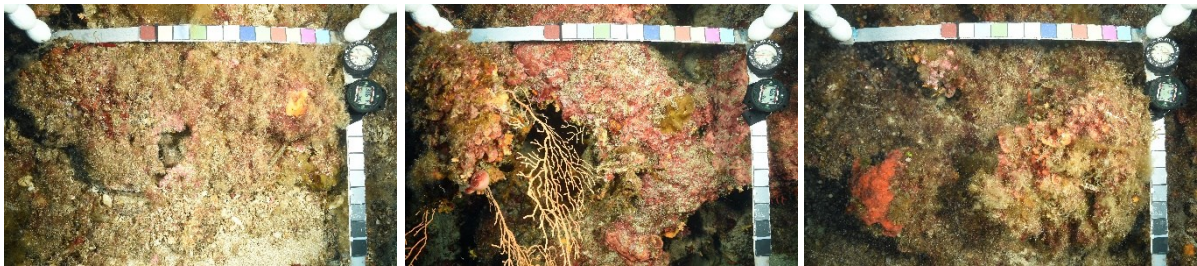


Figure 59 : Exemples de quadrats photographiques réalisés à -40 mètres – Station RECOR « Cap Ferrat » (T6).

III.B.4.a. Analyse comparative de la station RECOR et de la station RESCOR à -40 m

Une analyse comparative des 30 quadrats photographiques réalisés sur les stations RECOR « Cap Ferrat » et la station RESCOR à -40 m peut être réalisée car ces deux stations ont été échantillonnées à la même profondeur (-40 mètres) et la même période (Juin 2019 – T1 et juin 2022 – T6) (cf. tableau suivant).

Nous constatons une stratification du coralligène et des abondances relatives des principaux groupes dominants le vivant (algues, bryozoaires, éponges) très proches. Les principales différences relevées sont les suivantes :

- ↳ le **recouvrement par les débris biologiques qui est plus élevé sur la station nettoyée aux deux suivis que sur la station RECOR**. Au T1 cela s'explique car le nettoyage permet de dé-ensouiller et de mettre en lumière les débris biologiques formés consécutivement aux travaux de l'émissaire ; au T6 cela peut s'expliquer par la présence d'un **filet de pêche maillant actif** observé sur la station lors des plongées avec présence de débris à proximité.
- ↳ **Le pourcentage de nécroses des organismes qui est plus élevé sur la station nettoyée au T1 que sur la station RECOR**. Cela s'explique par le retrait des sédiments qui a permis de mettre en lumière quelques zones de récif coralligène nécrosé (anciennement récif vivant mais qui a été enseveli sous le sable à cause des travaux). Ce récif laisse apparaître des algues rouges encroûtantes nécrosées. En 2022, sur les deux stations, on observe plus de nécroses, dont l'apparition semble indépendante du nettoyage initial.
- ↳ le **recouvrement par le vivant qui est plus élevé sur la station nettoyée aux deux suivis que sur la station RECOR grâce à un pourcentage de sédimentation plus faible** (action de nettoyage ?).
- ↳ la proportion des gorgones plus faible sur la station nettoyée.
- ↳ la proportion des bioconstructeurs principaux (*Mesophyllum sp.* et *Lithophyllum sp.* notamment) plus élevés sur la station nettoyée au T1.

Tableau 6: Comparaison régionale de paramètres / indicateurs / taxons issus de l'analyse des quadrats sous CPCe. Les paramètres correspondant à des pourcentages de recouvrement sont notés dans l'intitulé des lignes, les autres sont des proportions relatives parmi les organismes vivants (en pourcentage).

Région	PACA	PACA	PACA	PACA	Échelle de comparaison Région PACA Légende
Masse d'eau côtière	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	FRDC10a	
Site	Cap Ferrat	Cap Ferrat	Cap Ferrat	Cap Ferrat	
Profondeur	40	40	40	40	
Année	2019	2019	2022	2022	
% recouvrement par le vivant	54.83	61.8	45.21	55.65	10.16 58.67 94.81
% recouvrement par le non vivant	45.17	38.2	54.79	44.35	5.19 41.33 89.84
% recouvrement par le sédiment	33.1	21.29	41.42	21.45	2.19 28.89 79.54
% recouvrement par les débris biologiques	2.3	3.69	3.91	8.19	0 1.97 14.77
% recouvrement par les cavités	5.77	4.6	4.46	4.79	0 5.45 22.21
% recouvrement par les macrodéchets	0	0	0.12	0	0 0.11 2.34
CAI	0.45	0.53	0.32	0.39	0.08 0.43 0.79
% recouvrement par les bryozoaires totaux	2.94	3.37	1.93	2.77	0 2.75 18.15
% recouvrement par les bioconstructeurs principaux	40.15	48.31	20.95	17.42	0.57 33.17 79.58
Indice de Simpson	0.8	0.76	0.89	0.89	0.37 0.8 0.95
Indice de Shannon	2.03	2.07	2.61	2.76	0.86 2.22 3.2
% Nécroses parmi le vivant	0.49	4.76	4.53	6.01	0 2.52 97.91
Indicateur de perturbation	4.48	9.52	23.57	39.9	0 8.77 91.69
% Algues filamenteuses	4.38	9.52	23.57	38.86	0 7.71 91.45
% Algues total	83.15	88.05	83.22	82.28	0 70.26 99.39
% Algues brunes	12.07	11.17	31.42	20.83	0 8.96 89.74
% Algues vertes	0.49	2.86	1.33	3.63	0 5.27 91.76
% Algues rouges	70.59	74.03	50.47	57.82	0 56.03 99.25
% Mesophyllum spp.	5.74	15.76	12.78	7.25	0 23.18 70.87
% Lithophyllum spp.	0.78	7.1	0.53	1.24	0 2.77 24.22
% Peyssonnelia sp. Érigées	10.61	2.51	5.73	6.32	0 6.69 55.99
% Peyssonnelia sp. Encroutantes	52.19	44.16	18.64	7.67	0 16.54 65.71
% Eponges	8.47	4.16	5.19	5.7	0 13.5 91.06
% Eponges massives	1.07	1.21	1.2	0.73	0 3.55 32.68
% Eponges encroutantes	7.4	2.94	3.99	4.97	0 9.94 66.07
% Axinella sp.	0.1	0.43	0.67	0.52	0 0.8 9.61
% Cliona spp.	0	0.35	0.13	0.31	0 0.37 5.96
% Gorgones	2.53	0.52	3.6	0.41	0 4.78 37.82
% Gorgones rouges	0	0	0	0	0 2.6 33.68
% Gorgones jaunes	2.53	0.17	3.46	0.1	0 1.72 21.09
% Corail rouge	0	0	0.13	0	0 0.4 31.5
% Bryozoaires encroutants	2.63	3.98	0.8	0.83	0 2.71 17.98
% Bryozoaires érigés	2.73	1.47	3.46	4.15	0 2.25 18.28



III.B.5. Evolution du pourcentage de vivant/non vivant

Nous évaluons le **pourcentage de recouvrement par le vivant et par le non vivant** pour chaque station entre le T-1 en octobre 2018 et le T6 en mai 2022 (figures suivantes).

Pour la **station nettoyée à -36 m**, nous constatons que le pourcentage de vivant diminue d'environ 15 % entre le T-1 avant nettoyage et le T0 après nettoyage (disparition des algues filamenteuses présentes sur le récif avec les actions de nettoyage), puis qu'il augmente au T1 d'environ 5 % et se stabilise jusqu'au T6 avec des variations de l'ordre de 5 % environ d'un suivi à l'autre :

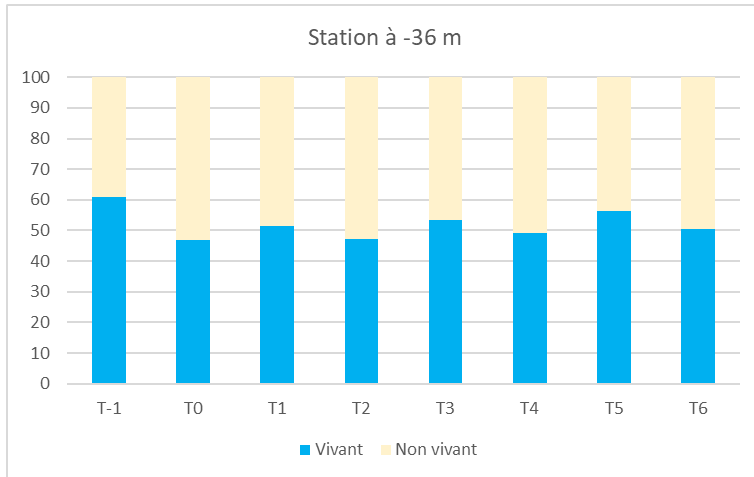


Figure 60 : Evolution des pourcentages de recouvrement par le vivant et par le non vivant à -36 m à chaque suivi.

Pour la **station désensévelisée (retrait de sédiments et nettoyage) à -38 m**, le pourcentage de vivant augmente fortement (+ 50 %) entre le T-1 avant désensévelissement et le T0 après désensévelissement qui est lié à l'apparition d'algues rouges nécrosées (catégorisées dans le protocole CPCe en « vivant ») sur le récif désensévelisé. Il diminue au T1 d'environ 30 % (en lien avec l'augmentation du recouvrement naturel par les sédiments) puis augmente à chaque suivi post- désensévelissement jusqu'au T5 (recolonisation naturelle du substrat par des organismes vivants). Il est stable entre le T5 et le T6 :

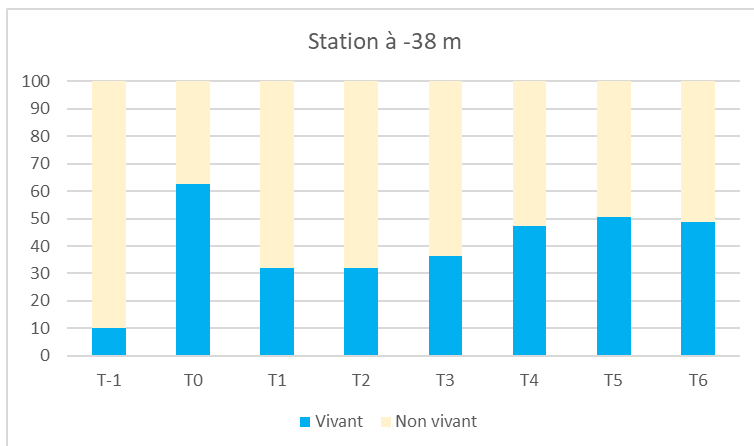


Figure 61 : Evolution des pourcentages de recouvrement par le vivant et par le non vivant à -38 m à chaque suivi.

Pour la **station nettoyée à -40 m**, le pourcentage de vivant augmente de 20 % entre le T-1 avant nettoyage et le T0 après nettoyage (diminution du recouvrement par le sable lié aux opérations de nettoyage par jet d'eau), puis il varie toujours en lien avec l'évolution du pourcentage de recouvrement naturel par les sédiments et la saison. Aux suivis de printemps/été (T1, T3, T5, T6) le pourcentage de vivant est plus élevé qu'à l'automne/hiver (T2, T4) tandis que le pourcentage de recouvrement par les sédiments suite la tendance inverse.

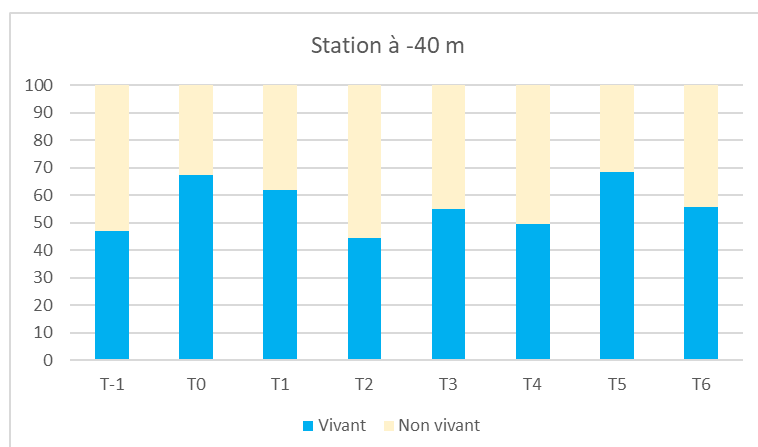


Figure 62 : Evolution des pourcentages de recouvrement par le vivant et par le non vivant à -40 m à chaque suivi.

III.B.6. Conclusion

Trois stations ont été échantillonnées dans le cadre du projet RESCOR :

- ✎ **A -36 m**, les quadrats photographiques ont été réalisés au-dessus de la zone restaurée. Un nettoyage des sédiments présents dans cette zone a été réalisé par jet d'eau ;
- ✎ **A -38 m**, les quadrats photographiques ont été réalisés dans la zone restaurée à droite de l'émissaire (retrait de sédiments = désensivellement et nettoyage par jet d'eau) ;
- ✎ **A -40 m**, les quadrats photographiques ont été réalisés en bas de la zone restaurée (à gauche de l'émissaire). Un nettoyage des sédiments présents dans cette zone a été réalisé par jet d'eau.

Une **station du réseau RESCOR se trouve à -40 mètres à proximité de la zone du projet**. Elle a été suivie en Juin 2019 au moment du T1 et en Juin 2022 au moment du T6.

L'analyse des quadrats photographiques réalisés sur l'ensemble des stations montre que les **algues dominent toujours les organismes vivants**.

Sur les **deux stations nettoyées** (à -36 m et à -40 m), la **stratification du coralligène est similaire jusqu'au T2** : la strate haute est formée par des gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* ; la strate moyenne est constituée par les éponges *Axinella sp.* et/ou des bryozoaires érigés, et la strate basse par des algues rouges encroûtantes (*Peyssonnelia sp.* majoritaires). Aux suivis T3, T4, T6 (station à -40 m) et T4 (station à -36 m), la strate moyenne est complétée par des **hydriaires** (ils constituent un des trois groupes faunistiques dominants le vivant de ces deux stations).

La **station désensivelée et nettoyée** (à -38 m) comprend essentiellement du **récif coralligène nécrosé**, désensivelé par les opérations. Une stratification s'établit au cours des suivis post-désensivellement : une strate moyenne constituée par des **bryozoaires érigés** (aux suivis T1, T3, T4, T5, T6), d'**ascidies** (uniquement à T2), d'**hydriaires** (aux suivis T1, T3, T4, T6), de **vers sédentaires** (suivi T6) et de **gorgones jaunes** (suivi T6). A partir du suivi T2, une strate basse apparaît également à travers la colonisation du récif par les *Peyssonnelia sp.* encroûtantes suivies par les corallines *Mesophyllum sp.*



L'analyse des quadrats photographiques des trois stations RESCOR montre les éléments suivants :

- La proportion relative des **algues filamenteuses (algues brunes) présentes sur le récif coralligène à -36 et -40 m et sur le sable à -38 m diminue très nettement au premier suivi post-nettoyage**, grâce au nettoyage par jet d'eau. En effet, le sable et le récif qui ont été nettoyés par jet d'eau abritaient des algues brunes filamenteuses qui ont donc disparu par le nettoyage.
- A partir du suivi T2, on observe des abondances plus élevées des algues filamenteuses qui recolonisent les stations à -36 et -38 m. Cette colonisation ne semble pas être saisonnière puisque les algues filamenteuses sont observées à l'automne (T2), au printemps (T3, T5, T6) et en hiver (T4), et augmentent sur les deux stations au cours des suivis successifs. La proportion d'algues rouges filamenteuses augmente progressivement entre T2 et T6 tandis que celle des algues brunes filamenteuses suit la tendance inverse.
- **Le pourcentage de recouvrement par le sable diminue** entre le T-1 et le T0, notamment sur la station à -38 m, grâce aux opérations de retrait des sédiments. La forte diminution du recouvrement par le sable entraîne une **augmentation par les débris biologiques** (qui étaient recouverts par le sable à cause des travaux sur l'émissaire). A noter la présence ç -40 m au T6 de débris biologiques sûrement en lien avec la présence d'un filet de pêche maillant.
- **Le pourcentage de recouvrement par le vivant augmente sur les trois stations** entre le T-1 et le T0 (notamment sur la station désenséveli à -38 m), grâce aux opérations de retrait des sédiments et de nettoyage. Le pourcentage de recouvrement par le vivant augmente dès le suivi T1 sur la station désenséveli à -38 m, et se stabilise entre T5 et T6.
- La **proportion relative des espèces érigées augmente généralement aux suivis post-nettoyage**. Grâce au nettoyage, les algues filamenteuses qui recouvraient le substrat et les espèces (dont les érigées) ont disparu permettant aux espèces érigées d'être bien visibles.
- **Les pourcentages de recouvrement par le sédiment vaseux et les débris biologiques augmentent** sur les stations à -36 et -38 m entre les suivis avant et après nettoyage, qui sont sûrement liés aux opérations de nettoyage et de retrait des sédiments. En effet, la remise en suspension de particules provoque une légère augmentation de l'envasement et le nettoyage permet de désensévelir et de mettre en lumière les débris biologiques formés consécutivement aux travaux de l'émissaire. Ces pourcentages de recouvrement semblent ensuite se stabiliser.
- Une **biodiversité de la station qui augmente au cours des suivis post-nettoyage** selon les indices de Simpson et de Shannon grâce aux actions de nettoyage (plus de diversité d'espèces visibles). En revanche au T5 celle-ci diminue en lien avec le développement des algues filamenteuses (moins de diversité d'espèces car couvertes par ces algues).
- **Les algues rouges *Peyssonnelia sp.* (surtout de type érigé), les bryozoaires érigés (dès le suivi T1), les ascidies (uniquement au suivi T2), les bryozoaires encroûtants (au suivi T3 principalement), puis les hydraires (aux suivis T3, T4, T6), les vers sédentaires (au suivi T6), les gorgones (au suivi T6) semblent être les groupes taxonomiques à s'installer le plus rapidement sur le substrat désenséveli à -38 m.**

Concernant les bryozoaires érigés, les analyses des quadrats photographiques sur la station désenséveli à -38 m montrent une colonisation par les *Reteporella sp.* au T1, suivis par les *Pentapora fascialis* plus marquée aux T3 et T4, et les *Crisia sp.* plus marquée aux T3, T4 et T6. Une récente étude a mis en évidence le succès des bryozoaires durant les premières phases de recolonisation de récifs impactés par l'homme, et en particulier des bryozoaires *Reteporella sp.* qui ont montré un établissement étendu et rapide sur les récifs coralligènes nus soumis au naufrage du Costa Concordia (Casoli et al., 2020) en deux années. Des taux de recrutement élevés et rapides après des événements de perturbation ont été signalés pour les bryozoaires érigés *Pentapora fascialis* (Casoli et al., 2020).

III.C. Quadrats permanents

14 quadrats permanents d'1 m² matérialisés par des balises blanches sont établis dans la partie Est de l'émissaire. Ils se divisent en deux catégories : les quadrats dits « nettoyés » (balises 2, 4, 5, 6, 10, 14) et les quadrats dits « désensevelis » (balises 1, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13). Chacun de ces quadrats est positionné sur la figure ci-dessous (modèle 3D de la zone du projet – vue au suivi T5 en 2021).

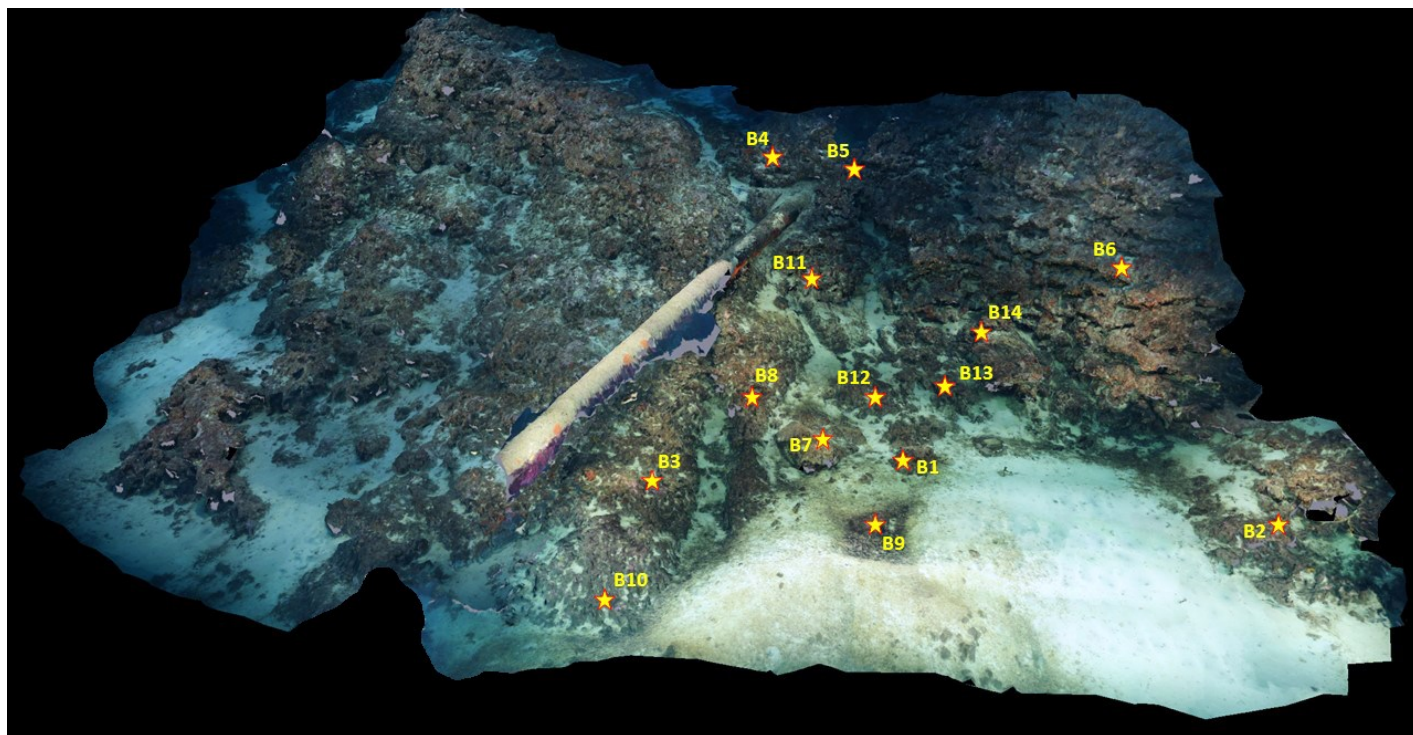


Figure 63 : Localisation des 14 quadrats permanents RESCOR matérialisés par des étoiles jaunes ©Andromède Océanologie, 2021.

Le tableau suivant présente les dates et noms des quadrats permanents suivis depuis le début du projet RESCOR.

Tableau 7 : Suivi RESCOR – Quadrats permanents (date d'acquisition et balises suivies).

SUIVI RESCOR		QUADRATS PERMANENTS	
Suivi		Date	Nombre total de Balises suivies
Avant désensevelissement / nettoyage	T-1	25/09/2018	13 (manque B2)
	T0	01/10/2018	14 : B1 à B14
	T1	11/06/2019	
	T2	25/09/2019	
	T3	08/05/2020	
	T4	7/12/2020	
Après désensevelissement / nettoyage	T5	29/11/2021	12 (manque B3 et B5)
	T6	27/05/2022	12 (manque B2 et B9)

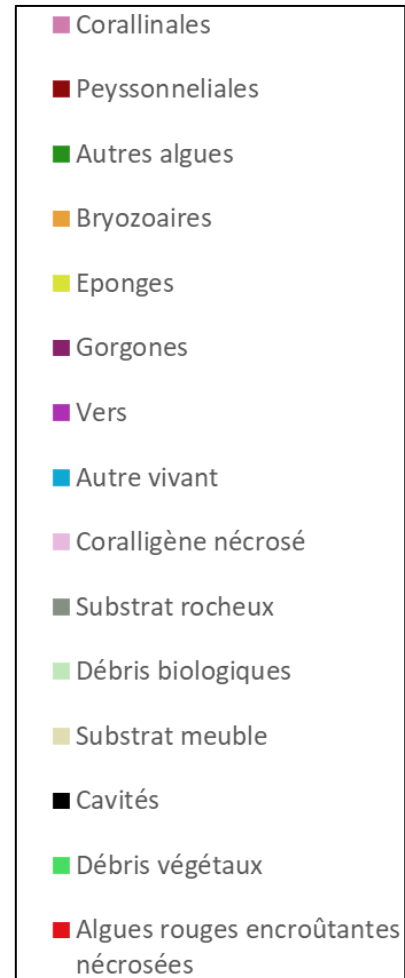


Remarque : Au suivi T4, des acquisitions photogrammétriques ont été réalisées mais leur qualité n'a pas permis l'export des quadrats permanents. Cependant, afin de rester cohérent avec les quadrats photographiques (partie précédente) et pouvoir comparer les résultats obtenus avec les deux méthodes (quadrats photographiques vs quadrats permanents issus de la photogrammétrie) nous avons conservé les mêmes intitulés de suivi.

A chaque période suivie (T-1, T0, T1, ..., T6), différentes **catégories du vivant** (Corallinales, Peyssonneliales, Autres algues, Bryozoaires, Eponges, Gorgones, Vers, Autre Vivant) et **du non vivant** (Coralligène nécrosé, Substrat rocheux, Débris biologiques, Débris végétaux, Substrat meubles, Cavités, Algues rouges encroûtantes nécrosées) ont été dessinées manuellement sous le logiciel **Adobe Photoshop®** sur chaque quadrat permanent.

Les données ont ensuite été comparées dans le temps en termes de surfaces couvertes et de diversité d'espèces. Nous avons obtenu par ce travail le pourcentage de recouvrement de chaque catégorie pour les **six quadrats nettoyés** et les **huit quadrats désensevelis**. Les données brutes de chaque quadrat sont disponibles en annexe.

Les parties suivantes présentent, pour les quadrats nettoyés puis les quadrats désensevelis, les **résultats de l'évolution des pourcentages de recouvrement des catégories à chaque suivi** depuis le début du projet RESCOR : 1/ sous forme de tableaux et 2/ sous forme de visuels avec la photographie du quadrat et le dessin des catégories du vivant et du non vivant correspondant (les couleurs de chaque catégorie sont indiquées dans la légende ci-contre).



III.C.1. Quadrats nettoyés

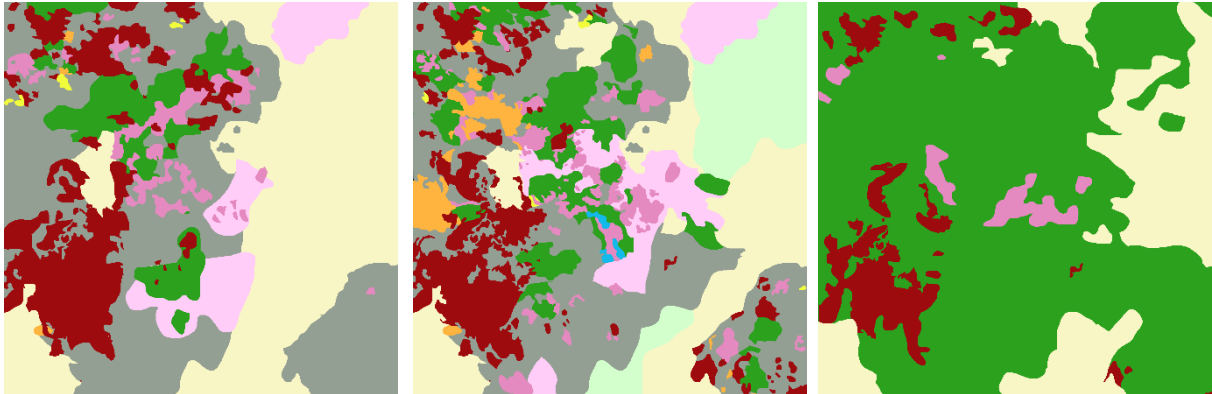
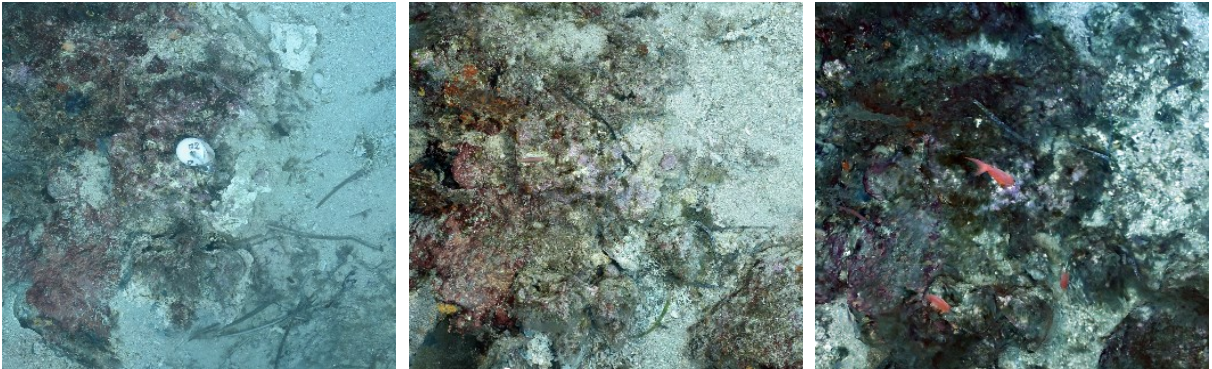
Tableau 8 : Pourcentages moyens de recouvrement du vivant et du non vivant pour les quadrats permanents nettoyés (2, 4, 5, 6, 10, 14) entre T-1 et T6 après nettoyage.

QUADRATS NETTOYES (2, 4, 5, 6, 10, 14)		VIVANT								
Suivi	Valeurs	Corallinales	Peyssonneliales	Autres algues	Bryozoaires	Eponges	Gorgones	Vers	Autre vivant	Vivant total
T-1 avant nettoyage	Moyenne (%)	3,1	11,4	31,1	0,4	0,1	1,0	0,0	0,1	47,2
	Ecartype type	2,2	4,2	22,1	0,2	0,1	1,3	0,0	0,1	
T0 après nettoyage	Moyenne (%)	4,6	15,6	8,5	0,3	0,3	1,7	0,0	0,1	31,0
	Ecartype type	2,3	7,5	9,3	0,3	0,4	3,7	0,0	0,1	
T1	Moyenne (%)	4,5	15,8	19,8	1,0	0,3	1,3	0,0	0,3	43,0
	Ecartype type	1,3	7,6	11,7	1,0	0,2	2,7	0,0	0,2	
T2	Moyenne (%)	2,9	7,0	60,4	0,3	0,0	2,0	0,0	0,0	72,7
	Ecartype type	1,9	5,1	17,9	0,5	0,1	4,0	0,0	0,1	
T3	Moyenne (%)	6,6	15,2	14,3	1,0	0,2	1,9	0,0	1,0	40,2
	Ecartype type	3,6	6,7	7,9	0,9	0,2	4,1	0,0	0,9	
T5	Moyenne (%)	3,8	14,8	40,8	0,5	0,4	3,1	0,0	0,4	63,7
	Ecartype type	1,8	7,7	13,3	0,3	0,6	6,8	0,0	0,3	
T6	Moyenne (%)	3,7	21,4	45,2	0,5	0,4	3,1	0,0	0,5	74,8
	Ecartype type	2,6	13,6	18,0	0,3	0,6	6,4	0,0	0,5	

QUADRATS NETTOYES (2, 4, 5, 6, 10, 14)		NON VIVANT							
Suivi	Valeurs	Coralligène nécrosé	Substrat rocheux	Débris biologiques	Substrat meuble	Cavités	Débris végétaux	Algues rouges encroûtantes nécrosées	Non Vivant total
T-1 avant nettoyage	Moyenne (%)	0,0	21,6	0,3	29,1	1,8	0,0	0,0	52,8
	Ecartype type	0,0	24,5	0,6	26,5	4,0	0,0	0,0	
T0 après nettoyage	Moyenne (%)	12,0	33,6	0,5	21,5	1,5	0,0	0,0	69,1
	Ecartype type	26,0	21,9	1,1	23,3	3,7	0,1	0,0	
T1	Moyenne (%)	11,2	23,5	2,8	18,0	1,6	0,0	0,1	57,0
	Ecartype type	20,9	14,0	4,7	12,2	3,8	0,0	0,1	
T2	Moyenne (%)	2,1	7,8	0,0	15,8	1,6	0,0	0,1	27,4
	Ecartype type	5,0	8,5	0,0	12,0	3,9	0,0	0,2	
T3	Moyenne (%)	5,5	27,1	2,1	20,6	1,7	2,2	0,5	59,8
	Ecartype type	10,8	14,2	4,5	14,4	4,2	4,1	0,9	
T5	Moyenne (%)	0,7	10,3	0,0	18,2	1,9	4,7	0,4	36,3
	Ecartype type	1,1	8,9	0,0	5,7	4,3	6,9	0,4	
T6	Moyenne (%)	0,0	8,5	0,2	12,7	1,9	0,6	1,3	25,2
	Ecartype type	0,0	5,1	0,4	7,2	4,3	1,4	1,2	



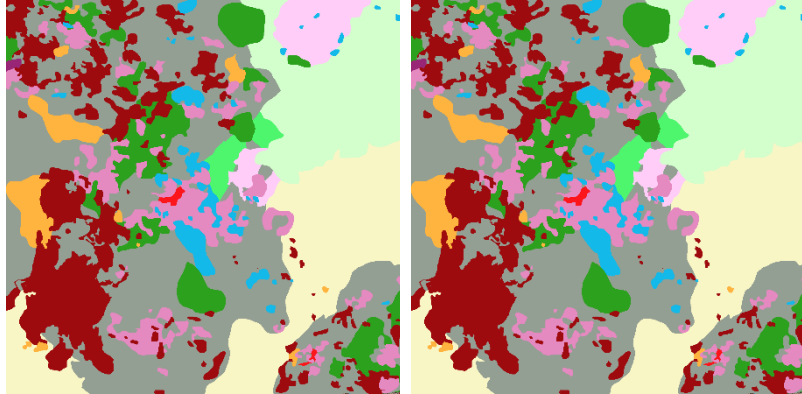
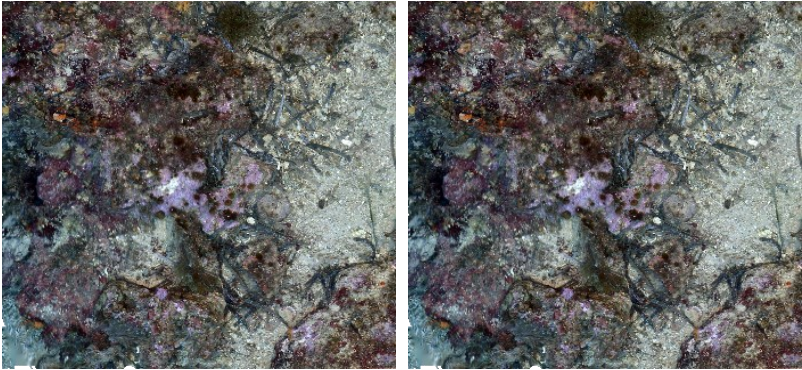
Quadrat 2



T0 après nettoyage

T1

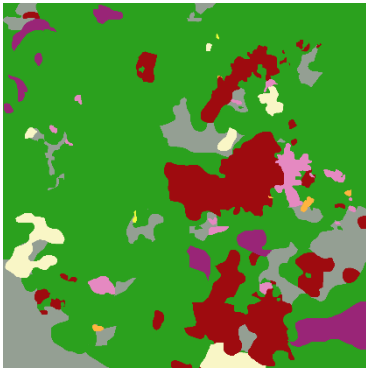
T2



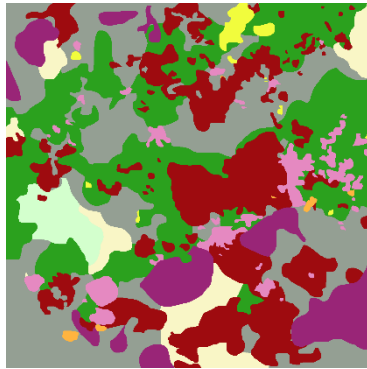
T3

T5

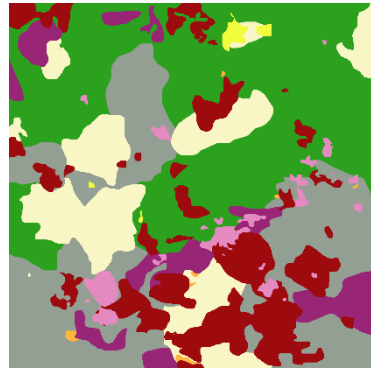
Quadrat 4



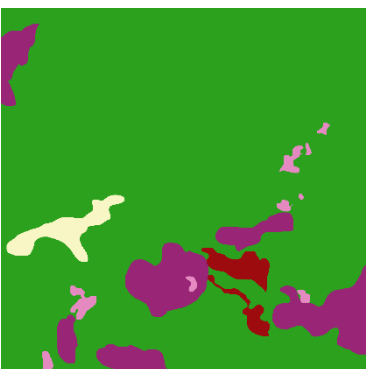
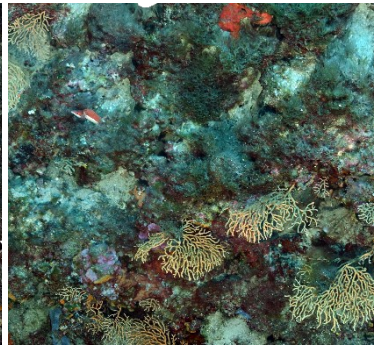
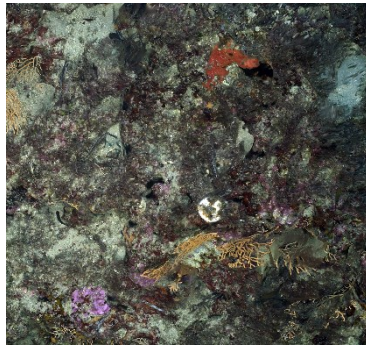
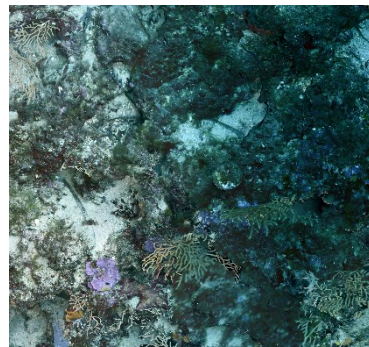
T-1 avant nettoyage



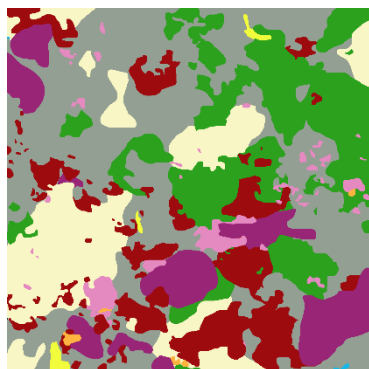
T0



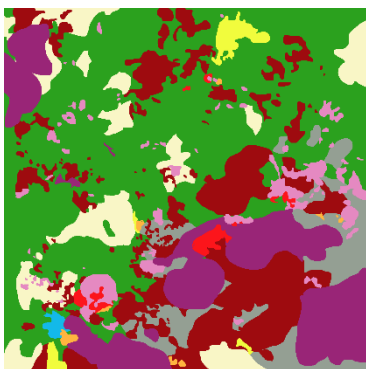
T1



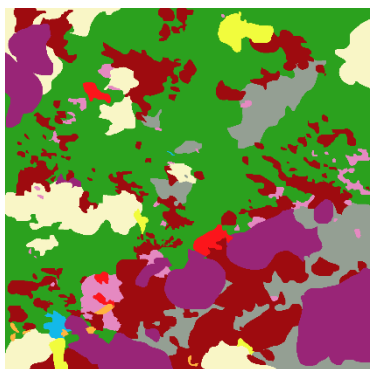
T2



T3



T5



T6



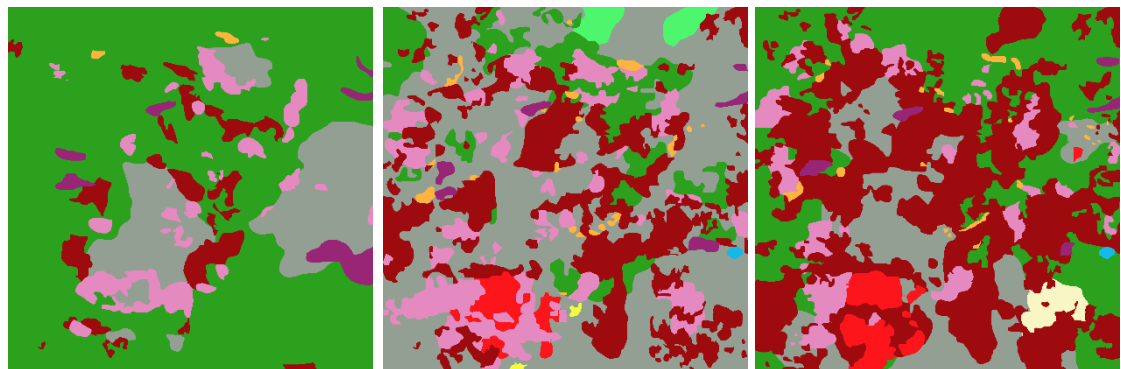
Quadrat 5



T-1 avant nettoyage

T0

T1

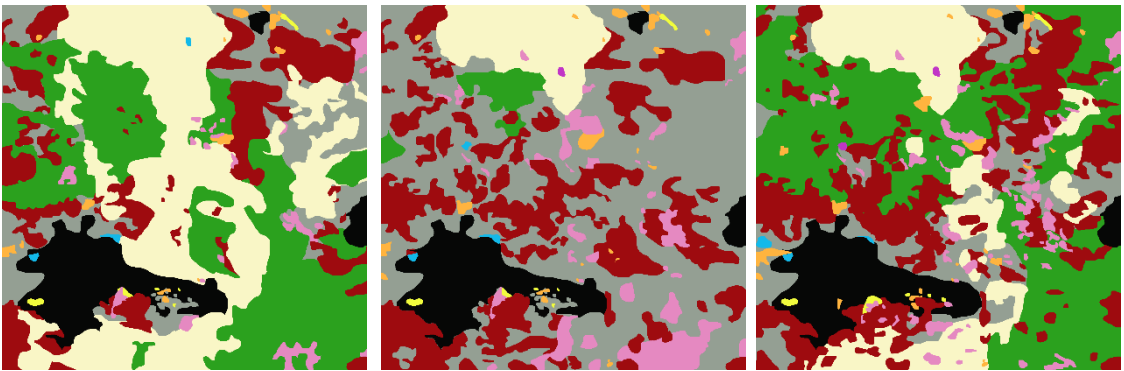
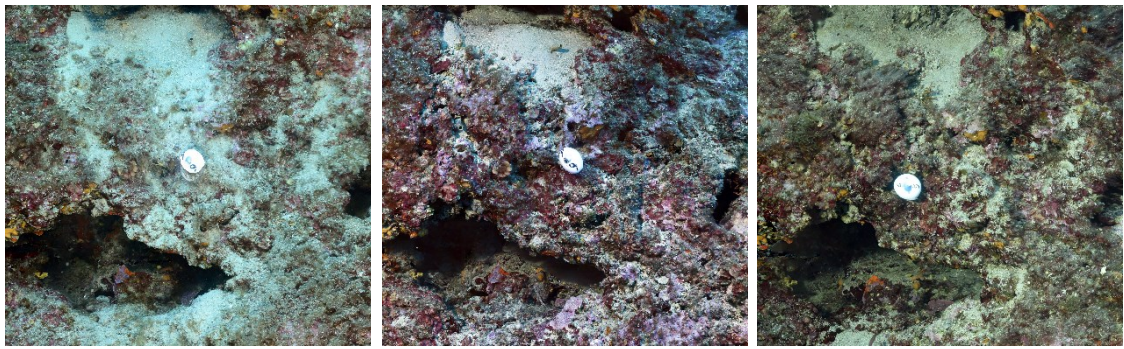


T2

T3

T6

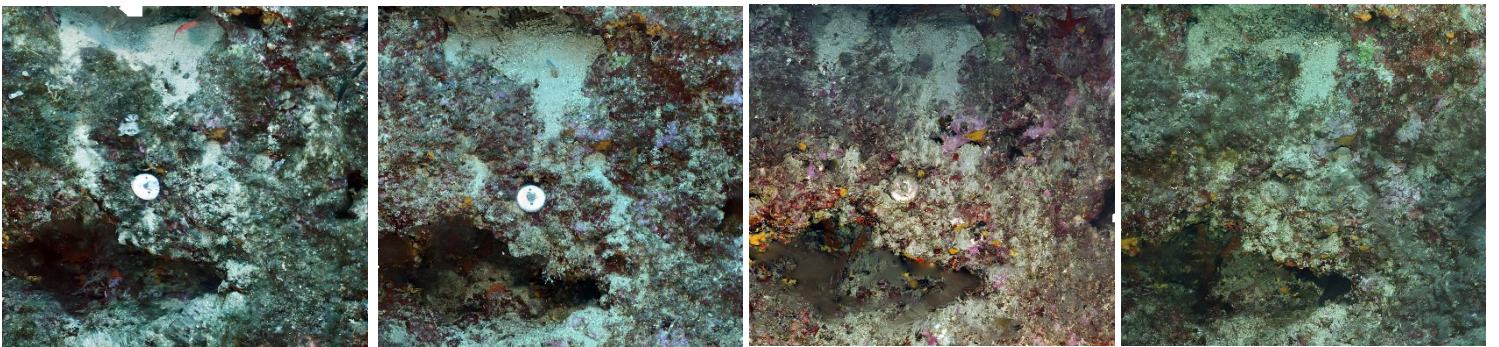
Quadrat 6



T-1 avant nettoyage

T0

T1



T2

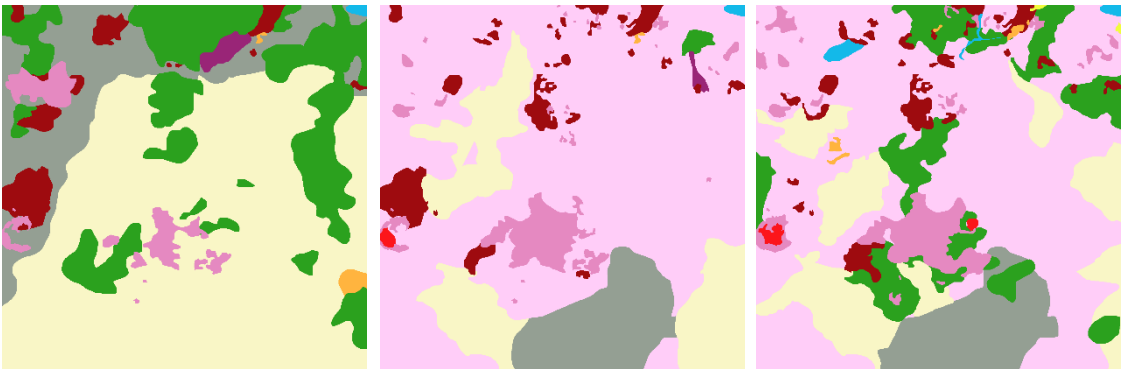
T3

T5

T6



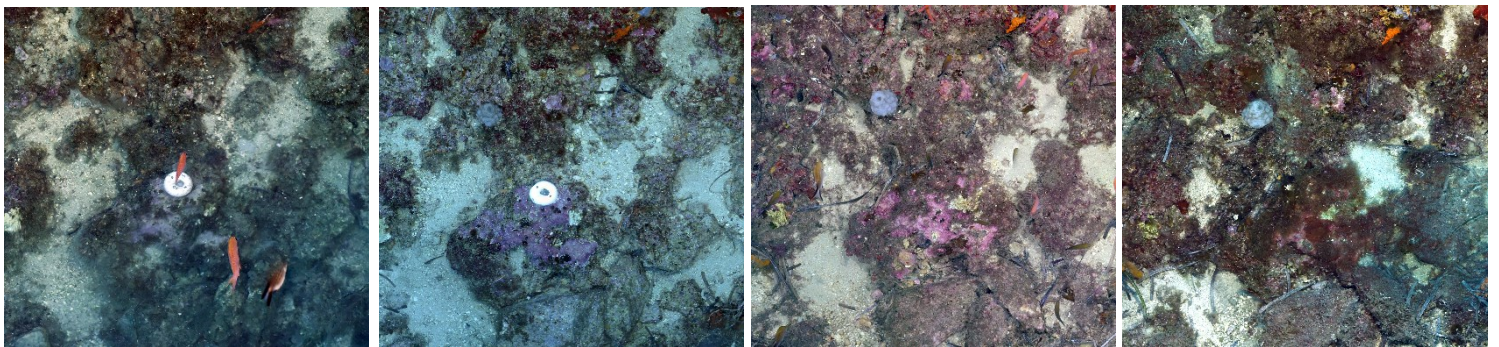
Quadrat 10



T-1 avant nettoyage

T0

T1



T2

T3

T5

T6

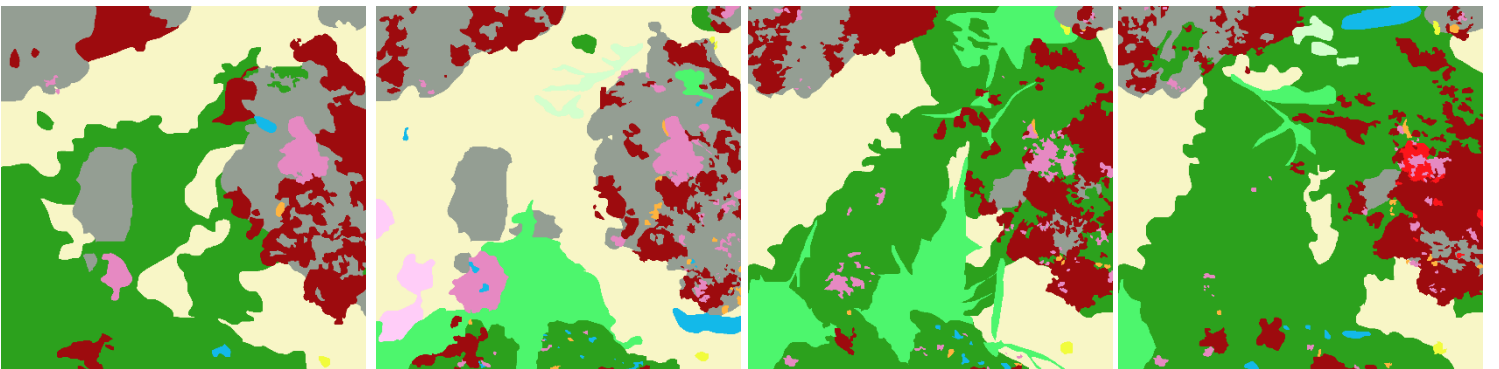
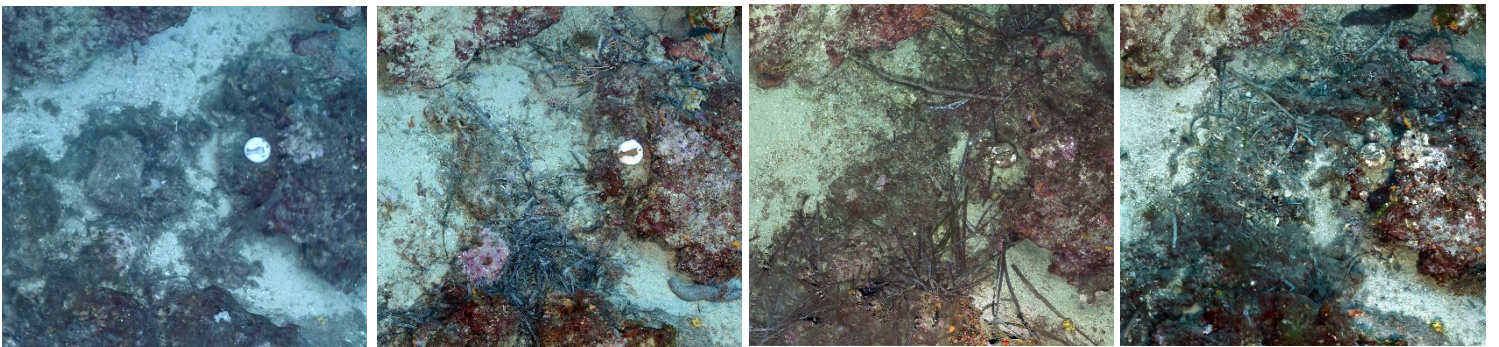
Quadrat 14



T-1 avant nettoyage

T0

T1



T2

T3

T5

T6



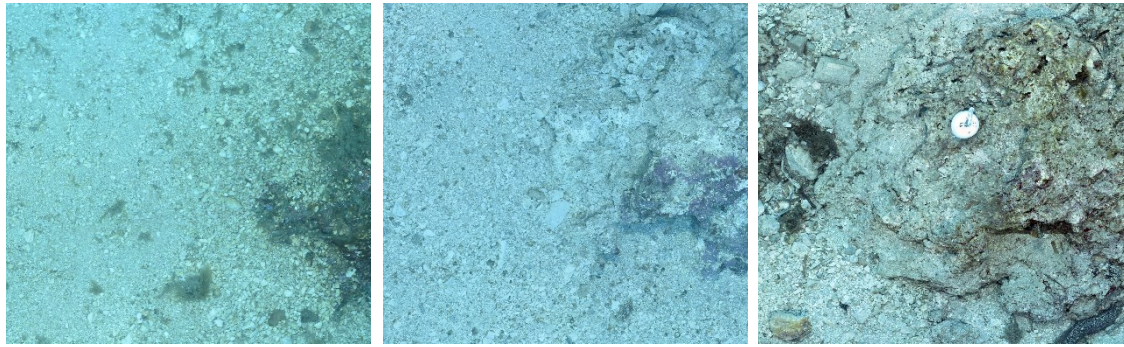
III.C.2. Quadrats désensévelis

Tableau 9 : Pourcentages moyens de recouvrement du vivant et du non vivant pour les quadrats permanents désensévelis (1, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13) entre T-1 et T6 après désensévelissement.

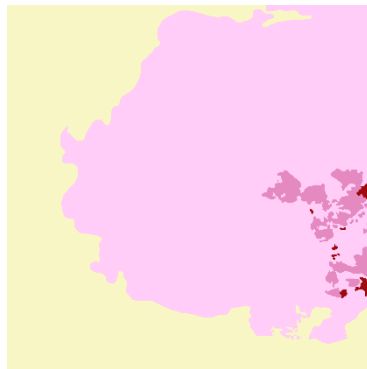
QUADRATS DESENSEVELIS (1, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13)		VIVANT								
Suivi	Valeurs	Corallinales	Peyssonneliales	Autres algues	Bryozoaires	Eponges	Gorgones	Vers	Autre vivant	Vivant total
T-1 avant désensévelissement	Moyenne (%)	0,8	0,1	13,7	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	14,9
	Ecartype type	2,1	0,1	19,5	0,3	0,0	0,5	0,0	0,1	
T0 après désensévelissement	Moyenne (%)	2,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	3,4
	Ecartype type	4,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1	
T1	Moyenne (%)	3,1	0,6	5,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	9,3
	Ecartype type	4,4	0,7	9,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,3	
T2	Moyenne (%)	1,4	0,4	51,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	53,6
	Ecartype type	2,4	0,6	14,7	0,1	0,1	0,0	0,0	0,9	
T3	Moyenne (%)	4,8	0,6	16,6	0,7	0,0	0,0	0,0	1,3	24,0
	Ecartype type	4,9	0,6	15,8	0,6	0,1	0,1	0,1	1,0	
T5	Moyenne (%)	2,5	0,4	60,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	64,0
	Ecartype type	3,0	0,6	17,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	
T6	Moyenne (%)	1,3	1,3	71,0	0,5	0,0	0,0	0,2	0,1	74,5
	Ecartype type	1,3	1,7	12,0	0,3	0,0	0,0	0,4	0,2	

QUADRATS DESENSEVELIS (1, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13)		NON VIVANT							
Suivi	Valeurs	Coralligène nécrosé	Substrat rocheux	Débris biologiques	Substrat meuble	Cavités	Débris végétaux	Algues rouges encroûtantes nécrosées	Non Vivant total
T-1 avant désensévelissement	Moyenne (%)	0,0	0,0	0,0	85,1	0,0	0,0	0,0	85,1
	Ecartype type	0,0	0,0	0,0	19,5	0,0	0,0	0,0	
T0 après désensévelissement	Moyenne (%)	67,9	11,2	1,2	16,3	0,0	0,0	0,0	96,6
	Ecartype type	22,6	12,9	2,9	14,8	0,0	0,0	0,0	
T1	Moyenne (%)	62,3	11,5	1,6	15,3	0,0	0,0	0,0	90,7
	Ecartype type	20,4	13,0	4,5	7,3	0,0	0,0	0,0	
T2	Moyenne (%)	24,8	7,7	0,7	13,3	0,0	0,0	0,0	46,4
	Ecartype type	17,6	10,0	1,8	6,4	0,0	0,0	0,0	
T3	Moyenne (%)	43,1	6,9	0,0	19,6	0,0	6,4	0,1	76,0
	Ecartype type	25,2	15,6	0,0	10,8	0,0	10,6	0,1	
T5	Moyenne (%)	8,9	6,1	0,0	18,1	0,0	2,9	0,0	36,0
	Ecartype type	5,9	14,3	0,0	10,9	0,0	3,4	0,0	
T6	Moyenne (%)	1,3	0,2	0,0	16,7	4,0	3,2	0,0	25,4
	Ecartype type	1,8	0,3	0,1	7,2	10,5	2,9	0,1	

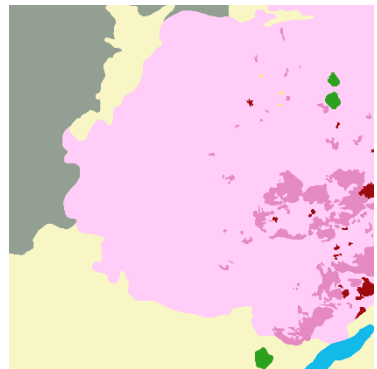
Quadrat 1



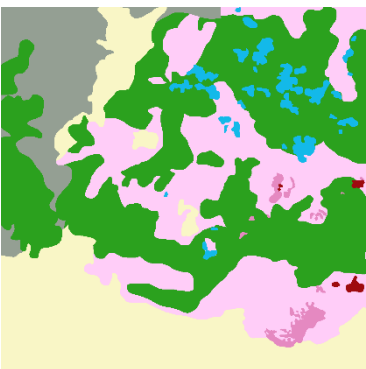
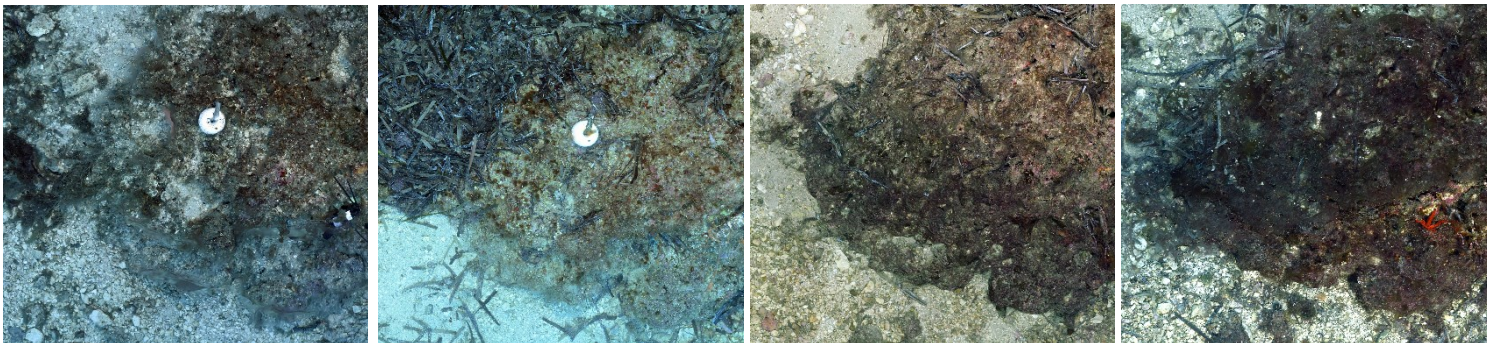
T-1 avant nettoyage



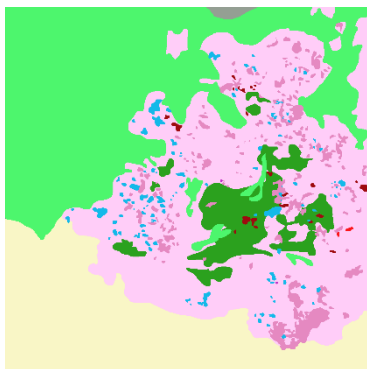
T0



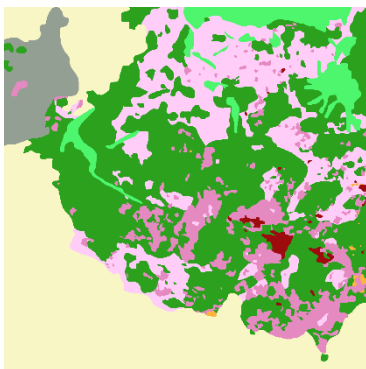
T1



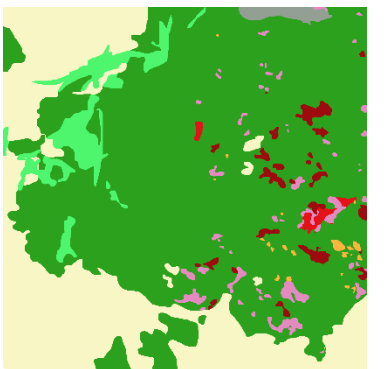
T2



T3



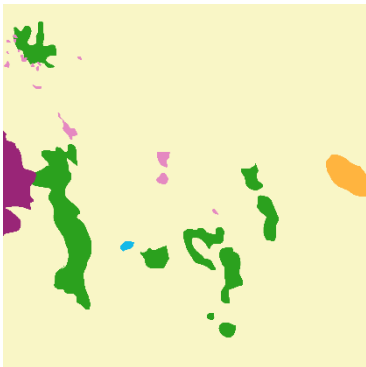
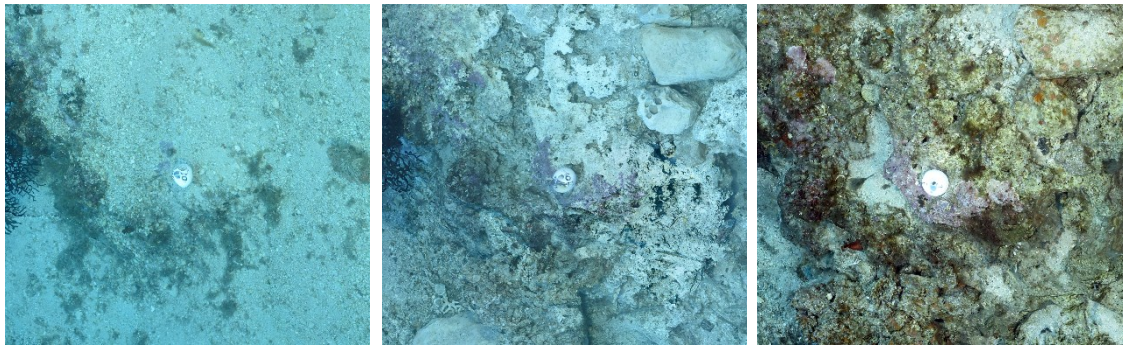
T5



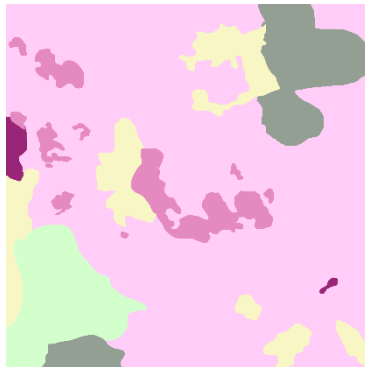
T6



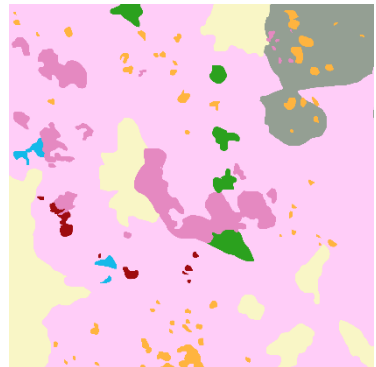
Quadrat 3



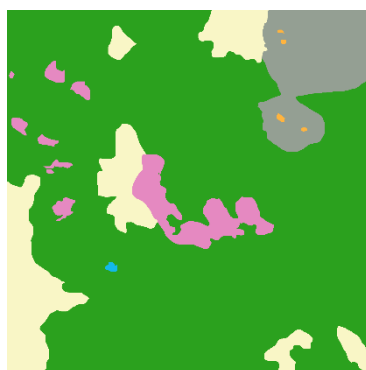
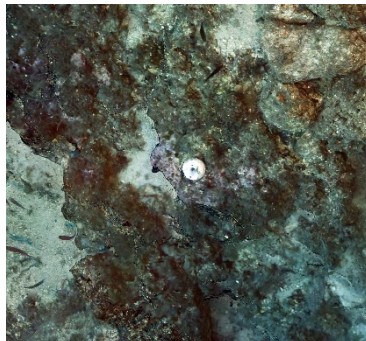
T-1 avant nettoyage



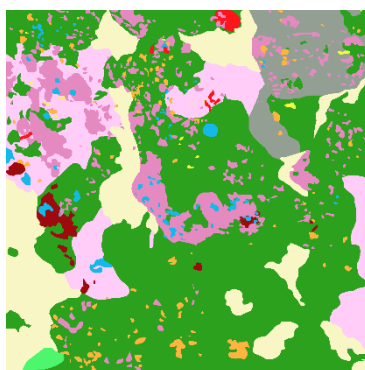
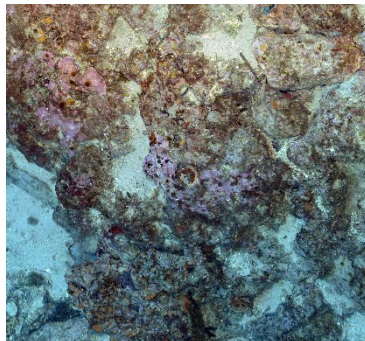
T0



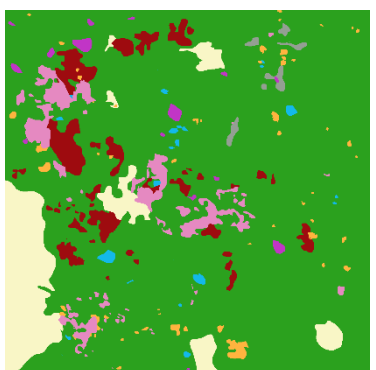
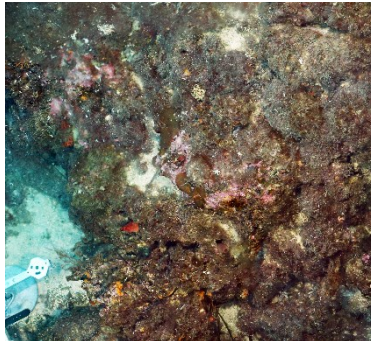
T1



T2

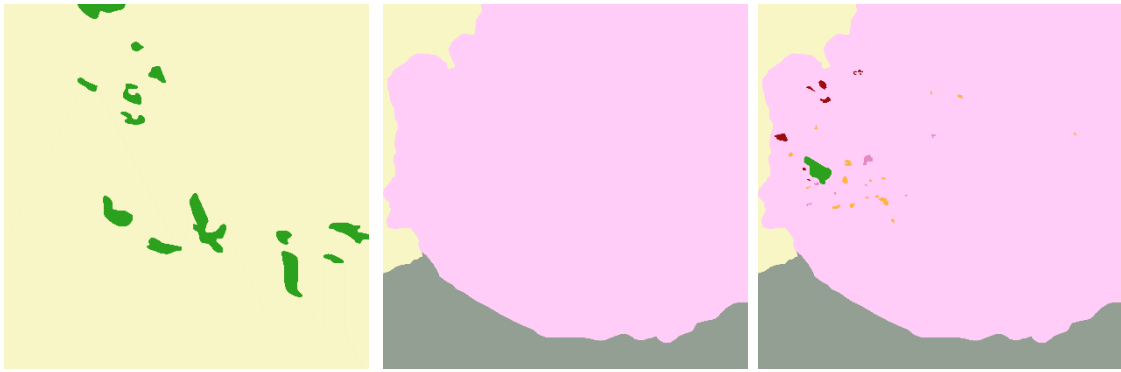


T3



T6

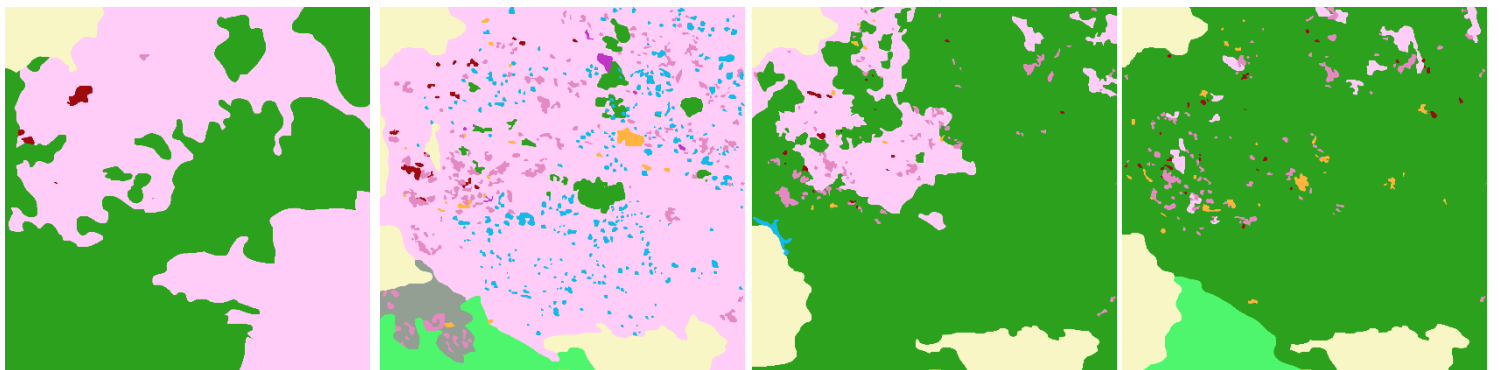
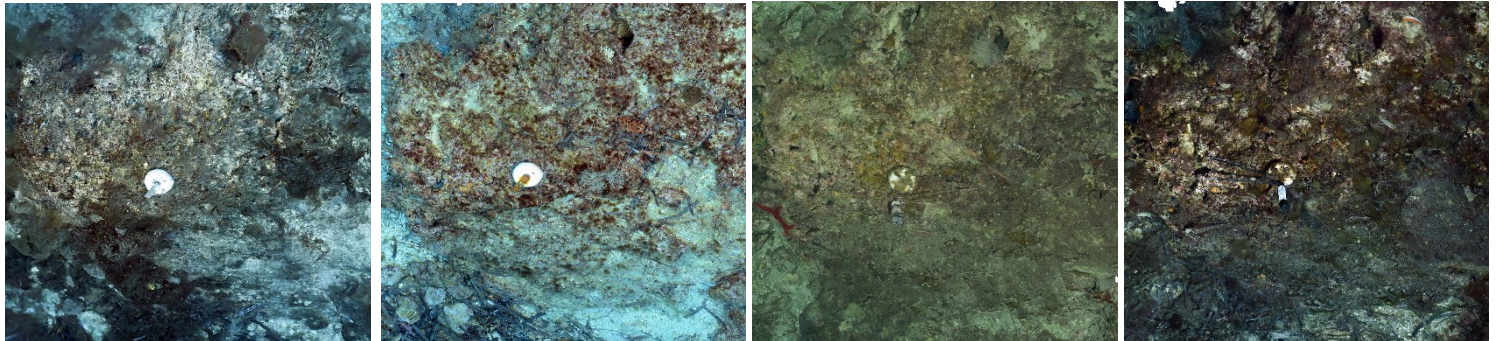
Quadrat 7



T-1 avant nettoyage

T0

T1



T2

T3

T5

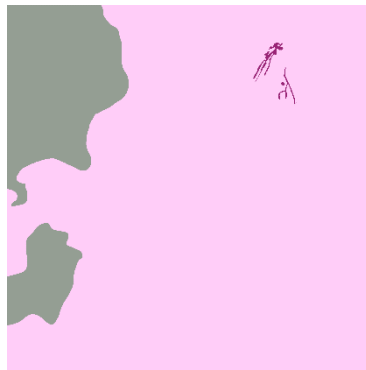
T6



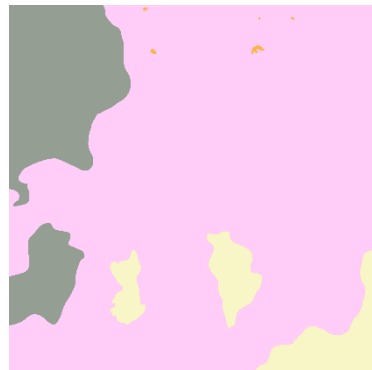
Quadrat 8



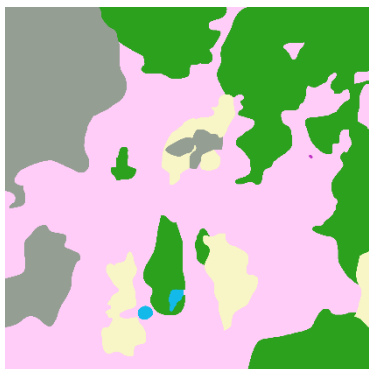
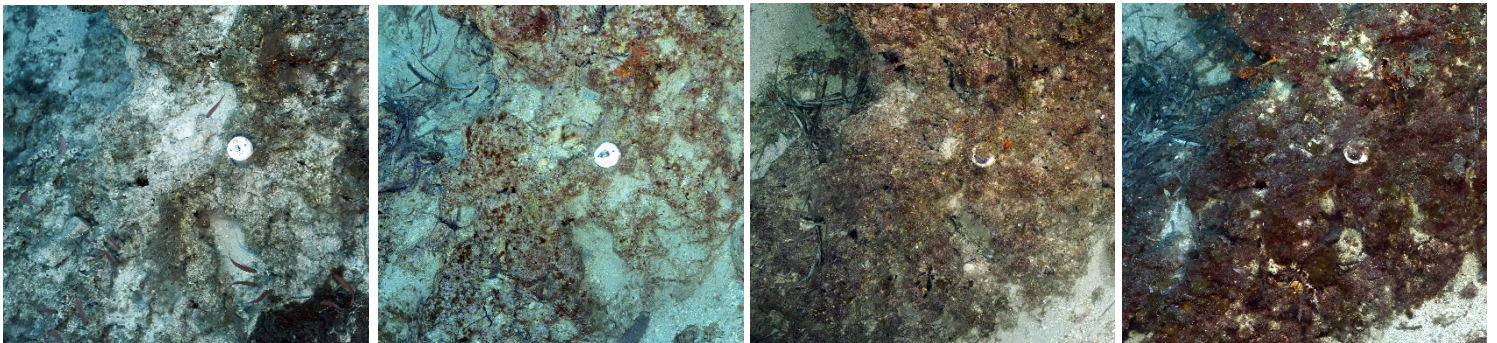
T-1 avant nettoyage



T0



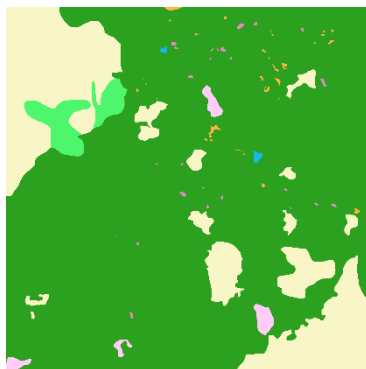
T1



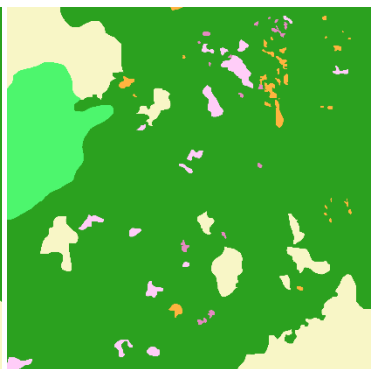
T2



T3

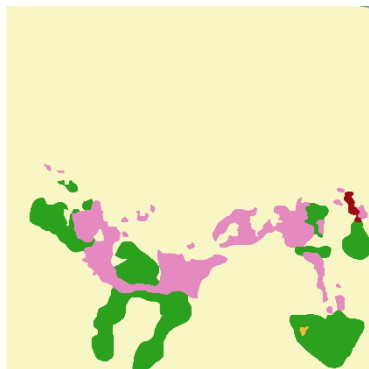


T5

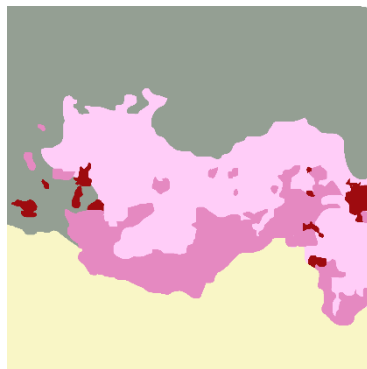


T6

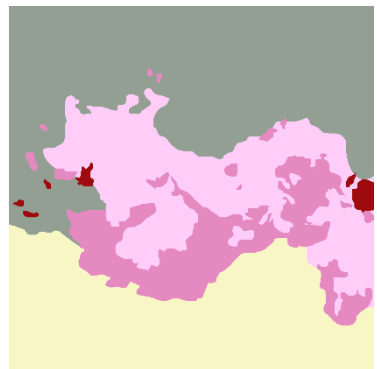
Quadrat 9



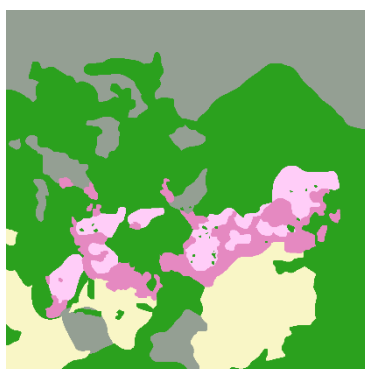
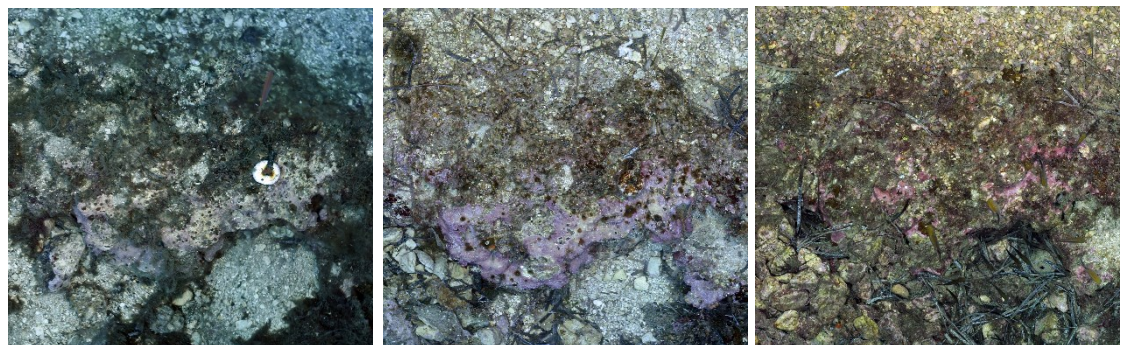
T-1 avant nettoyage



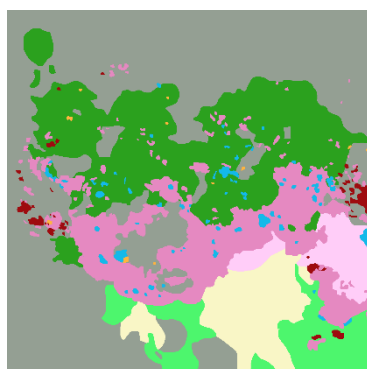
T0



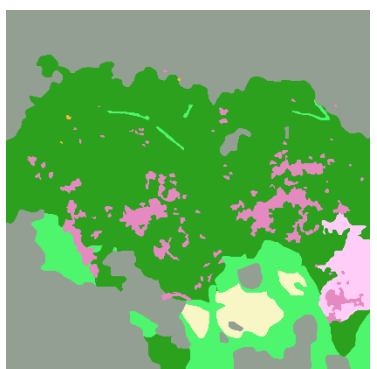
T1



T2



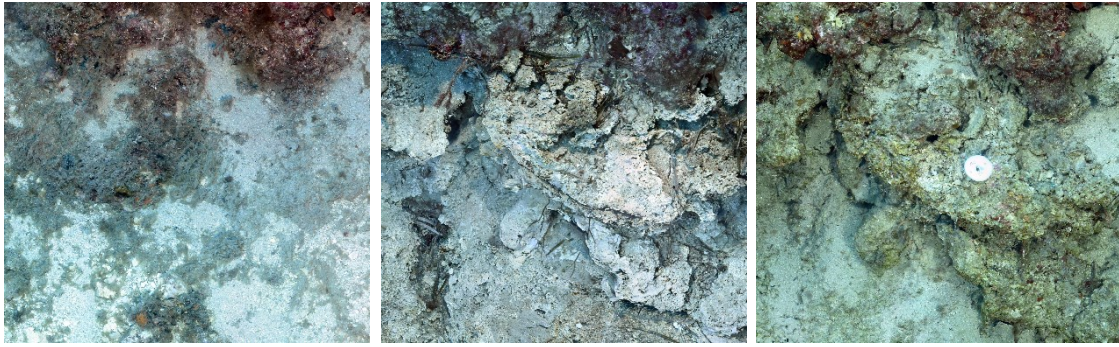
T3



T5



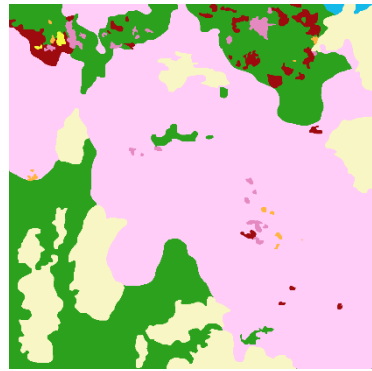
Quadrat 11



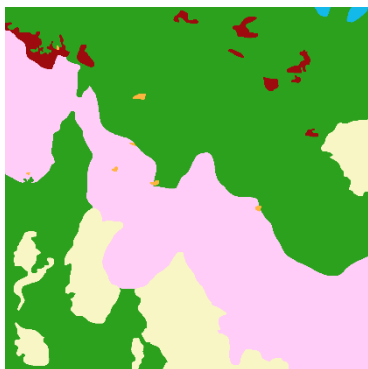
T-1 avant nettoyage



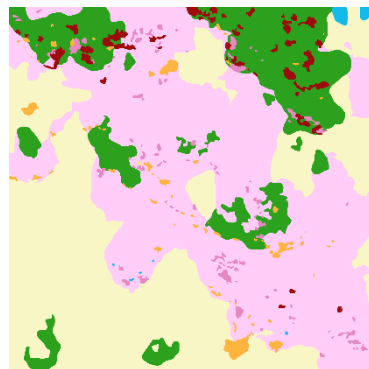
T0



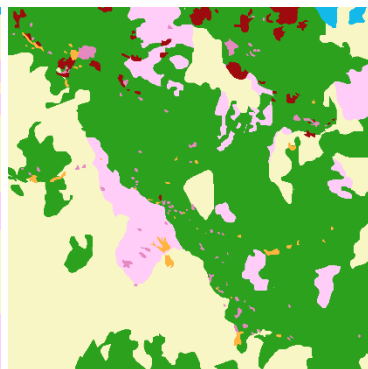
T1



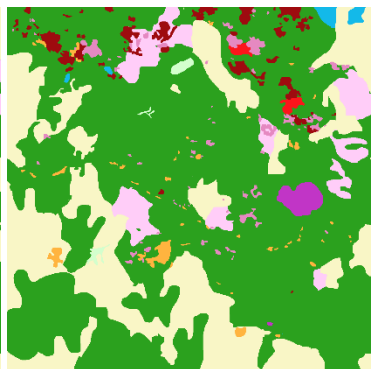
T2



T3

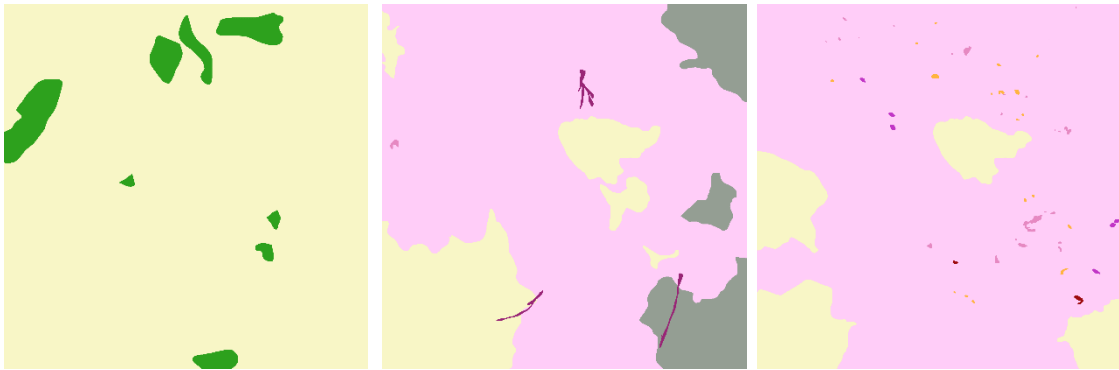


T5



T6

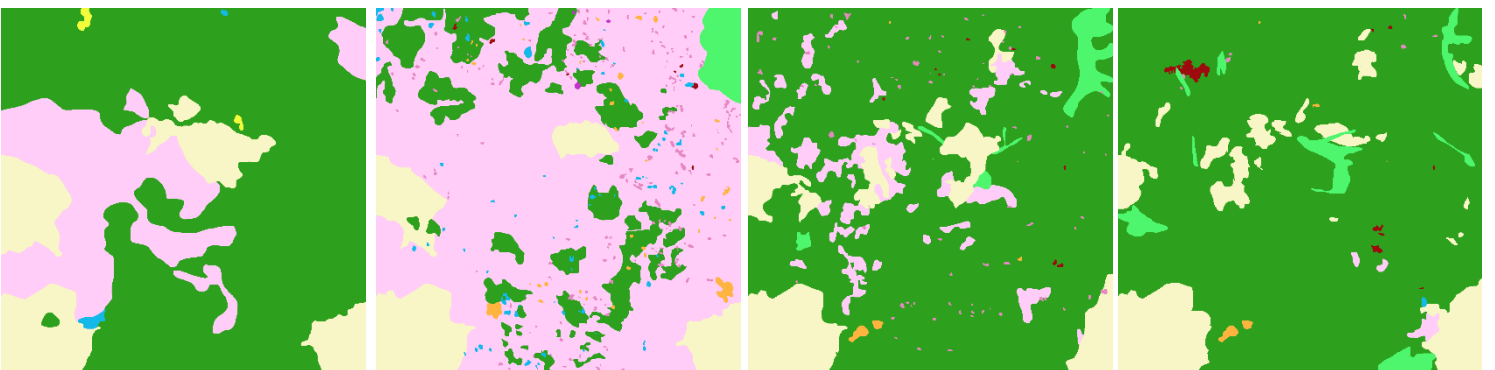
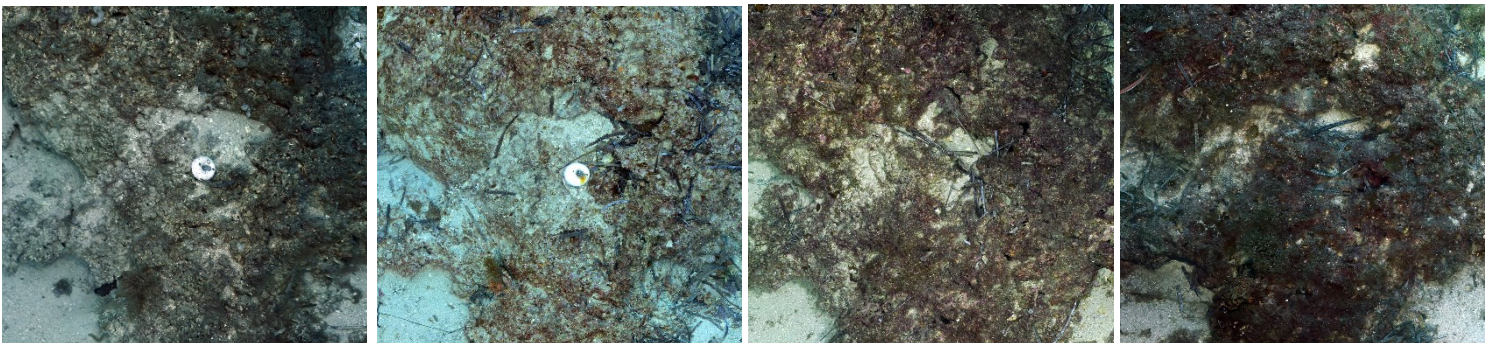
Quadrat 12



T-1 avant nettoyage

T0

T1



T2

T3

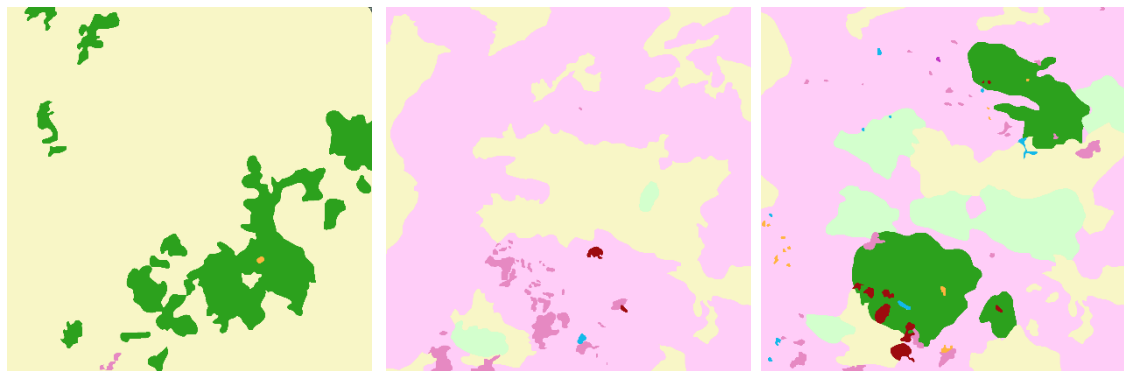
T5

T6



Quadrat 13

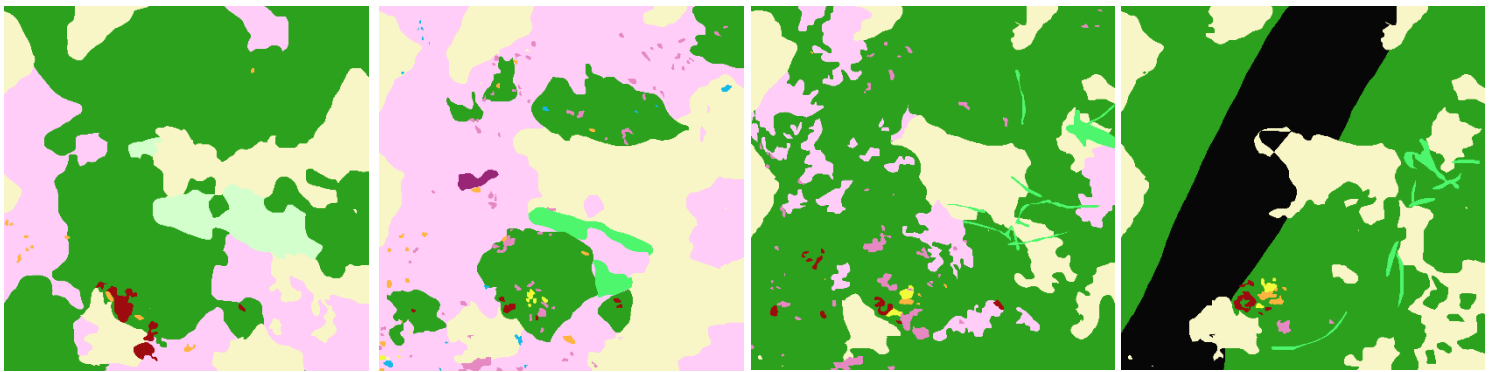
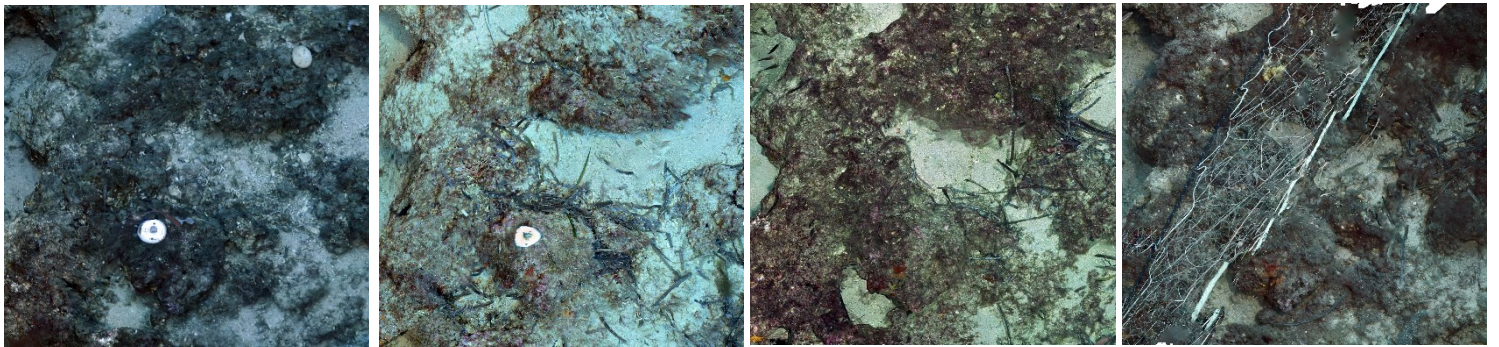
Sur le quadrat 13, à T-1 avant désensivelissement, il y avait un rocher présent qui a été déplacé lors des opérations de retrait des sédiments. Il apparaît sur la photo mais n'a donc pas été dessiné. A T6, un filet actif était présent sur le site RESCOR, et une partie de ce quadrat permanent n'était donc pas visible et mise en noir.



T-1 avant nettoyage

T0

T1



T2

T3

T5

T6

III.C.3. Analyse des données

Nous évaluons dans un premier temps le **pourcentage moyen de surface couverte par le vivant et par le non vivant** pour chaque catégorie de quadrats (désensévelis / nettoyés) entre T-1 avant nettoyage et/ désensévelissement) et T6 (figure ci-dessous).

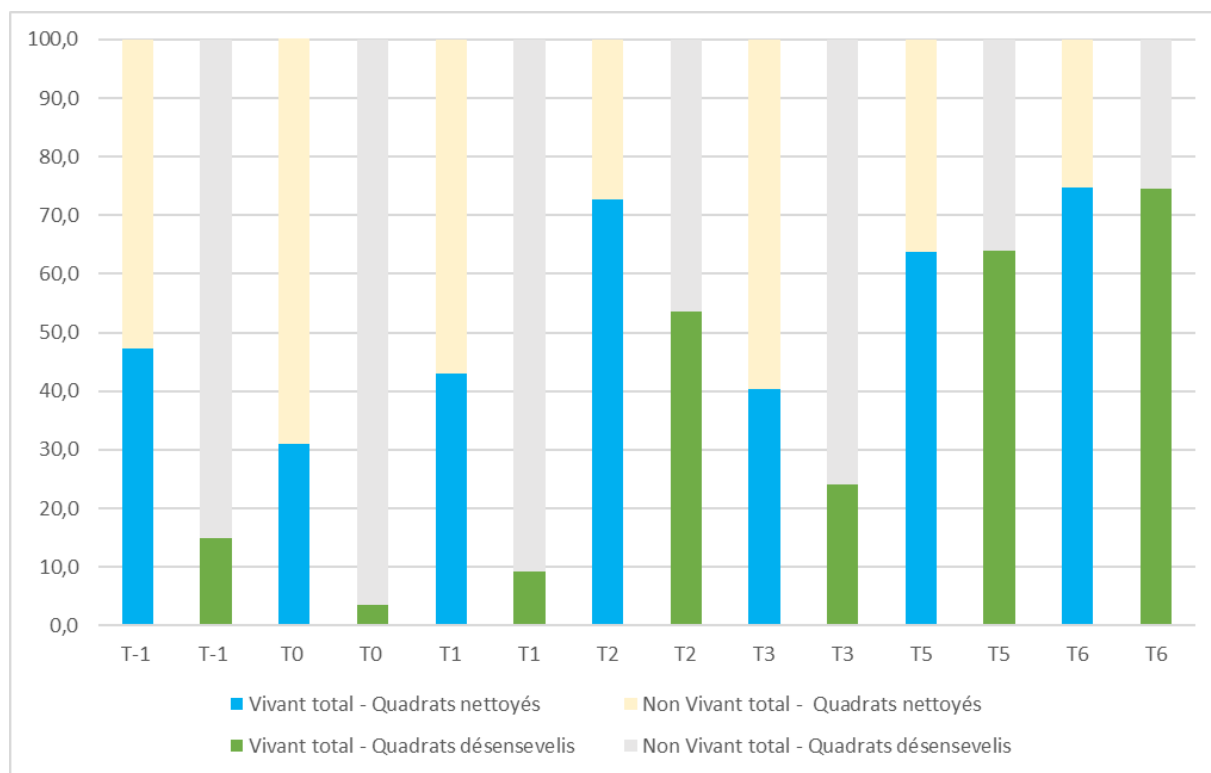


Figure 64 : Evolution des pourcentages moyens de surface couverte par le vivant et par le non vivant pour chaque catégorie de quadrats permanents (désensévelis / nettoyés) au cours des suivis.

Pour les quadrats nettoyés, nous constatons que le pourcentage de vivant (en bleu sur la figure précédente) diminue d'environ 15 % entre le T-1 avant nettoyage et le T0 après nettoyage (disparition des algues filamenteuses présentes sur le récif avec les actions de nettoyage), puis qu'il augmente au T1 d'environ 10 %, augmente fortement au T2 post- nettoyage (+ 30 %) et diminue (-32 %) au T3 pour atteindre une valeur quasi identique à celle du T1 post nettoyage. Aux suivis T5 et T6 après nettoyage le pourcentage de vivant continue d'augmenter et **atteint 74,8 % au dernier suivi**.

Pour les quadrats désensévelis, nous constatons que le pourcentage de vivant (en vert sur la figure précédente) diminue (-12 %) entre le T-1 avant désensévelissement et le T0 après désensévelissement (disparition des algues filamenteuses présentes sur le sable avec les actions de retrait des sédiments), puis qu'il augmente à chaque suivi post- désensévelissement (recolonisation naturelle du substrat par des organismes vivants) et **atteint une valeur maximale de 74,5 % au dernier suivi, valeur identique à celle des quadrats nettoyés**. Nous constatons que le pourcentage de vivant au T3 diminue de 30 %, comme pour les quadrats nettoyés.

Ces résultats montrent que les actions de nettoyage et de retrait des sédiments ont engendré une **baisse du pourcentage de vivant sur tous les quadrats**, en lien avec la disparition des algues filamenteuses. Pour les quadrats désensévelis, **le substrat mis à nu est colonisé naturellement par des espèces du vivant au cours des suivis**, avec des **variations naturelles** liées au développement/disparition des algues filamenteuses visibles sur les deux types de quadrats (notamment leur développement au T2 et leur baisse au T3). Que ce soit pour les quadrats désensévelis ou nettoyés, **le pourcentage moyen de vivant au dernier suivi (T6) est de 75 %**, et c'est la valeur la plus élevée relevée tous suivis confondus.



Nous détaillons les analyses dans les paragraphes suivants avec, pour chaque suivi, un diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant.

III.C.3.a. Quadrats nettoyés

Avant les opérations de nettoyage (**T-1 avant nettoyage**), les quadrats 2, 4, 5, 6, 10 et 14 étaient constitués en moyenne par **47,2 % d'organismes vivants** avec principalement des **algues** correspondant aux catégories « Autres algues » (31,1 ± 22,1 %), « Peyssonneliales » (11,4 ± 4,6 %) et « Corallinales » (3,1 ± 2,5 %), et quelques **gorgones** et **bryozoaires**. Le non-vivant était formé par du substrat rocheux et du substrat meuble.

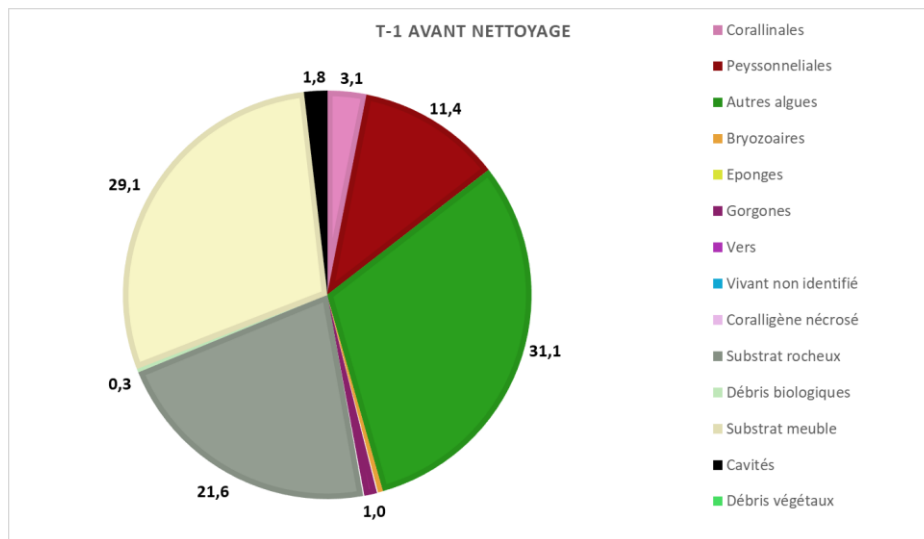


Figure 65 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats nettoyés au suivi T-1 avant nettoyage.

Après les opérations de nettoyage (**T0 après nettoyage**), le pourcentage de vivant diminue de 16 %. La **surface moyenne couverte par le vivant est alors de 31,1 %**, avec toujours une dominance des **algues** au sein desquelles nous constatons une augmentation des pourcentages de recouvrement par les peyssonneliales (+4,1 %) et les corallinales (+1,5 %) tandis que celui de la catégorie « autres algues » diminue de 22,7 %. Ces « autres algues » étant principalement formées par des espèces filamenteuses, les opérations de nettoyage les ont donc enlevées. Les pourcentages de recouvrement par les **éponges** et les **gorgones** ont augmenté légèrement. Le recouvrement par le non-vivant a augmenté entre ces deux suivis (+16,3 %). En enlevant du sable (-7,6 % en moyenne) et des algues filamenteuses (« autres algues »), le nettoyage permet ainsi de **mettre en lumière du coralligène nécrosé** (12,0 ± 26,0 %) et du **substrat rocheux** (33,6 ± 21,9 %).

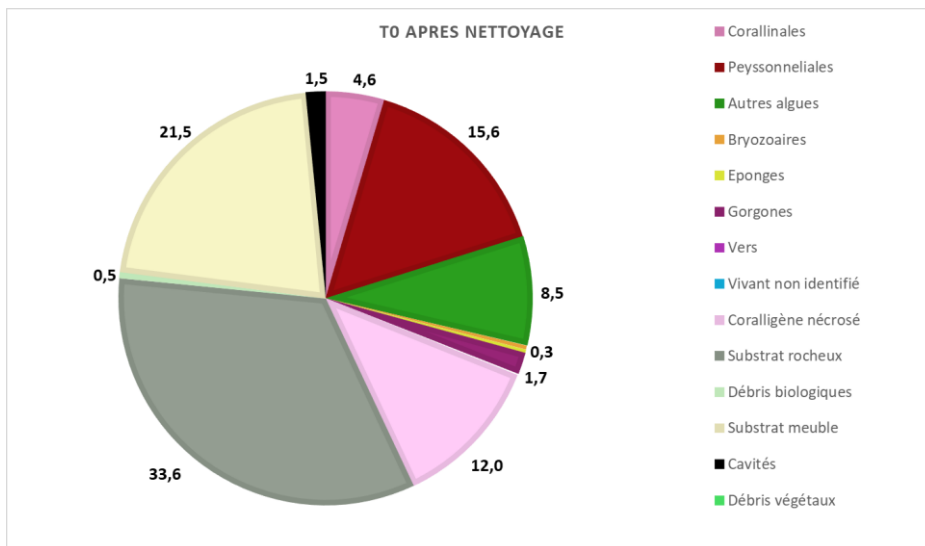


Figure 66 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats nettoyés au suivi T0 après nettoyage.

Au **suivi T1**, le recouvrement par le vivant augmente (+8 %) et est lié au **développement des « autres algues »** (+11,3 %). Les autres catégories du vivant et non-vivant sont globalement stables à part **une baisse du substrat rocheux** (-10 %) lié au développement des algues.

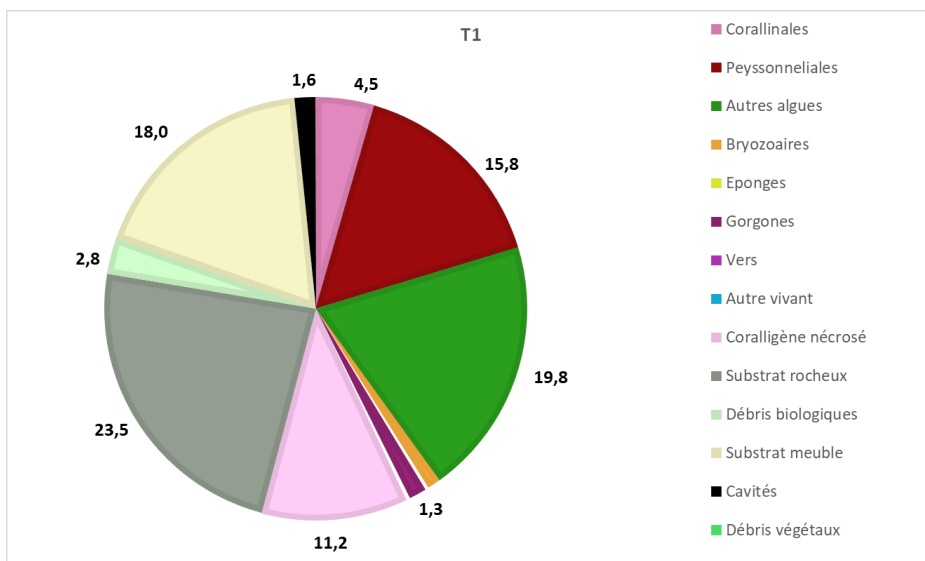


Figure 67 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats nettoyés au suivi T1.

Au **suivi T2**, le **recouvrement par le vivant augmente de 30 %** : la surface moyenne couverte par le vivant est alors de 72,7 % avec 60,4 % d'« autres algues ». Ce sont des **algues brunes filamenteuses** qui recouvrent le substrat entraînant une diminution de l'ensemble des autres catégories du vivant et non-vivant.



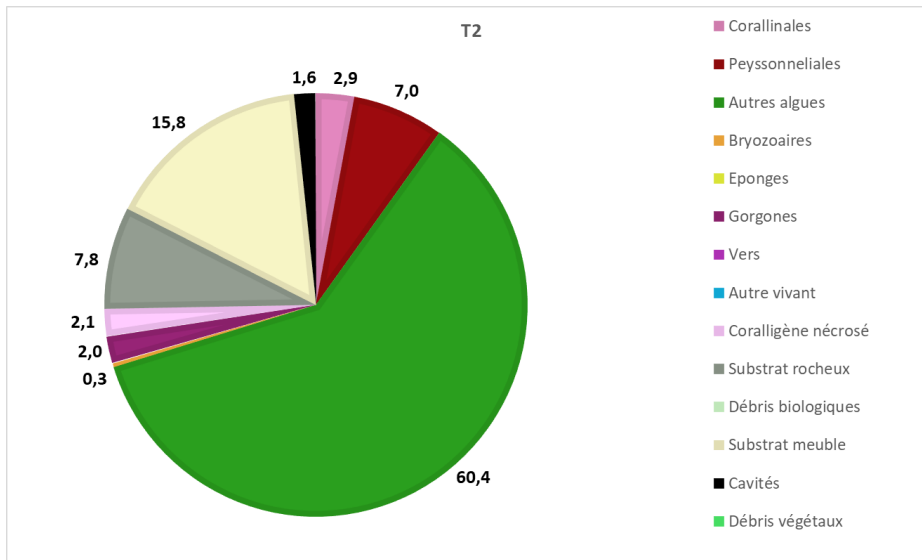


Figure 68 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats nettoyés au suivi T2.

Au **suivi T3**, le **recouvrement par le vivant augmente de 35 %** par rapport au suivi T2 : la surface moyenne couverte par le vivant est alors de 40,2 % (proche de la valeur de vivant au suivi T1). Cette diminution entre T2 et T3 est liée à la **baisse du recouvrement par les « autres algues » (-46,1 %) et donc des algues filamenteuses**. Les catégories du vivant présentent des recouvrements proches entre les suivis T1 et T3 : **légère augmentation des corallinales (+2,1 %)** et **stabilité des autres catégories du vivant** (peyssonneliales/bryozoaires/éponges/gorgones). Présence de **débris végétaux (2,2 %)** correspondant à des feuilles d'herbier de posidonie (suite à une tempête ?) et **d'algues rouges encroûtantes nécrosées (0,5 %)** à ce suivi.

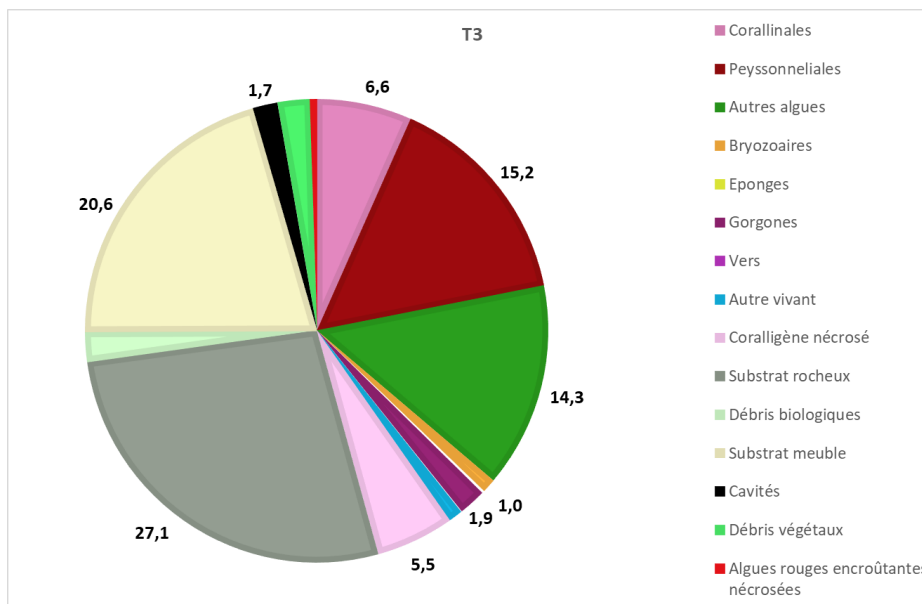


Figure 69 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats nettoyés au suivi T3.

Au suivi T5, le recouvrement par le vivant augmente de 23,5 % par rapport au suivi T3 : augmentation du recouvrement par les « autres algues » (+26,5 %), les éponges et les gorgones. On relève une baisse des corallinales (-3 %) et relative stabilité des autres catégories du vivant (peyssonnelliales/bryozoaires/vers). On note une augmentation des débris végétaux (4,7 %) correspondant à des feuilles d'herbier de posidonie et une stabilité des algues rouges encroûtantes nécrosées. La baisse du recouvrement par le coralligène nécrosé et le substrat rocheux est liée à l'augmentation du recouvrement par le vivant.

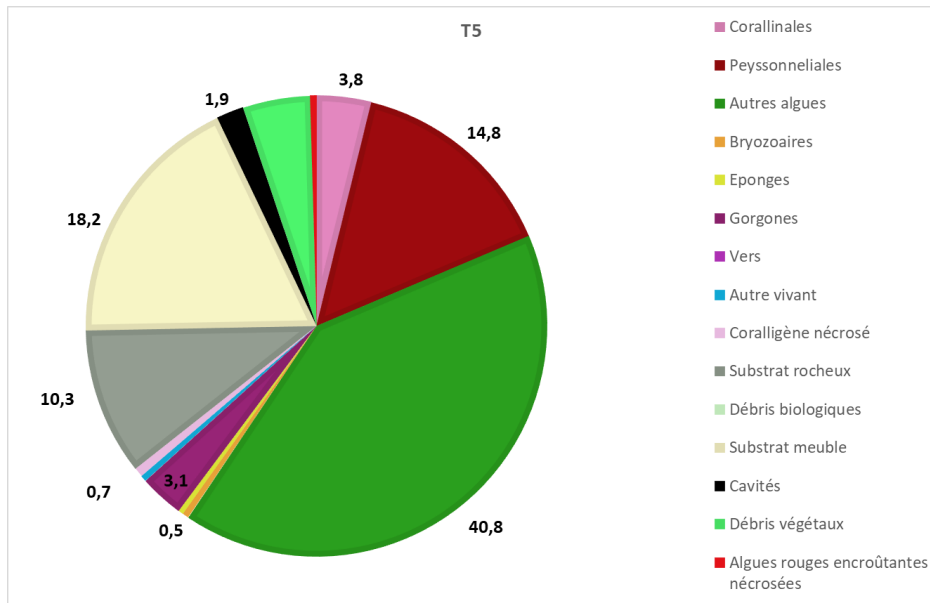


Figure 70 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats nettoyés au suivi T5.

Au suivi T6, le recouvrement par le vivant augmente de 11 % par rapport au suivi T5 liée à l'augmentation des « autres algues » (+5 %) mais surtout par les peyssonnelliales. On note une stabilité des autres catégories du vivant (corallinales/bryozoaires/éponges/gorgones/vers). On note une baisse des débris végétaux (-4 %), une augmentation des algues rouges encroûtantes nécrosées (+1 %) et une baisse du recouvrement par le coralligène nécrosé et le substrat rocheux en lien avec l'augmentation du recouvrement par le vivant.

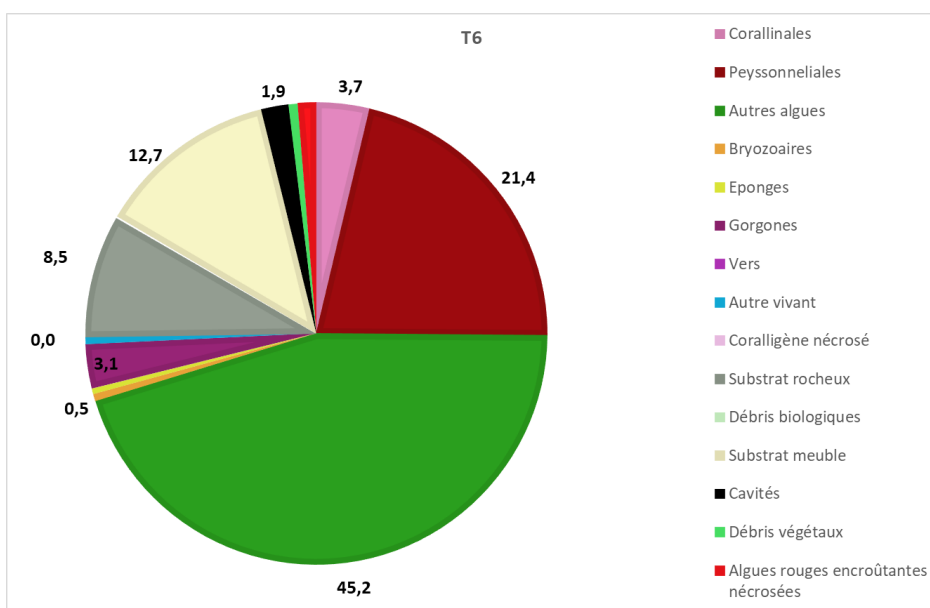


Figure 71 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats nettoyés au suivi T6.



III.C.3.b. Quadrats désensévelis

Avant les opérations de nettoyage et de retrait des sédiments (**T-1 avant désensévelissement**), les quadrats 1, 3, 7, 8, 9, 11, 12 et 13 étaient constitués en moyenne par **85,1 % de non vivant** (substrat meuble) et par 14,9 % de vivant avec les « **autres algues** » ($13,7 \pm 20,8$ % en moyenne, algues présentes sur le sable), et **moins de 1 % par des peyssonneliales et par des corallinales**.

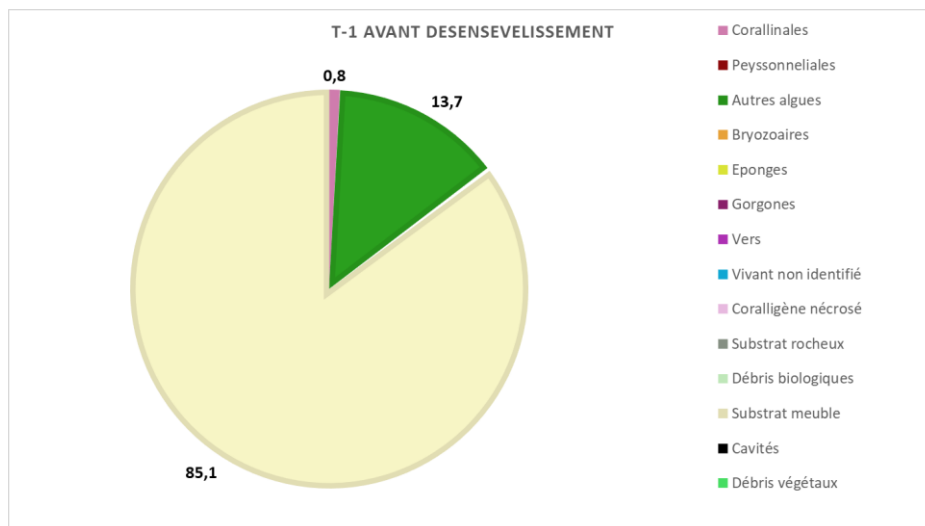


Figure 72 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats désensévelis au suivi T-1 avant désensévelissement.

Après les opérations de nettoyage et de retrait des sédiments (**T0 après désensévelissement**), ces quadrats étaient constitués par du **non-vivant à 96,6 %**. En **enlevant du sable (-69 %)** et **des algues filamenteuses (-14 %)**, le nettoyage a permis de mettre à jour du **coralligène nécrosé** sur tous les quadrats ($67,9 \pm 22,6$ %), du **substrat rocheux** ($11,2 \pm 12,9$ %) et des **débris biologiques** ($1,2 \pm 2,9$ %) (débris qui étaient recouverts par le sable à cause des travaux sur l'émissaire). Parmi le vivant (3,4 % en moyenne) on observe surtout des **corallinales** ($2,8 \pm 4,0$ %) et des **peyssonneliales** ($0,5 \pm 0,7$ %).

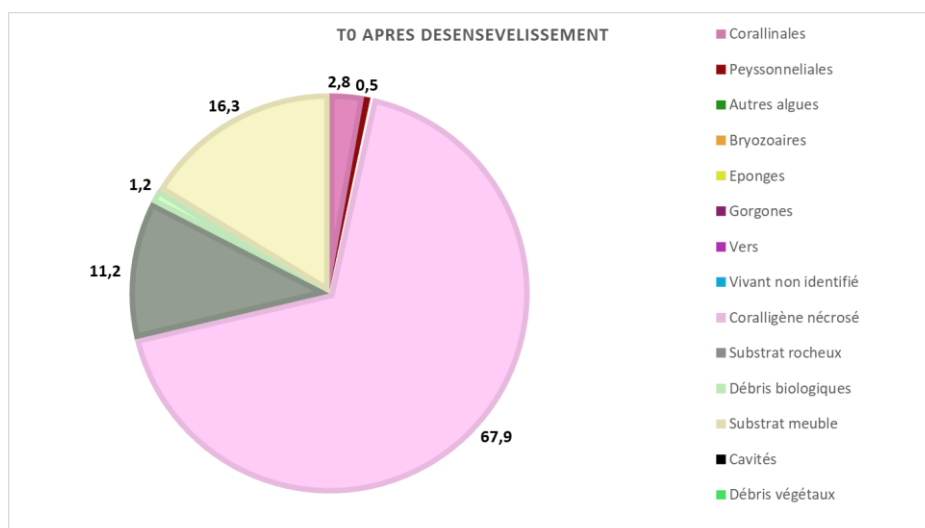


Figure 73 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats désensévelis au suivi T0 après désensévelissement.

Au suivi T1, le **recouvrement par le vivant augmente** (+5,9 %) et est lié au développement des « **autres algues** » ($5,0 \pm 9,2$ %) et de quelques **bryozoaires** ($0,3 \pm 0,7$ %). Les autres catégories du vivant et non-vivant sont globalement stables.

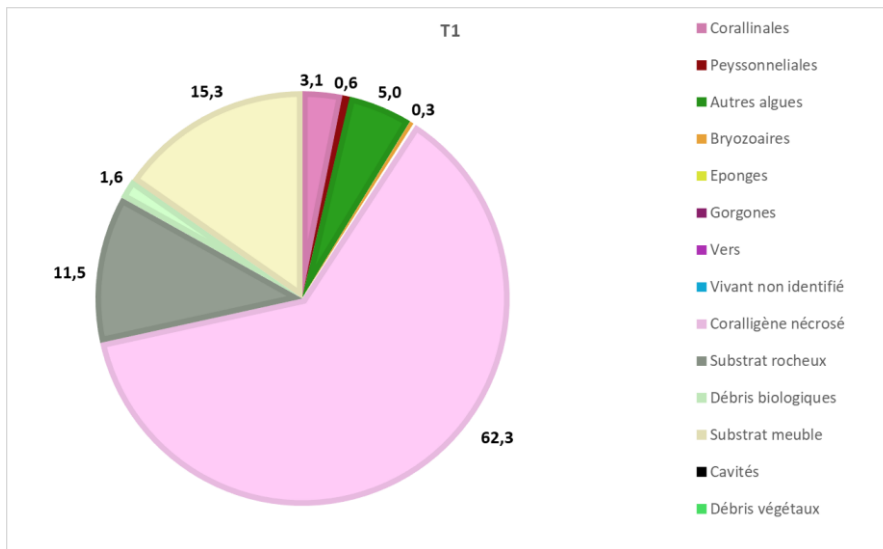


Figure 74 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats désensévelis au suivi T1.

Au suivi T2, le **recouvrement par le vivant augmente d'environ 45 %** : la surface moyenne couverte par le vivant est alors de 53,6 % avec 51,2 % de la catégorie « **autres algues** ». Ce sont des algues brunes filamenteuses qui recouvrent le substrat entraînant alors une diminution de l'ensemble des autres catégories du vivant et non-vivant.

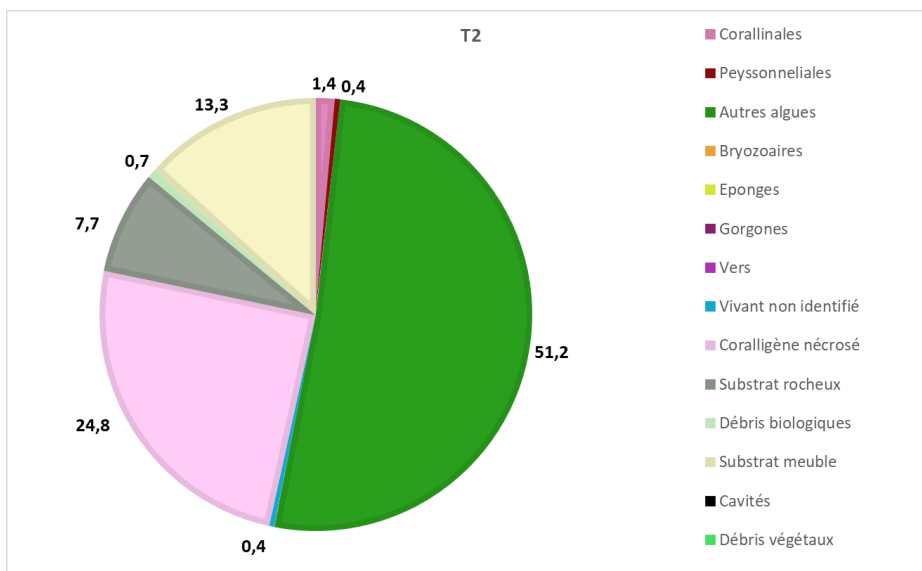


Figure 75 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats désensévelis au suivi T2.



Au suivi T3, le **recouvrement par le vivant diminue d'environ 30 %** par rapport au suivi T2 : la surface moyenne couverte par le vivant est alors de 24 %. Cette diminution est liée à la **baisse du recouvrement par les « autres algues »** (-34,6 %) et donc des algues filamenteuses. Par contre on constate que le pourcentage de vivant au T3 est supérieur au T1 (+15 %) ce qui montre que le substrat continu d'être colonisé naturellement. **La majorité des catégories du vivant présente des recouvrements plus élevés** entre les suivis T1 et T3 : +1,7 % de **corallinales**, +11,3 % d'**autres algues**, +0,4 % de **bryozoaires**, +1,2 % de « **autre vivant** » (qui pourraient être des petites algues brunes type *Zanardinia typus*). Présence de **débris végétaux** (6,4 %) à ce suivi, comme pour les quadrats nettoyés.

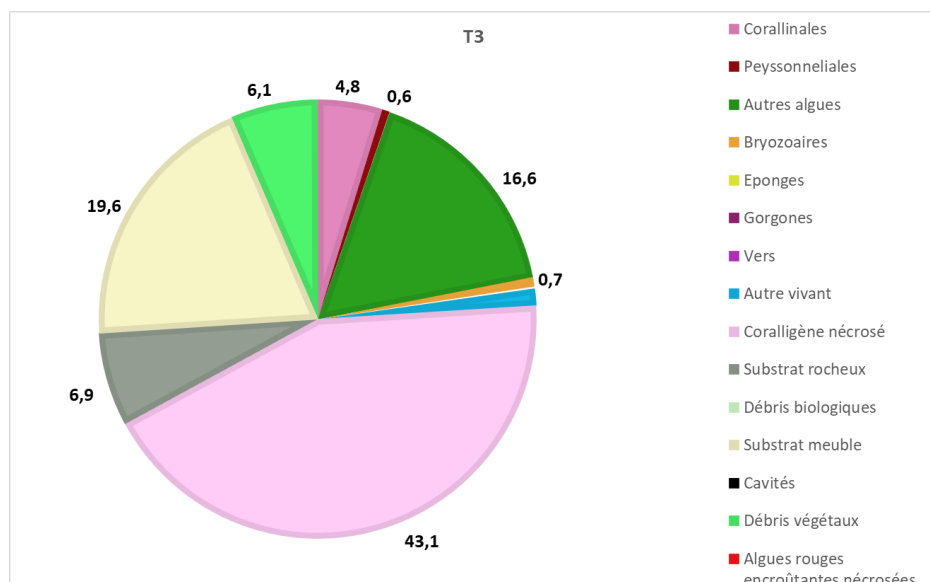


Figure 76 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats désensévelis au suivi T3.

Au suivi T5, le **recouvrement par le vivant augmente de 40 %** par rapport au suivi T3 : la surface moyenne couverte par le vivant est alors de 64 %. Cette augmentation est liée à celle du recouvrement par les « **autres algues** » (+44 %). On note une **baisse du recouvrement par les Corallinales et les Peyssonneliales**. Le **coralligène nécrosé présente un recouvrement bien plus faible (-34 %)**.

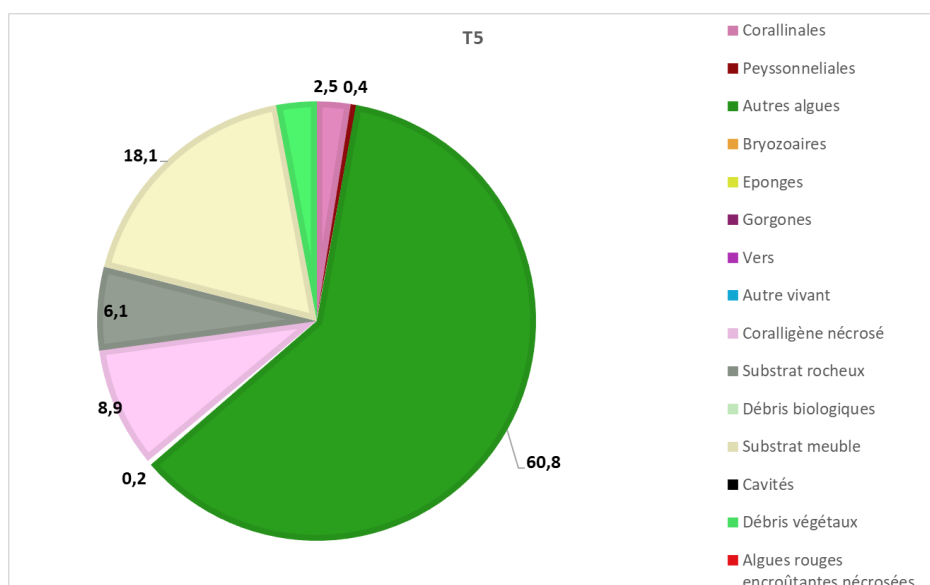


Figure 77 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats désensévelis au suivi T5.

Au suivi T6, le **recouvrement par le vivant augmente de 10 %** par rapport au suivi T5. Cette augmentation est liée à celle du recouvrement par les « **autres algues** » (+10,2 %), les **bryozoaires** et les **vers**. On note toujours une **baisse du recouvrement par les Corallinales** mais une **légère augmentation des Peyssonneliales**. Le coralligène nécrosé présente un recouvrement encore plus faible qu'au T5, quasi nul (1,3 %) montrant la **colonisation du substrat par le vivant**.

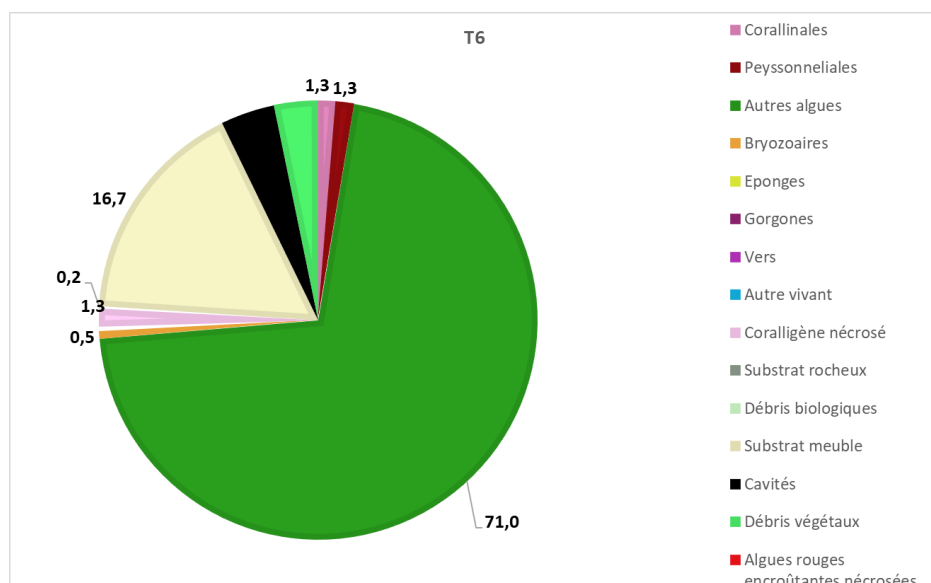


Figure 78 : Diagramme de répartition des différentes catégories de vivant et de non vivant sur les quadrats désensévelis au suivi T6.

III.C.3.c. Conclusion

14 quadrats permanents d'1 m² matérialisés par des balises blanches ont été échantillonnés dans le cadre du projet RESCOR à partir des modèles photogrammétriques. Pour faciliter leurs analyses, nous avons séparé ces quadrats en deux catégories d'après leur localisation sur la zone d'étude : les six quadrats dits « **nettoyés** » et les huit quadrats dits « **désensévelis** ». Les premiers ont uniquement fait l'objet d'un nettoyage par jet d'eau, et les seconds ont été désensévelis par des opérations de retrait de sédiments et de nettoyage par jet d'eau.

A chaque période suivie (T-1 avant nettoyage et/ou désensévelissement, T0, T1 (neuf mois plus tard), T2 (trois mois plus tard), T3 (8 mois plus tard), T5 (17 mois plus tard) et T6 (6 mois plus tard)) différentes **catégories du vivant** (Corallinales, Peyssonneliales, Autres algues, Bryozoaires, Eponges, Gorgones, Vers, Autre Vivant) et **du non vivant** (Coralligène nécrosé, Substrat rocheux, Débris biologiques, Débris végétaux, Substrat meubles, Cavités, Algues rouges encroûtantes nécrosées) ont été dessinées manuellement sous le logiciel **Adobe Photoshop®** sur chaque quadrat permanent. Nous avons évalué la surface moyenne couverte par catégorie de quadrats et leur évolution dans le temps.

L'analyse du vivant/non vivant des quadrats permanents RESCOR montre les éléments suivants :

- le pourcentage de vivant diminue entre le T-1 et le T0 sur tous les quadrats (disparition des algues filamenteuses présentes sur le récif et / ou sur le sable avec les actions de nettoyage et de retrait de sédiments) ;
- le pourcentage de vivant augmente au cours des suivis T1 et T2 sur tous les quadrats, notamment au suivi T2 où des algues sont observées sur plus de la moitié de la surface des quadrats.
- le pourcentage de vivant diminue au cours des suivis T2 et T3 d'environ 30 % sur tous les quadrats, en lien avec la diminution des algues filamenteuses. La valeur du % de vivant observée au T3 pour les quadrats nettoyés est proche de celle observée au T1 (avant le pic de développement par les algues filamenteuses au T2), par contre



la valeur observée au T3 pour les quadrats désensevelis est supérieure (+15 %) à celle du T1 ce qui montre une colonisation naturelle du substrat au cours du temps (diminution de la surface de coralligène nécrosé entre T1 et T3).

- le pourcentage moyen de vivant au dernier suivi (T6) est de 75 % sur tous les quadrats.

Ainsi, cette première analyse montre que **les actions de nettoyage et de retrait des sédiments ont engendré une baisse du pourcentage de vivant sur tous les quadrats, en lien avec la disparition des algues filamenteuses.** Pour les quadrats désensevelis, le substrat mis à nu est colonisé naturellement par des espèces du vivant au cours des suivis, avec des variations naturelles liées au développement/disparition des algues filamenteuses visibles sur les deux types de quadrats (notamment leur développement au T2 et leur baisse au T3). Que ce soit pour les quadrats désensevelis ou nettoyés, **le pourcentage moyen de vivant au dernier suivi (T6) est de 75 %, et c'est la valeur la plus élevée relevée tous suivis confondus**

L'analyse plus détaillée de la répartition des différentes catégories de vivant et de non-vivant des quadrats permanents RESCOR montre que :

- Le coralligène enseveli sous le sable a pu être dé-ensouillé par les opérations de retrait des sédiments avec apparition de débris biologiques et de coralligène nécrosé sur 65 % de la surface moyenne des quadrats désensevelis grâce au retrait du sable. Sur les quadrats nettoyés est également apparu du coralligène nécrosé (12 %).

- Le pourcentage de coralligène nécrosé est le plus élevé au T0 sur tous les quadrats, juste après les opérations de nettoyage/retrait des sédiments et il diminue au cours des suivis montrant la colonisation par le vivant. Au suivi T6, il est nul sur les quadrats nettoyés et quasi-nul (1,3 %) sur les quadrats désensevelis.

- Les **algues rouges (en particulier les corallinales)**, les **bryozoaires** (notamment les bryozoaires encroûtants *Schizomavella mamillata*), les **ascidies** semblent être les groupes taxonomiques à s'installer le plus rapidement sur le substrat en restauration jusqu'au T3 puis leur recouvrement se stabilise voire diminue légèrement. On trouve ensuite des **vers** (faible surface de recouvrement mais nombre d'observations en augmentation au T3, notamment *Bonelia viridis* puis au T6 avec *Filigrana sp.*)

- Présence de débris végétaux (feuilles de posidonie) à partir du suivi T3 sur tous les quadrats.

- Apparition d'algues rouges encroûtantes nécrosées à partir du suivi T3 sur les quadrats nettoyés.

- Au T3 on note la présence sur les quadrats désensevelis d'espèces non identifiées notées en vivant généralement rondes, petites, et de couleur marron qui se développent sur le coralligène nécrosé mis à nu. Elles pourraient être des petites algues brunes type *Zanardinia typus*, algues observées sur les suivis T5 et T6 aux mêmes endroits.

IV. Bilan du projet RESCOR (2018-2022)

Le projet **RESCOR** a débuté en Juin 2018 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**. Ces calculs ont été réalisés à partir des **photogrammétries** effectuées sur environ **900 m²** (d'Ouest en Est au-dessus de l'émissaire) à partir de **8000 à 9500 photos avant et après les travaux de désensvelissement / nettoyage**.

Au total, **9 modèles reconstruits par photogrammétries** ont été réalisés sur la période du projet mais 8 modèles ont été exploités (la qualité du modèle du suivi T4 ne permettait pas une bonne analyse des communautés coralligènes donc nous avons préféré ne pas l'intégrer aux suivis). La méthode de photogrammétrie a ainsi permis de produire des visuels pour rendre compte de l'évolution générale de la **colonisation du récif** avec des **changements de coloration**. Leur analyse a montré que **les espèces érigées / massives présentes à T0 étaient toujours fixées au même endroit du récif cinq années plus tard**, comme par exemples les grandes axinelles (*Axinella polypoides*), les gorgones jaunes (*Eunicella cavolinii*), les cérianthes (*Cerianthus membranaceus*), ou le corail rouge (*Corallium rubrum*). Par contre, sur le coralligène nécrosé mis à nu (anciennement récif vivant mais qui a été enseveli sous le sable à cause des travaux), sont apparues des **espèces au cours des suivis** (annélides Polychètes sédentaires, ascidies, petites gorgones jaunes, holothuries, chapon...).

Les communautés coralligènes ont été caractérisées au cours des suivis à partir de **quadrats photographiques** de 2500 cm² réalisés le long de **trois transects**, de 20 mètres de longueur, chacun à une profondeur différente :

- à **-36 m** au-dessus de la zone principale à restaurer, coralligène en tombant. Sur cette station les cuvettes sédimentaires ont été nettoyées par jet d'eau,
- à **-38 m** à l'Est de l'émissaire, zone principale à restaurer. Sur cette zone les sédiments ont été retirés et la zone a été nettoyée par jet d'eau,
- à **-40 m**, station à proximité de la zone à restaurer (à l'Ouest de l'émissaire). Cette zone a été nettoyée par jet d'eau.

Sur la période du projet, **8 suivis** ont été réalisés, et **780 quadrats photographiques** ont été analysés (30 par station -26 stations analysées). Les résultats de la station **RECOR** à -40 mètres, considérée comme station témoin suivie en 2019 et 2022, ont été intégrés à l'étude.

L'analyse des quadrats photographiques réalisés sur l'ensemble des stations montre que les **algues dominant toujours les organismes vivants**. Sur les **deux stations nettoyées** (à -36 m et à -40 m), la **stratification du coralligène était similaire jusqu'au T2** : la strate haute était formée par des gorgones jaunes *Eunicella cavolinii* ; la strate moyenne était constituée par les éponges *Axinella sp.* et/ou des bryozoaires érigés, et la strate basse par des algues rouges encroûtantes (*Peyssonnelia sp.* majoritaires). Aux suivis T3, T4, T6 (station à -40 m) et T4 (station à -36 m), la strate moyenne était complétée par des **hydriaires** (ils constituent un des trois groupes faunistiques dominants le vivant de ces deux stations). La **station désensvelie et nettoyée** (à -38 m) comprenait essentiellement du **récif coralligène nécrosé**, désensveli par les opérations. Une stratification s'est établie au cours des suivis post-désensvelissement : une strate moyenne constituée par des **bryozoaires érigés** (aux suivis T1, T3, T4, T5, T6), d'**ascidies** (uniquement à T2), d'**hydriaires** (aux suivis T1, T3, T4, T6), de **vers sédentaires** (suivi T6) et de **gorgones jaunes** (suivi T6). A partir du suivi T2, une strate basse s'est développée à travers la colonisation du récif par les *Peyssonnelia sp.* encroûtantes suivies par les corallines *Mesophyllum sp.*



Les algues rouges *Peyssonnelia sp.* (surtout de type érigé), **les bryozoaires érigés** (dès le suivi T1), **les ascidies** (uniquement au suivi T2), **les bryozoaires encroûtants** (au suivi T3 principalement), **puis les hydraires** (aux suivis T3, T4, T6), **les vers sédentaires** (au suivi T6), **les gorgones** (au suivi T6) **semblent être les groupes taxonomiques à s'installer le plus rapidement sur le substrat désenseveli à -38 m.** Concernant les bryozoaires érigés, les analyses des quadrats photographiques sur la station désensevelie à -38 m ont montré une colonisation par les *Reteporella sp.* au T1, suivie par les *Pentapora fascialis* plus marquée aux T3 et T4, et les *Crisia sp.* plus marquée aux T3, T4 et T6. Une récente étude a mis en évidence le succès des bryozoaires durant les premières phases de recolonisation de récifs impactés par l'homme (Casoli et al., 2020).

Pour suivre plus spécifiquement les évolutions des communautés des assemblages coralligènes au cours de la recolonisation naturelle du substrat nécrosé, **14 quadrats permanents d'1 m²** matérialisés par des balises blanches ont été échantillonnés dans le cadre du projet RESCOR à partir des modèles photogrammétriques. Pour faciliter leurs analyses, nous avons séparé ces quadrats en deux catégories d'après leur localisation sur la zone d'étude : les six quadrats dits « **nettoyés** » et les huit quadrats dits « **désensevelis** ». Les premiers ont uniquement fait l'objet d'un nettoyage par jet d'eau, et les seconds ont été désensevelis par des opérations de retrait de sédiments et de nettoyage par jet d'eau.

Leur analyse a montré que **les actions de nettoyage et de retrait des sédiments ont engendré une baisse du pourcentage de vivant sur tous les quadrats, en lien avec la disparition des algues filamenteuses.** Pour les quadrats désensevelis, le substrat mis à nu était colonisé naturellement par des espèces du vivant au cours des suivis, avec des variations naturelles liées au développement/disparition des algues filamenteuses visibles sur les deux types de quadrats. Que ce soit pour les quadrats désensevelis ou nettoyés, **le pourcentage moyen de vivant au dernier suivi (T6) était de 75 %, valeur la plus élevée relevée durant le projet,** tous suivis confondus.

L'analyse plus détaillée de la répartition des différentes catégories de vivant et de non-vivant des quadrats permanents RESCOR a montré que le coralligène enseveli sous le sable a pu être dé-ensouillé par les opérations de retrait des sédiments avec **apparition de débris biologiques et de coralligène nécrosé** sur 65 % de la surface moyenne des quadrats désensevelis grâce au retrait du sable. Sur les quadrats nettoyés est également apparu du coralligène nécrosé (12 %). Ce pourcentage de coralligène nécrosé était le plus élevé au T0 sur tous les quadrats, juste après les opérations de nettoyage/retrait des sédiments, et il a diminué au cours des suivis montrant la colonisation par le vivant. Au suivi T6, il était nul sur les quadrats nettoyés et quasi-nul (1,3 %) sur les quadrats désensevelis. Les **algues rouges (en particulier les corallinales)**, les **bryozoaires** (notamment les bryozoaires encroûtants *Schizomavella mamillata*), les **ascidies** semblaient être les groupes taxonomiques à s'installer le plus rapidement sur le substrat en restauration jusqu'au T3 puis leur recouvrement s'est stabilisé. Des **vers** ont ensuite été observés et surtout des **algues** diverses.

La méthode de quadrats permanents a permis de suivre précisément **l'évolution de la colonisation du substrat par le vivant**, la méthode de quadrats photographiques permettant **d'identifier précisément les espèces.** Les résultats de ces analyses ont permis de montrer le **processus de recolonisation d'un récif désenseveli.** La recolonisation au cours du temps par le vivant a montré l'intérêt des opérations de nettoyage et de retrait des sédiments sur les récifs coralligènes. Outre le retrait des sédiments, le nettoyage a permis également d'enlever les algues brunes filamenteuses au début des opérations, celles-ci ayant un impact négatif sur la vie des espèces à coralligène. Les opérations ont mis à jour des **débris biologiques** (formés consécutivement aux travaux de l'émissaire) et du **coralligène nécrosé** (ancien récif vivant enseveli sous les sédiments liés aux travaux de l'émissaire).

Le projet RESCOR présente une **méthode innovante de restauration des récifs coralligènes.** Aucune autre méthode de restauration de cet écosystème n'a pu être trouvée dans la littérature scientifique en dehors des transplantations d'espèces associées au coralligène comme les gorgones, les éponges ou le corail rouge. Elle pourrait donc être mise en place sur d'autres sites coralligènes qui auraient été recouverts de sédiments.

V. Bibliographie

ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2020. Projet RESCOR - Restauration écologique des communautés des récifs coralligènes – Bilan 2018-2019 : nettoyage, restauration, caractérisation et suivi des communautés du récif coralligène. Contrat Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse / Métropole Nice Côte d'Azur / Andromède Océanologie. 113 pages.

Abdo, D.A., Seager, J.W., Harvey, E.S., McDonald, J.I., Kendrick, G.A., Shortis, M.R., 2006. Efficiently measuring complex sessile epibenthic organisms using a novel photogrammetric technique. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 339, 120–133. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.07.015>

Abdul Wahab, M. A., Fromont, J., Gomez, O., Fisher, R., & Jones, R. (2017). Comparisons of benthic filter feeder communities before and after a large-scale capital dredging program. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 176–193. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.041>

Agudo-Adriani, E.A., Cappelletto, J., Cavada-Blanco, F., Croquer, A., 2016. Colony geometry and structural complexity of the endangered species *Acropora cervicornis* partly explains the structure of their associated fish assemblage. *PeerJ* 4, e1861. <https://doi.org/10.7717/peerj.1861>

Ballesteros, E., 2006. Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 44, 123–195.

Bowens, A., 2009. *Underwater Archeology. The NAS Guide to Principles and Practice*, 2nd edn. Wiley-Blackwell Publishing Ltd, Hoboken, New Jersey, USA. p. 272.

Boyd, S. E., & Rees, H. L. (2003). An examination of the spatial scale of impact on the marine benthos arising from marine aggregate extraction in the central English Channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(1–2), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00313-X](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00313-X)

Boyd, S. E., Limpenny, D. S., Rees, H. L., & Cooper, K. M. (2005). The effects of marine sand and gravel extraction on the macrobenthos at a commercial dredging site (results 6 years post-dredging). *ICES Journal of Marine Science*, 62(2), 145–162. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.11.014>

Burns, J., Delparte, D., Kapon, L., Belt, M., Gates, R.D., Takabayashi, M., 2016. Assessing the impact of acute disturbances on the structure and composition of a coral community using innovative 3D reconstruction techniques. *Methods in Oceanography* 15–16, 49–59. <https://doi.org/10.1016/j.mio.2016.04.001>

Burns, J.H.R., Fukunaga, A., Pascoe, K.H., Runyan, A., Craig, B.K., Talbot, J., Pugh, A., Kosaki, R.K., 2019. 3D Habitat Complexity of Coral Reefs in the Northwestern Hawaiian Islands is Driven by Coral Assemblage Structure. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLII-2/W10, 61–67. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-61-2019>

Carlot, J., Rovère, A., Casella, E., Harris, D., Grellet-Muñoz, C., Chancerelle, Y., Dormy, E., Hedouin, L., Parravicini, V., 2020. Community composition predicts photogrammetry-based structural complexity on coral reefs. *Coral Reefs*. <https://doi.org/10.1007/s00338-020-01916-8>

Casella, E., Collin, A., Harris, D., Ferse, S., Bejarano, S., Parravicini, V., Hench, J.L., Rovère, A., 2017. Mapping coral reefs using consumer-grade drones and structure from motion photogrammetry techniques. *Coral Reefs* 36, 269–275. <https://doi.org/10.1007/s00338-016-1522-0>

Casoli, E., Mancini, G., Ventura, D., Pace, D.S., Belluscio, A., Ardizzone, G.D., 2020. *Reteporella* spp. success in the re-colonization of bare coralligenous reefs impacted by Costa Concordia shipwreck: The pioneer species you did not expect. *Marine Pollution Bulletin* 161, 111808. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111808>



- Cooper, K., Boyd, S., Eggleton, J., Limpenny, D., Rees, H., & Vanstaen, K. (2007). Recovery of the seabed following marine aggregate dredging on the Hastings Shingle Bank off the southeast coast of England. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75(4), 547–558. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.06.004>
- Darling, E.S., Graham, N.A.J., Januchowski-Hartley, F.A., Nash, K.L., Pratchett, M.S., Wilson, S.K., 2017. Relationships between structural complexity, coral traits, and reef fish assemblages. *Coral Reefs* 36, 561–575. <https://doi.org/10.1007/s00338-017-1539-z>
- Deter, J., Descamp, P., Ballesta, L., Boissery, P., Holon, F., 2012a. A preliminary study toward an index based on coralligenous assemblages for the ecological status assessment of Mediterranean French coastal waters. *Ecological Indicators*. 20, 345–352.
- Deter, J., Descamp, P., Boissery, P., Ballesta, L., Holon, F., 2012b. A rapid photographic method detects depth gradient in coralligenous assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 418–419, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2012.03.006>
- Desprez, M. (2000). Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English Channel: Short-and long-term post-dredging restoration. *ICES Journal of Marine Science*, 57(5), 1428–1438. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0926>
- Drap, P., 2012. Underwater Photogrammetry for Archaeology, in: Da Silva, D.C. (Ed.), *Special Applications of Photogrammetry*. InTech. <https://doi.org/10.5772/33999>
- Edwards, A.J., Gomez, E.D., 2007. Reef Restoration Concepts and Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty.
- Figueira, W., Ferrari, R., Weatherby, E., Porter, A., Hawes, S., Byrne, M., 2015. Accuracy and Precision of Habitat Structural Complexity Metrics Derived from Underwater Photogrammetry. *Remote Sensing* 7, 16883–16900. <https://doi.org/10.3390/rs71215859>
- Gili, J., Coma, R., 1998. Benthic suspension feeders in marine food webs. *Trends Ecol Evol* 13:297–337
- Gutiérrez-Heredia, L., D’Helft, C., Reynaud, E.G., 2015. Simple methods for interactive 3D modeling, measurements, and digital databases of coral skeletons: Simple methods of coral skeletons. *Limnology and Oceanography: Methods* 13, e10017. <https://doi.org/10.1002/lom3.10017>
- Harmelin, J.-G., 2009. Effets de la sédimentation sur le coralligène : synthèse des connaissances. Rapport Principauté de Monaco / GIS Posidonie.
- Holmes, G., 2008. Estimating three-dimensional surface areas on coral reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 365, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.045>
- Kenny, A. J., & Rees, H. L. (1994). 0025-326X(93)E0003-Q The Effects of Marine Gravel Extraction on the Macrobenthos: Early Post-dredging Recolonization. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 28, Issue 7).
- Lavy, A., Eyal, G., Neal, B., Keren, R., Loya, Y., Ilan, M., 2015. A quick, easy and non-intrusive method for underwater volume and surface area evaluation of benthic organisms by 3D computer modelling. *Methods in Ecology and Evolution* 6, 521–531. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12331>
- Linder, W., 2016. *Digital Photogrammetry*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-50463-5>
- López-Jamar, E., & Mejuto, J. (1988). Infaunal benthic recolonization after dredging operations in La Coruña Bay, NW Spain. In *Cah. Biol. Mar* (Vol. 29).

Marre, G., Holon, F., Luque, S., Boissery, P., Deter, J., 2019. Monitoring Marine Habitats With Photogrammetry: A Cost-Effective, Accurate, Precise and High-Resolution Reconstruction Method. *Frontiers in Marine Science* 6, 276. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00276>

McCauley, J. E., Parr, R. A., & Hancock, D. R. (1977). Benthic infauna and maintenance dredging: A case study. *Water Research*, 11(2), 233–242. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0043-1354\(77\)90131-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0043-1354(77)90131-2)

Miller, D. C., Muir, C. L., & Hauser, O. A. (2002). Detrimental effects of sedimentation on marine benthos: what can be learned from natural processes and rates? *Ecological Engineering*, 19(3), 211–232. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00081-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00081-2)

Mizuno, K., Asada, A., Matsumoto, Y., Sugimoto, K., Fujii, T., Yamamuro, M., Fortes, M.D., Sarceda, M., Jimenez, L.A., 2017. A simple and efficient method for making a high-resolution seagrass map and quantification of dugong feeding trail distribution: A field test at Mayo Bay, Philippines. *Ecological Informatics* 38, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.02.003>

Pollio, J., 1968. Applications of Underwater Photogrammetry. Naval Oceanographic Office 47.

Price, D.M., Robert, K., Callaway, A., Lo Iacono, C., Hall, R.A., Huvenne, V.A.I., 2019. Using 3D photogrammetry from ROV video to quantify cold-water coral reef structural complexity and investigate its influence on biodiversity and community assemblage. *Coral Reefs* 38, 1007–1021. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01827-3>

Sánchez-Tocino, L., de La Linde Rubio, A., Sol Lizana Rosas, M., Pérez Guerra, T., & Tierno De Figueroa, J. M. (2017). Pruning treatment: A possible method for improving the conservation status of a *Ellisella paraplexauroides* Stiasny, 1936 (Anthozoa, Alcyonacea) population in the Chafarinas Islands? *Mediterranean Marine Science*, 18(3), 479–485. <https://doi.org/10.12681/mms.2013>

Sardá, R., Pinedo, S., Gremare, A., & Taboada, S. (2000). Changes in the dynamics of shallow sandy-bottom assemblages due to sand extraction in the Catalan Western Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 57(5), 1446–1453. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0922>

Simonini, R., Ansaloni, I., Bonvicini Pagliai, A. M., Cavallini, F., Iotti, M., Mauri, M., Montanari, G., Preti, M., Rinaldi, A., & Prevedelli, D. (2005). The effects of sand extraction on the macrobenthos of a relict sands area (northern Adriatic Sea): Results 12 months post-extraction. *Marine Pollution Bulletin*, 50(7), 768–777. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.02.009>

van Dalssen, J. A., & Essink, K. (2001). Benthic Community Response to Sand Dredging and Shoreface Nourishment in Dutch Coastal Waters.

van Dalssen, J. A., Essink, K., Toxvig Madsen, H., Birklund, J., Romero, J., & Manzanera, M. (2000). Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science*, 57(5), 1439–1445. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0919>

Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., Reynolds, J.M., 2012. “Structure-from-Motion” photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>



Contact

7, place Cassan - Quai des pêcheurs

34 280 Carnon - France

Tél. : 04.67.66.32.48 - contact@andromede-ocean.com

www.andromede-ocean.com

