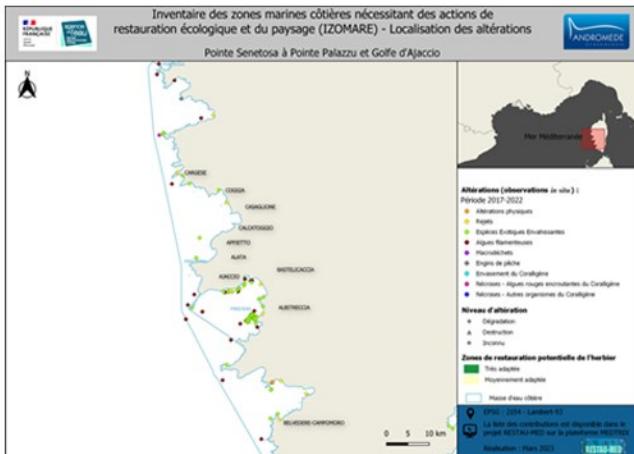


IZOMARE

Inventaire des ZOnes Marines côtières nécessitant des Actions de Restauration Ecologique et du paysage



Restauration de Corail Rouge
Projet MESOMED

Informations générales

Partenaires du projet : Université de Toulon, Aix-Marseille Université, Institut Méditerranéen de l'Environnement et des Risques (IMER), Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Institut National de la Recherche et de la Technologie (INRA), Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM), Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Institut National des Sciences Appliquées de Paris, Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Institut National des Sciences Appliquées de Villeurbanne.

Objectifs du projet

Comprendre les processus physiologiques et biochimiques qui régulent la croissance et la survie des coraux pour élaborer un protocole de restauration.

Suivi scientifique

Chaque année, des relevés sont effectués sur une surface de 20 km² au niveau de l'île de Porquerolles. Ces relevés sont utilisés pour évaluer l'état de santé des coraux et pour déterminer les meilleures stratégies de restauration.

Résultats obtenus

Un rapport annuel est fourni pour chaque île de Porquerolles, indiquant l'état de santé des coraux et les recommandations pour leur restauration.

Publics cibles

Les résultats sont destinés aux gestionnaires de parcs nationaux et aux autorités locales pour informer les politiques de gestion et de protection des coraux.



Transplantation de Posidonie
Transplantation sur substrat rocheux

Informations générales

Partenaires du projet : Institut d'écologie des îles et de la Mer Méditerranée (IEMM), Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Institut National de la Recherche et de la Technologie (INRA), Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Institut National des Sciences Appliquées de Villeurbanne.

Objectifs du projet

Évaluer l'efficacité de la transplantation de P. oceanica sur un substrat rocheux et déterminer les meilleures techniques pour la transplantation et la survie des plantes.

Suivi scientifique

Des relevés sont effectués tous les deux mois pour suivre l'évolution de la transplantation.

Résultats obtenus

Un rapport annuel est fourni pour chaque île de Porquerolles, indiquant l'état de santé des plantes et les recommandations pour leur restauration.

Publics cibles

Les résultats sont destinés aux gestionnaires de parcs nationaux et aux autorités locales pour informer les politiques de gestion et de protection des plantes.

Rapport final - Année 2023



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



Algues filamenteuses sur des roches infralittorales en Corse ©Laurent Ballesta.

Coordination Andromède Océanologie :

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

DETER Julie / julie.deter@andromede-ocean.com

Coordination Agence de l'eau RMC :

BOISSERY Pierre / Pierre.BOISSERY@eaurmfc.fr

Traitement des données :

DELARUELLE Gwénaëlle, TIBEUF Lolita, WEBER Samantha

Mise en page des cartographies, structuration du SIG :

DELARUELLE Gwénaëlle

Rédaction :

DELARUELLE Gwénaëlle, DETER Julie, HOLON Florian, TIBEUF Lolita, WEBER Samantha

Crédit photographique :

Andromède Océanologie

Ce document doit être cité sous la forme suivante :

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

Sommaire

SOMMAIRE	3
I. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET	1
II. MATERIEL ET METHODES	3
I. SYNTHESE DE SOLUTIONS TECHNIQUES ET OPERATIONNELLES EXISTANTES	3
II. LOCALISATION ET CARTOGRAPHIE DES ZONES OU LES ECOSYSTEMES ONT ETE DEGRADES OU DETRUISTS	4
III. PROPOSITIONS D'ACTIONS D'AIDE AU RETABLISSEMENT DES ECOSYSTEMES	10
III. PROJETS OPERATIONNELS DE RESTAURATION ECOLOGIQUE ET DU PAYSAGE	11
I. PRESENTATION GENERALE DES PROJETS ETUDES.....	11
II. FICHES PROJETS	13
IV. CARTOGRAPHIE DES ALTERATIONS	60
I. RECENSEMENT DES ALTERATIONS OBSERVEES <i>IN SITU</i>	60
II. ETUDE DE CAS : RESTAURATION DE L'HERBIER DE POSIDONIE EN FRANCE.....	65
III. ETUDE DE CAS : RESTAURATION DES RECIFS CORALLIGENES EN FRANCE.....	68
IV. ATLAS CARTOGRAPHIQUE	70
V. PROPOSITIONS D'AIDES AU RETABLISSEMENT DES ECOSYSTEMES ALTERES	90
VI. CONCLUSION	95
VII. BIBLIOGRAPHIE	97
VIII. ANNEXES	100
I. ANNEXE 1 : CALCUL DES EVOLUTIONS ANNUELLES DE LA SEDIMENTATION ET DES NECROSES DU CORALLIGENE. 100	
II. ANNEXE 2 : TABLEAU SYNTHETIQUE DES FICHES PROJETS.	103
III. ANNEXE 3 : NOMBRE TOTAL DE STRUCTURES CONTACTEES ET AYANT REPONDU EN FONCTION DE LEUR TYPE. 107	
IV. ANNEXE 4 : LISTE DES PERSONNES ET/OU STRUCTURES AYANT REPONDU A NOS SOLICITATIONS DANS LE CADRE DE L'AXE 2.	108
V. ANNEXE 5 : CARTE DES DISPOSITIFS DE BALISAGE.....	110



I. Contexte et objectifs du projet

Les écosystèmes marins jouent un rôle crucial dans le bien-être de l'humain, qu'il s'agisse d'approvisionnement alimentaire, de protection des côtes ou de régulation du climat global (Barbier 2012 ; Halpern *et al.* 2012 ; HLPE, 2014). Aujourd'hui ces écosystèmes changent, se dégradent et disparaissent, en conséquence de l'exploitation intensive et d'autres effets anthropiques locaux et mondiaux (Burke *et al.* 2011 ; IPCC, 2013). La dégradation des zones côtières est l'un des plus graves problèmes de biodiversité auxquels nous sommes aujourd'hui confrontés. Historiquement, la plupart des sociétés humaines se sont installées à proximité du littoral, et encore aujourd'hui, 44 % de la population mondiale se concentre à moins de 150 km des côtes (Atlas des Océans des Nations Unies). L'érosion des terres, qui engendre une augmentation de la turbidité et de la sédimentation dans les eaux côtières, la destruction des habitats, le déversement de polluants, la surpêche, le changement climatique et l'introduction d'espèces exotiques sont autant de menaces pour les écosystèmes marins côtiers. Malgré les efforts croissants déployés pour conserver ces écosystèmes, les analyses mondiales montrent **des taux de perte et de changement sans précédent à tous les niveaux de la biodiversité** (Butchart *et al.*, 2010 ; Cardinale *et al.*, 2012). La mer Méditerranée est parmi les régions marines les plus menacées et subit d'importants changements majeurs tant environnementaux que biologiques. Depuis plus d'un siècle, ces perturbations ont provoqué un profond remaniement des assemblages d'espèces ayant pour conséquence, en conjonction avec les modifications environnementales, une baisse considérable des services rendus par les écosystèmes marins, et une augmentation des coûts de remplacement qui en découlent pour l'humanité (Barbier, 2012).

Actuellement, la conservation et la gestion des ressources naturelles sont les principales contre-mesures à la dégradation des écosystèmes marins (Abelson *et al.*, 2016), et ces dernières sont basées principalement sur la régulation du comportement humain. Éviter la dégradation implique de prendre une série de mesures, telles que la conservation des sites et des zones sensibles ayant une importance environnementale et patrimoniale, le contrôle des activités humaines par la sensibilisation et l'application de lois et de règles, et la création de réserves naturelles et de zones marines protégées efficaces (Boissery *et al.*, 2023). Cependant, dans de nombreux cas, la conservation et la gestion, telles qu'elles sont pratiquées, sont insuffisantes pour maintenir les écosystèmes en bonne santé, et encore plus pour inverser le déclin et restaurer les fonctions et services écosystémiques (Lotze *et al.*, 2011 ; De'ath *et al.*, 2012 ; Parravicini *et al.*, 2013 ; Gomei *et al.*, 2019). Le rétablissement naturel, c'est-à-dire le processus par lequel un écosystème revient à son état antérieur à la suite de la cessation d'un impact ou d'une altération, est un processus lent qui peut prendre des décennies, voire des siècles (Lotze *et al.*, 2011), et dépend de facteurs intrinsèques comme les traits d'histoire de vie ou les caractéristiques propres à l'écosystème, et de facteurs extrinsèques comme le type et l'ampleur de la perturbation (Worm *et al.*, 2006, dans Fraschetti *et al.*, 2021). Ainsi, les initiatives actuelles de conservation visant à atténuer les menaces humaines (restauration dite passive ou non assistée) peuvent être insuffisantes pour arrêter ou inverser les processus de changement des écosystèmes. A cette fin, il est nécessaire de diversifier les approches, et la restauration active est considérée comme une stratégie efficace pour compléter les actions actuelles de conservation et de gestion, lorsque le rétablissement naturel des écosystèmes est exclu (Perrow et Davy, 2002 ; Perring *et al.*, 2015 ; McCrackin *et al.*, 2017 ; Jones *et al.*, 2018 ; Lindegren *et al.*, 2018). En effet, si nous sommes en mesure d'identifier les inhibiteurs spécifiques au rétablissement, et que ces derniers peuvent être surmontés par certaines interventions, alors ce long processus peut être considérablement raccourci. Cette identification et ces interventions sont l'essence même de la restauration écologique (Dobson *et al.*, 1997 ; Suding, 2011), qui est définie comme le processus d'aide au rétablissement d'un écosystème qui a été endommagé, dégradé ou détruit (Society for Ecological Restoration, 2004).

L'écologie de la restauration est une discipline scientifique relativement jeune (Suding, 2011) qui s'est imposée depuis les années 2010, dans le monde et en France, comme l'un des principaux leviers d'action collective en faveur de la biodiversité. Elle s'appuie aujourd'hui sur une **multiplicité d'approches et de**

techniques, sans cesse ajustées à la lueur des retours d'expériences passées ou en cours. Cependant, la restauration écologique peine encore à s'imposer, en particulier dans le milieu marin où il existe toujours de grands écarts entre les méthodes, approches et normes de mise en œuvre, et la science qui les soutient (Duarte *et al.*, 2015 ; Elliott *et al.*, 2007 ; Suding, 2011). Les actions de restauration écologique sont souvent mises en œuvre de manière empirique, et il reste difficile d'avoir accès à des retours d'expériences solides permettant d'en apprécier le succès réel. La notion même de succès d'une opération (ou de son efficacité) n'est pas consensuelle, ce qui rend parfois difficile le dialogue entre gestionnaires, scientifiques et porteurs de solutions techniques (Bouchoucha, 2020). De plus, la restauration des écosystèmes marins côtiers est perçue par beaucoup comme coûteuse et sujette à l'échec, ce qui explique en partie le faible nombre d'actions mises en œuvre en comparaison aux écosystèmes terrestres (Saunders *et al.*, 2020).

En phase avec la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin et la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, l'Agence de l'eau développe son action sur le milieu marin et soutient des actions de restauration des habitats et des fonctions écologiques des milieux marins (nurseries, frayères, habitat, continuité écologique) perdues ou altérées (Agence de l'eau, 2021). Ces actions, ne se veulent plus ponctuelles mais intégrées dans le cadre du Plan d'Action pour le Milieu Marin sous la forme d'un Schéma Territorial de Restauration Écologique (STERE). Cet outil permet une stratégie opérationnelle d'actions de préservations des petits fonds côtiers, par exemple via l'organisation des mouillages et d'actions de restauration écologique des fonctions de ces petits fonds à une échelle cohérente (*a minima* la masse d'eau)¹. Les collectivités, les gestionnaires de milieux naturels, les gestionnaires de ports et les acteurs économiques qui souhaitent engager des opérations de restauration écologique de ces milieux et de leurs fonctions (fonction de nurseries notamment) peuvent ainsi solliciter des aides auprès de l'Agence de l'eau. Toutefois, alors que les aides à la restauration écologique en mer se multiplient (France Relance, OFB, Agence de l'eau...) et que les enveloppes prévues peinent à être dépensées faute de projets proposés (Boissery, *comm. pers.*), la **littérature disponible pour aider ces acteurs à cibler les zones et les actions est encore faible** et souvent focalisée sur la restauration de la fonction de nurserie et/ou la pose de récifs artificiels (Lenfant *et al.*, 2015 ; DIRM, 2019). Même si des actions concrètes ont été menées sur les espèces et les habitats, il reste encore beaucoup de développements et d'études scientifiques à mener pour enrichir la boîte à outils de la restauration (Boissery *et al.*, 2023).

C'est dans ce contexte qu'est né le projet **IZOMARE**, porté par Andromède Océanologie et soutenu par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC). Ce dernier consiste à **réaliser un inventaire des zones marines côtières nécessitant des actions de restauration écologique et du paysage en Méditerranée française dans l'état des connaissances actuelles**. La restauration écologique est ici définie comme « une action sur l'habitat marin, la faune ou la flore permettant d'améliorer le fonctionnement écologique, dans une zone littorale où la qualité de l'eau est bonne et où les pressions à l'origine de la dégradation ont disparu ou sont maîtrisées » (Boissery, 2014). IZOMARE se décline en trois axes :

1. La synthèse des solutions techniques et opérationnelles existantes en Méditerranée (française ou autre)
2. La localisation et cartographie des zones où les écosystèmes ont été dégradés ou détruits en Méditerranée française, sur la période 2017-2022
3. Des propositions d'actions d'aide au rétablissement de ces écosystèmes.

L'objectif final de ce projet est **d'encourager et de faciliter la mise en œuvre de projets de restauration écologique et du paysage sur le littoral méditerranéen français**. Ce rapport présente la méthodologie utilisée pour répondre à ces trois axes, et les résultats obtenus.

¹ Ce schéma doit s'appuyer sur la connaissance existante de l'état écologique, des habitats côtiers et des pressions. Il peut se décliner dans les plans de gestion et les différents outils de planification.

II. Matériel et méthodes

I. Synthèse de solutions techniques et opérationnelles existantes

Ce premier axe du projet a pour objectif de recenser, sous forme de « **fiches projets** », les différentes solutions techniques et opérationnelles existantes et réalisables à court terme, trouvées par le biais d'une **revue bibliographique d'articles scientifiques** et de la **littérature grise récente**.

Cette revue s'appuie sur des recherches bibliographiques effectuées principalement sur Google scholar, Web of science, Research Gate, et Research Rabbit, ainsi que sur des documents techniques proposés dans le cadre de la démarche de coopération [DRIVER](#), de [webinaires ICO solutions](#), et de [travaux](#) au cours du Diplôme Universitaire (DU) Restauration écologique des petits fonds marins côtiers, proposé par l'Université de Montpellier depuis 2022.



Pour le recensement des projets, il n'y a pas de période limite fixée, et la zone de recherche considérée est la Méditerranée (française ou autre), à l'exception de quelques projets en Atlantique et en mer du Nord lorsque la technique peut être adaptée aux espèces et aux habitats méditerranéens.

Chaque fiche contient les informations générales suivantes :

- Nom du projet
- Porteur du projet
- Partenaires techniques et financiers
- Localisation et période
- Espèces/habitats ciblés
- Budget du projet
- Logo permettant de visualiser rapidement l'habitat/espèce ciblé par le projet de restauration
- Objectifs du projet
- Description de l'opération
- Suivi scientifique mis en place
- Résultats obtenus
- Illustration du projet
- Sources comprenant la publication scientifique de référence, le site internet et le contact avec l'adresse e-mail

Les fiches projets sont rédigées et mises en page d'après un modèle réalisé sur le site internet [Canva](#), puis, elles sont envoyées aux porteurs des projets pour relecture et validation.

II. Localisation et cartographie des zones où les écosystèmes ont été dégradés ou détruits

II.A. Recensement des altérations observées *in situ*

Cette seconde phase du projet consiste à recenser et localiser les différentes altérations (dégradations et destructions) des petits fonds côtiers observées *in situ* sur tout le littoral méditerranéen français (régions Occitanie, Provence-Alpes-Côte-d'Azur, et Corse), sur une période allant de **2017 à 2022**. Les différents types d'altérations relevés sont les suivants :

- La prolifération d'**algues filamentueuses**
- Les **altérations physiques**, qui comprennent les traces de mouillages et d'engins de pêche, les trous d'ancre/cratères/sillons/tranchées, les tuyaux/conduites/câbles/canalisations, et les blocs de matte arrachés
- Les **Espèces Exotiques Envahissantes (EEE)**
- Les **engins de pêche perdus**
- Les **macrodéchets**
- Les **rejets** en mer (rejets urbains et industriels, rejets sauvages)
- La **sédimentation du coralligène** (évolution annuelle de la sédimentation entre les deux derniers suivis [RECOR](#) supérieure à 2 % - détails dans l'Annexe 1)
- La **nécrose des algues rouges encroûtantes du coralligène** (évolution annuelle de la nécrose des algues rouges encroûtantes entre les deux derniers suivis [RECOR](#) supérieure à 1 % - détails dans l'Annexe 1)
- La **nécrose d'autres organismes du coralligène** (évolution annuelle de la nécrose d'autres organismes du coralligène entre les deux derniers suivis [RECOR](#) supérieure à 0,05 % - détails dans l'Annexe 1)

A ces altérations sont ajoutés les résultats d'une analyse des **dispositifs de balisage** réglementaires côtiers (« classiques » = bouées reliées à un corps-mort ou « inconnus ») menée par Andromède Océanologie pour l'OFB en 2022 (Analyse environnementale des dispositifs de balisage réglementaire côtiers de la région Sud). Pour cette étude, le recensement de ces dispositifs n'est restreint qu'à une seule région : Provence-Alpes-Côte d'Azur (une étude est en cours pour les régions Corse et Occitanie, dont les résultats seront disponibles en 2024).

Ces relevés d'altérations ont d'abord été extraits de **campagnes de terrain réalisées entre 2018 et 2022 par Andromède Océanologie lors des réseaux de surveillance [RECOR](#)** (réseau de surveillance des récifs coralligènes), **[TEMPO](#)** (réseau de suivi des herbiers de Posidonie), **[SURFSTAT](#)** (réseau d'analyse surfacique des habitats marins), **[IMPACT](#)** (réseau de suivi des pressions anthropiques côtières en Méditerranée française), ou encore lors d'expéditions scientifiques comme **[Gombessa](#)**.

Concernant l'identification des sites les plus affectés par la sédimentation du coralligène et les nécroses de la faune et flore benthique (nécrose des algues rouges encroûtantes du coralligène et nécroses d'autres organismes du coralligène), l'ensemble de la base de données [RECOR](#) (stations suivies entre 2010 et 2022) a été exploitée afin de quantifier l'évolution de ces indicateurs de sédimentation (pourcentage de recouvrement par le sédiment), de nécroses des algues rouges encroûtantes (pourcentage d'algues rouges encroûtantes nécrosées parmi le vivant), et de nécroses « autres organismes » (pourcentage d'autres organismes vivants nécrosés (bryozoaires, gorgones etc.) parmi le vivant). Pour chaque station de suivi RECOR, l'évolution de ces trois indicateurs a été mesurée entre les deux derniers suivis (N et N-1) et standardisée par la durée (en années) qui sépare ces deux suivis, afin d'obtenir une **évolution annuelle de chaque indicateur entre les deux derniers suivis**. Au final, ces variations ont été calculées pour 251 stations suivies entre 2010 et 2022, dont 144 pour lesquelles le dernier suivi a été réalisé récemment entre 2020 et 2022. Plus de détails sont disponibles dans l'Annexe 1.

Ces données internes à Andromède Océanologie ont ensuite été complétées par **des données issues d'autres programmes externes et réseaux de surveillance existants** tels que **FILAM'ED** (réseau de suivi des algues filamenteuses en Méditerranée française), **ALIEN** (réseau de surveillance d'espèces marines exotiques en Corse), **CARLIT** (réseau d'évaluation de l'état écologique du littoral rocheux méditerranéen français) ou **GHOSTMED** (réseau de signalisation et d'évaluation de l'impact des engins de pêche perdus).

Le tableau ci-dessous récapitule le type de données extraites des différentes bases de données consultées, ainsi que les années concernées pour ces dernières.

Tableau 1: Récapitulatif des bases de données utilisées, du type d'altérations qui en ont été extraits et de la période concernée

Base de données	Porteur(s) du projet	Type d'altérations extraits	Années
RECOR	Andromède Océanologie	Engins de pêche, macrodéchets, algues filamenteuses, EEE, envasement et nécrose du coralligène	2018-2022
TEMPO	Andromède Océanologie	Engins de pêche, macrodéchets, algues filamenteuses, EEE	2018-2022
IMPACT	Andromède Océanologie	Rejets urbains et industriels	2018-2022
SURFSTAT	Andromède Océanologie	Engins de pêche, macrodéchets, EEE, altérations physiques, rejets en mer	2021-2022
FILAM'ED	Andromède Océanologie	Algues filamenteuses	2018-2022
Inventaires des faciès à <i>Cladocora caespitosa</i> dans le Parc Naturel Marin du Cap Corse et de l'Agriate (PNMCCA)	Andromède Océanologie, PNMCCA, OFB	Engins de pêche, macrodéchets, algues filamenteuses, EEE	2021
Gombessa 6 & Gombessa 6+	Andromède Océanologie	Engins de pêche, macrodéchets, EEE, algues filamenteuses	2021-2022
Analyse environnementale des dispositifs de balisage réglementaire côtiers de la région PACA	Andromède Océanologie, OFB	Dispositifs de balisage	2021
CARLIT	Institut Méditerranéen d'Océanologie	Rejets en mer	2017-2021
GhostMed	Institut Méditerranéen d'Océanologie, OFB	Engins de pêche	2018-2021 ²
ALIEN-Corse	Office de l'Environnement de la Corse, Université de Corse, FFESSM	EEE	2018-2021 ³

La collecte des données s'est ensuite poursuivie par une **consultation des différents acteurs du littoral méditerranéen français**, par e-mail et/ou téléphone :

- Les **collectivités territoriales** (communes du littoral, départements, régions, communauté de communes, communautés d'agglomération, métropoles)
- Les **services de l'État** (DREAL, DIRM, DDTM, DMLC, ...)
- Les **établissements publics** (OFB, OEC, CEREMA, Conservatoire du littoral, Parcs Nationaux, ...)
- Les **gestionnaires d'espaces naturels** (sites Natura 2000, Parcs Nationaux, PNR, PNM, RNR, RNM, ...)
- Les **laboratoires et instituts de recherche**
- Les **associations** (CPIE, CEN, ...)
- Les **entreprises privées** (bureaux d'étude, SUEZ, ...)

Au total, **342 structures** ont été contactées entre 2022 et 2023 (Annexe 3).

² Données 2022 non transmises.

³ L'absence de financement n'a pas permis le traitement des données pour l'année 2022 (Christine Pergent-Martini Comm. Pers. Février 2023).

Ces consultations ont été réalisées sur deux périodes :

- **257 structures** ont été contactées sur une période de quatre mois, de mars à juin 2022. Un appel à participation a été lancé dans une rubrique du Cahier de Surveillance MEDTRIX n°13 (février – mars - avril 2022) (figure ci-contre).

- **85 structures supplémentaires** ont été contactées sur une période de trois mois, de janvier à mars 2023. Les structures ayant déjà répondu en 2022 ont été sollicitées une nouvelle fois afin de mettre à jour les données transmises précédemment.

LA PAROLE EST DONNÉE AUX UTILISATEURS

Besoin de votre aide pour IZOMARE (inventaire des zones marines côtières nécessitant des actions de restauration écologique)

« Alors que les aides à la restauration écologique en mer se multiplient (France Relance, OFB, Agence de l'eau...), le projet IZOMARE vise à réaliser un travail d'inventaire prospectif sur les besoins de travaux liés à la restauration des espèces ou des fonctions écologiques mais aussi à la réhabilitation des fonds marins présentant des macrodéchets ou des filets perdus. Depuis mars dernier, je travaille sur ce projet, porté par Andromède océanologie et soutenu par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, et notamment sur ses deux premiers axes :

1. **Synthétiser les actions de restauration et de nettoyage** techniquement réalisables à court terme (du nettoyage ou l'enlèvement de déchet et engin de pêche perdu à la plantation d'espèces végétales ou introduction d'espèces animales).
2. **Localiser les zones où les écosystèmes ont été dégradés, endommagés ou détruits** à partir de données de terrain, d'informations disponibles sur Medtrix ou d'autres sites web, de l'analyse d'images aériennes et d'une consultation des gestionnaires d'aires marines protégées (y compris zones nature 2000 en mer), des DREAL, des pêcheurs et structures de plongée pour la localisation de macrodéchets, engins de pêche perdus, espèces envahissantes. Nous avons besoin de votre aide pour ce point, pour partager vos informations et voir votre zone de travail analysée. Ce travail de localisation permet de dimensionner au mieux quels seraient les travaux nécessaires à engager et ainsi apprécier l'ampleur du travail à faire. Il ne préjuge en rien des solutions à mettre en œuvre ou des modalités opérationnelles (matrice d'ouvrage, calendrier, coût).

→ contactez-nous svp : izomare@andromede-ocean.com

Dans le projet RESTAU-MED, les résultats seront synthétisés sous forme d'un rapport disponible en ligne et de cartographies localisant des écosystèmes endommagés, dégradés ou détruits et des propositions d'actions d'aide au rétablissement des écosystèmes côtiers. Chaque acteur pourra ensuite s'en saisir pour proposer ou inciter des actions de restauration dans les différents territoires pour accélérer le rétablissement des écosystèmes marins. »

Enfin, une **analyse d'images aériennes via Google earth** a été effectuée sur la totalité du littoral Corse (où les eaux sont les plus claires), pour la recherche de corps-morts ou autres macrodéchets visibles à travers l'eau.

II.B. Création des bases de données sur les altérations

A l'issue de la phase de recensement des altérations, toutes les informations récoltées ont été traitées de manière à obtenir **dix bases de données** (format Excel), soit une pour chaque type d'altération.

A chaque observation a été associé un **niveau d'altération** (dégradation, destruction ou inconnu), qui a été déterminé en fonction de la **nature, de la taille, et de l'impact de l'altération**. Ainsi, les algues filamentueuses, les EEE, les rejets, les nécroses et la sédimentation du coralligène ont été considérés comme étant une dégradation. Les dispositifs de balisage de type classiques ont été considérés comme une destruction et ceux de type inconnu ont été considérés comme tel. Le niveau d'altération attribué à chaque engin de pêche perdu et macrodéchet dépendait de la taille de l'élément, et de l'habitat sur lequel il se trouvait. Par exemple, un grand filet de pêche se trouvant en épave sur des récifs coralligènes a été considéré comme une destruction, et une zone d'accumulation de macrodéchets plastiques (bouteilles, etc.) sur fond meuble ou sur roche a été considérée comme de la dégradation. Par ailleurs, l'accumulation d'engins de pêche sur un site ou la présence d'épaves a été considéré comme une destruction. Enfin, le niveau d'altération attribué aux altérations physiques dépendait de son type. Par exemple, les traces de mouillages, traces de chalut ou sillons ont été considérées comme une destruction alors que le recensement d'émissaire, de câble, de canalisation et de structures artificielles a été noté comme une dégradation.

Ces documents constituent les bases de données utilisées pour la cartographie, et contiennent les informations présentées dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Colonnes présentées dans les différentes bases de données. Les colonnes en gris sont communes à toutes les bases.

Nom de la colonne	Description
Projet	Nom du projet concerné par la base de données (IZOMARE)
Source_donnees	Source d'origine des données
Annee	Année d'acquisition des données
Date	Date d'acquisition des données
Longitude	Longitude de l'observation en Degrés Décimaux
Latitude	Latitude de l'observation en Degrés Décimaux
Profondeur	Profondeur de l'observation en mètres
Niveau_alteration	Niveau d'altération (dégradation, destruction ou inconnu)
Commentaires	Commentaires divers sur l'observation
Site	Nom du site de l'observation
Dispositifs de balisage	
BDD_source	Base de données source issue du travail analyse du balisage en région Sud
Type	Classique (bouée reliée à un corps-mort) ou inconnu
Nature_corps-mort	Nature du corps-mort
Type_de_balisage_general	Catégorie générale du balisage communal
Type_de_balisage	Sous-catégorie détaillée du balisage
Habitat	Biocénose sur lequel se trouve le dispositif de balisage
Priorité	Priorité d'enlèvement du dispositif de balisage (moyenne/forte/très forte)
Algues filamenteuses	
Pourcentage_recouvrement	Pourcentage de recouvrement d'algues filamenteuses
Classe_recouvrement	Classe de recouvrement d'algues filamenteuses : Très faible (<20%), Faible (20-40%, Moyen (40-60%), Fort (60-80%) et Très fort (>80%)
Illustration	Nom de l'illustration correspondante dans la BDD source
Autres espèces	Autres espèces observées
Engins de pêche perdus	
Type	Type d'engin de pêche (engin de pêche, corde, filet, palangre / fils de pêche, nasse)
Longueur	Longueur de l'engin en mètres
Largeur	Largeur de l'engin en mètres
Hauteur	Hauteur de l'engin en mètres
Surface	Surface de l'engin en m ²
Colonisation	Espèces ayant colonisé l'engin
Habitat	Habitat sur lequel se trouve l'engin de pêche
Quadrat_photographique	Photographie de l'engin de pêche
Espèces Exotiques Envahissantes	
Espèce	Espèce observée
Observateur	Nom de l'observateur ayant signalé l'EEE
Rejets en mer	
Type	Type de rejet (STEP, industriel, pluvial, sauvage, inconnu)
Nom_STEP	Nom de la station d'épuration
Code_STEP	Code de la station d'épuration
Dispositif	Dispositif d'épuration utilisé
Macrodéchets	
Habitat	Habitat initial sur lequel se trouve le macrodéchet
Envasement et nécrose du coralligène ⁴	
Pourcentage_envasement_coralligene	Évolution annuelle du pourcentage de recouvrement par de la vase (=sédimentation) du coralligène
Pourcentage_necrose_autres	Évolution annuelle du pourcentage de nécrose d'autres organismes du coralligène (bryozoaires, gorgones...) parmi le vivant

⁴ Les fichiers Excel de bancarisation des données d'envasement et de nécrose des assemblages coralligènes sont fournis avec les rapports annuels du réseau RECOR disponibles sur la plateforme MEDTRIX (<https://medtrix.fr/>).

Pourcentage_necrose_ERM	Évolution annuelle du pourcentage de nécrose des algues rouges encroûtantes parmi le vivant
Altérations physiques	
Type	Type d'altération physique : traces de mouillages et d'engins de pêche, les trous d'ancre/cratères/sillons/tranchées, les tuyaux / conduites / câbles / canalisations, et les blocs de matte arrachés

Toutes ces données d'altération ont ensuite été intégrées dans un **Système d'Information Géographique** (*logiciel QGIS 3.16.0*) afin d'obtenir une cartographie globale des altérations observées *in situ* sur le littoral méditerranéen français entre 2017 et 2022. Pour cela, un shapefile a été créé pour chaque type d'altération, représenté par une symbologie différente. Le niveau d'altération a également été ajouté sur la carte, matérialisé par trois symboles. Enfin, un **atlas cartographique de 19 zones** a été généré.

II.C. Evaluation de la surface et des zones potentielles de restauration de l'herbier de *Posidonia oceanica*

Cette partie a pour objectif d'**identifier des secteurs potentiels** (localisation, surface) adaptés à la mise en place d'**actions de restauration écologique spécifiques** à l'**écosystème des herbiers de *Posidonia oceanica***.

Le travail a consisté à effectuer une analyse surfacique des zones présentant un **déclin des herbiers**, basée sur la cartographie des biocénoses issue du projet DONIA Expert couplée à l'analyse du nombre de mouillages cumulés sur l'herbier avant 2022 et après 2022 (données AIS de DONIA Manager issues des plateformes AISHub et Vesselfinder, projet Suivi du mouillage disponible sur la plateforme MEDTRIX).

L'indice de déclin a été calculé de la manière suivante : (surface de matte morte / (surface d'herbier + surface de matte morte)). La surface de matte morte en Méditerranée française a été évaluée à partir de la dernière cartographie des biocénoses issue du projet DONIA Expert (*Cartographie détaillée des habitats marins - Données consultées en décembre 2022 sur la plateforme de surveillance MEDTRIX (<https://plateforme.medtrix.fr>)*). Cette cartographie comprend la mise à jour de la cartographie de 65 % des herbiers de posidonie en région Sud grâce à l'acquisition de 30 000 ha de données sonar en 2020 et de campagnes de vérités terrain (> 5000 vérités terrain) menées au printemps 2021 et 2022 dans le cadre du réseau SURFSTAT (Andromède Océanologie / AERMC, 2022). Cette cartographie globale intègre également celle des biocénoses marines mise à jour en 2021 dans le secteur entre Frontignan et Carnon région (région Occitanie) sur le site Natura 2000 « Posidonie de la côte palavasienne » (Andromède Océanologie / OFB, 2021) : Acquisition de 3 300 hectares de données acoustiques sonar de très bonne qualité et de haute résolution (20 cm par pixel), ainsi que de 2500 observations effectuées en plongée sous-marine (plongées ponctuelles et 65 km de transects en plongée-tractée totalisant ainsi 16 heures de plongée). En région Corse, un travail similaire est en cours de réalisation pour actualiser la cartographie des biocénoses marines et notamment près de 20 % des herbiers de phanérogames marines. Ainsi une première campagne en mer s'est déroulée au printemps 2022 et a permis de couvrir plus de 27 000 ha avec des acquisitions sonar. Une campagne de vérités terrain a été réalisée à l'automne 2022. Toutes ces données sont en cours de traitement et la cartographie des biocénoses marines en Corse sera finalisée courant 2023 et disponible dans le projet DONIA Expert.

Cette analyse a permis de cartographier deux types de zones :

- **Les zones très adaptées à la restauration écologique de l'herbier** : Il s'agit des zones très dégradées (déclin > 0,5), anciennement mouillées (plus de 10 mouillages avant 2022), et très peu mouillées aujourd'hui (moins de 10 mouillages depuis 2022).

- **Les zones moyennement adaptées à la restauration écologique de l'herbier :** zones moyennement dégradées ($\text{déclin} > 0,3$), anciennement mouillées (plus de 10 mouillages avant 2022), et peu mouillées aujourd'hui (moins de 30 mouillages depuis 2022).

La figure suivante illustre la méthodologie utilisée pour produire ces cartes.

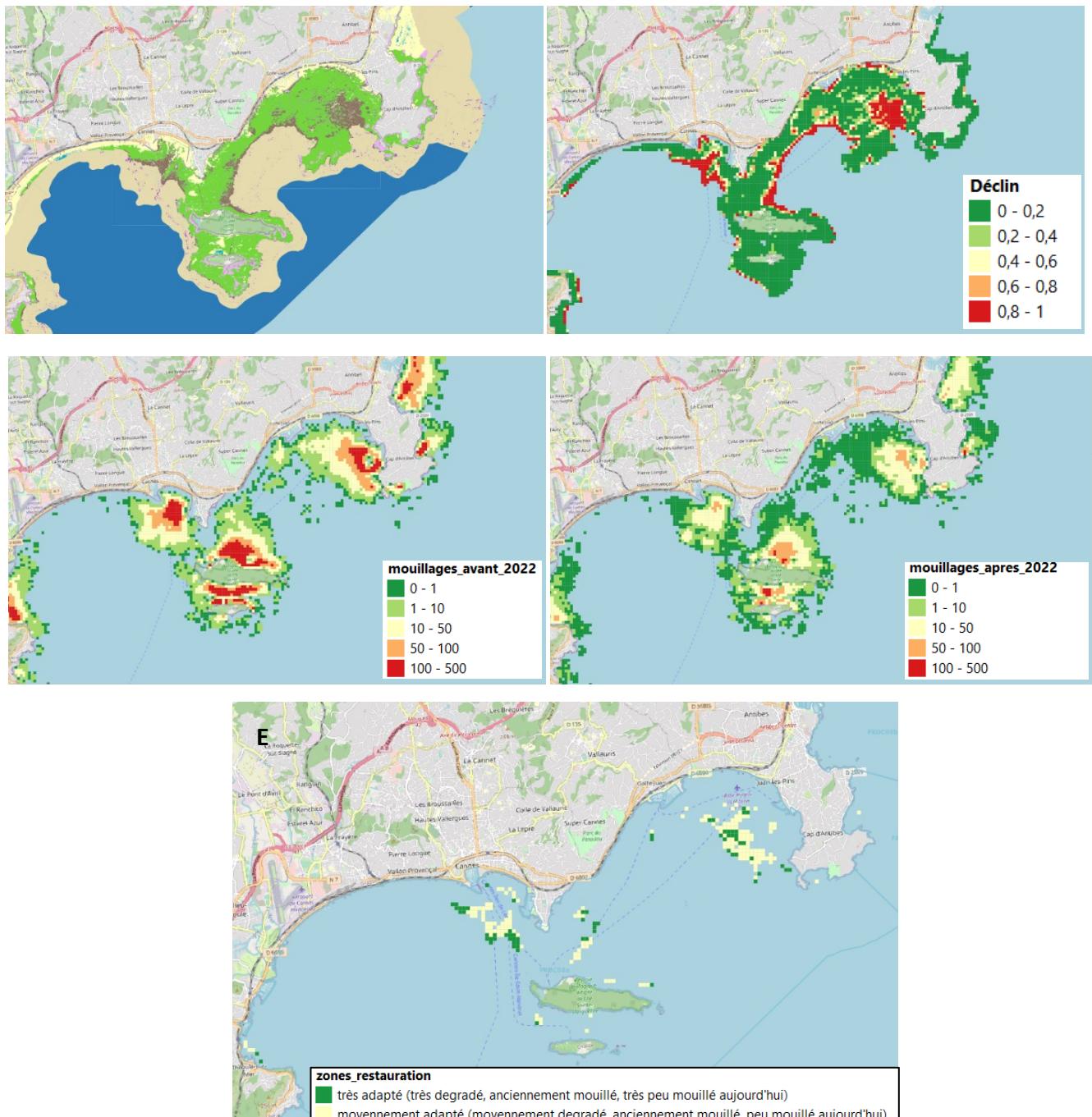


Figure 1 : Illustration de la méthode d'identification des secteurs adaptés à la mise en place d'actions de restauration écologique sur les herbiers de posidonie par analyse surfacique, sur la zone de Golfe Juan. (A) Cartographie des biocénoses marines réalisée par Andromède Océanologie, actualisée en décembre 2022 (zones d'herbiers en vert), (B) Indice de déclin de l'herbier, (C) Nombre de mouillages cumulés avant 2022 (D) Nombre de mouillages cumulés depuis 2022, (E) Cartographie des zones d'herbier selon leur niveau de compatibilité avec la mise en place d'actions de restauration écologique (source : Andromède Océanologie, Février 2023).

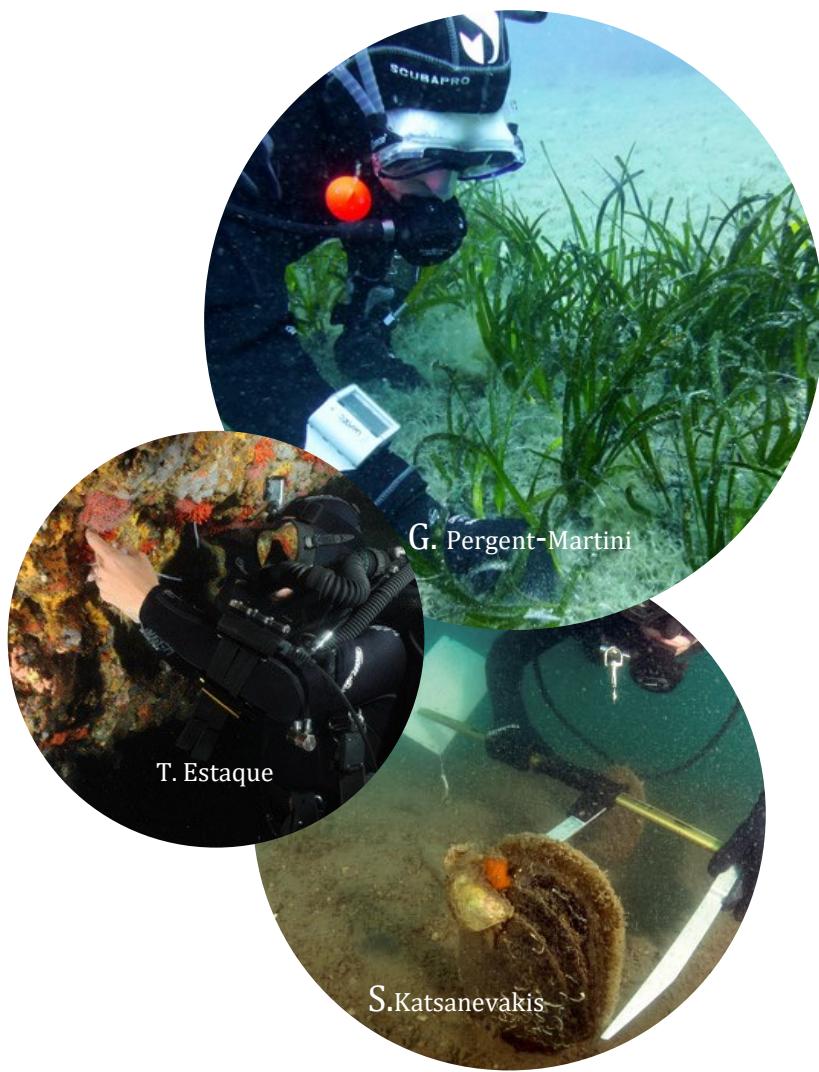
II.D. Etudes de cas

Cette partie du projet IZOMARE étudie plus particulièrement le cas de l'herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*) en présentant des coûts de sa restauration au regard des coûts de protection et de sa valeur économique (services rendus) ainsi qu'un exemple de restauration de récifs coralligènes en France

III. Propositions d'actions d'aide au rétablissement des écosystèmes

L'objectif de cette troisième et dernière partie du projet est de créer un tableau de propositions d'actions d'aide au rétablissement des écosystèmes dégradés ou détruits, intégrant les éléments suivants :

1. Les **différents types d'altérations** recensées dans le cadre de l'axe 2.
2. Les **impacts et problèmes qui en découlent pour les écosystèmes**, extraits d'une analyse bibliographique.
3. Les **actions proposées pour remédier à ces problèmes**, liste élaborée à l'aide d'une revue bibliographique.
4. Les **solutions opérationnelles existantes et techniquement réalisables à court terme de restauration écologique**.



III. Projets opérationnels de restauration écologique et du paysage

I. Présentation générale des projets étudiés

La synthèse bibliographique a permis de recenser **42 projets de restauration écologique et du paysage** situés majoritairement en mer Méditerranée. La liste de ces fiches projets est disponible en Annexe 2 (numéro de la fiche, titre et sous-titre du projet concerné, localisation géographique, espèce(s) / habitat(s) ciblé(s)). Parmi les projets de restauration écologique recensés sur le pourtour méditerranéen, 17 fiches portent sur des solutions opérées en Italie, 14 fiches sur des projets en France, six fiches sur des projets en Espagne, une fiche présente un projet en Norvège, une fiche concerne un projet en Croatie et une fiche cible un projet en Grèce. Concernant les projets hors Méditerranée, deux sont aux Etats-Unis.

Tableau 3 : Nombre de fiches projets en fonction des pays

Nom Pays	Nombre de fiches
Italie	17
France	14
Espagne	6
États-Unis	2
Norvège	1
Croatie	1
Grèce	1
Total	42

La carte ci-dessous localise les projets méditerranéens (les numéros correspondent à ceux des fiches de chaque projet qui sont indiqués dans l'Annexe 2).

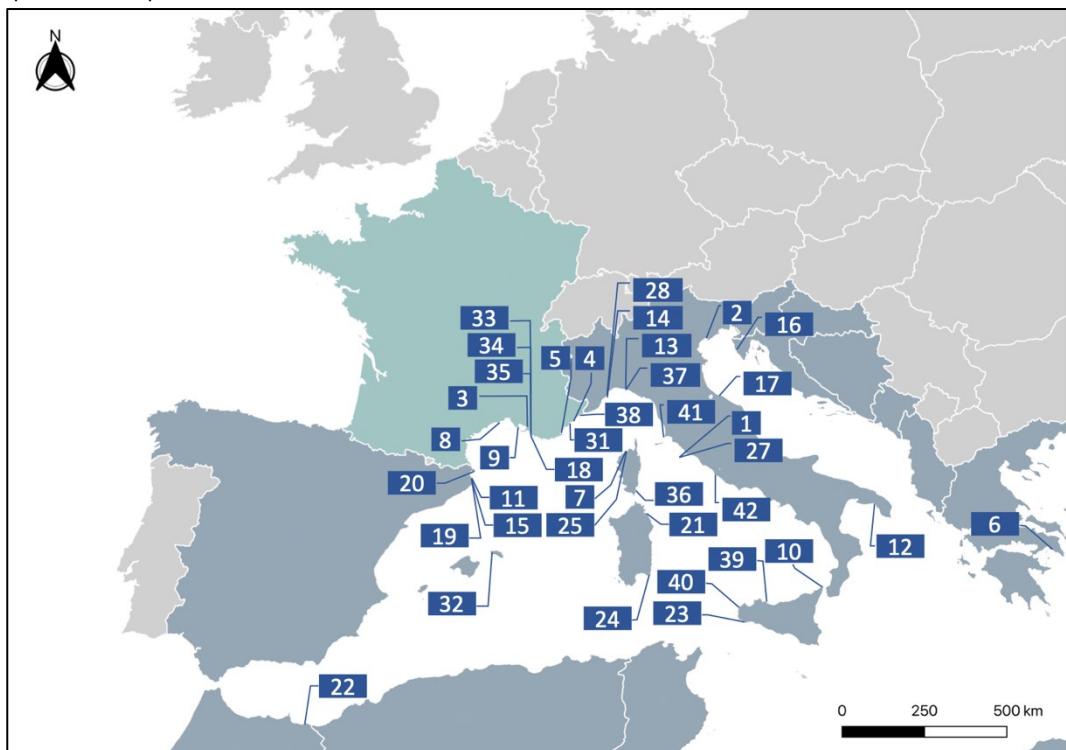


Figure 2 : Carte de la distribution spatiale des fiches projets en Méditerranée.

Les 42 fiches présentent des projets de restauration portant sur **dix habitats/espèces différents** (tableau suivant).

Ainsi, 11 fiches concernent des solutions de restauration de la **Posidonie** (*Posidonia oceanica*), cinq fiches sur les **Cystoseires** (*Erica amentacea*, *Treptacantha elegans*, *Gongolaria barbata*, *Gongolaria elegans*), quatre fiches sur les **Zostères** (*Zostera marina*, *Zostera marina*, *Zostera noltii*), deux fiches portent sur la **Cymodocée** (*Cymodocea nodosa*), une fiche sur les **Laminaires** (*Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima*), une fiche sur les **récifs coralligènes**, huit fiches présentent des projets sur la restauration de **Gorgones** (*Paramuricea clavata*, *Eunicella singularis*, *Eunicella cavolini*, *Eunicella verrucosa*, *Ellisella paraplexauroides*), cinq fiches sur le **Corail Rouge** (*Corallium rubrum*), quatre fiches portent sur la transplantation de **Grande Nacres** (*Pinna nobilis*) et une fiche présente un projet pour lutter contre le surpâturage des **Oursins** (*Arbacia lixula*, *Paracentrotus lividus*).

Un logo est visible sur chaque fiche permettant de rapidement identifier l'espèce ou l'habitat concerné par le projet étudié.

Tableau 4 : Nombre de fiches projets selon les espèces / habitat ciblés (remarques : deux fiches concernent à la fois la restauration de gorgones et de corail rouge)

Nombre de fiches	Logos	Espèce/habitat ciblé
11		Posidonie
5		Cystoseires
4		Zostères
2		Cymodocée
1		Laminaires
1		Récifs coralligènes
8		Gorgones
5		Corail Rouge
4		Grande Nacre
1		Oursins

Les fiches réalisées concernent des projets qui se déroulent sur une **période entre 1998 et 2025** (figure ci-dessous). Quatre projets de restauration écologique sont encore en cours comme par exemple le projet REPAIR (*REstoration of Anthropogenic Patches in Posidonia oceanica meadows*) porté par l'Université de Liège (Belgique) et STARESO, qui arrivera à échéance en 2025.

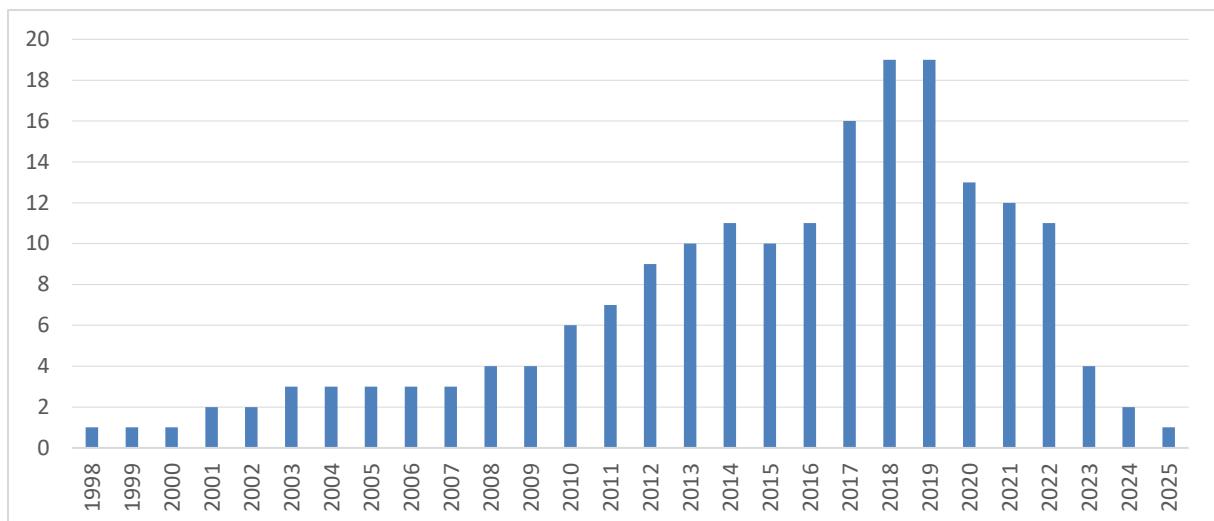


Figure 3 : Histogramme des années couvertes par les projets. Par exemple un projet qui démarrerait en 2015 et se terminerait en 2017 apparaîtrait en 2015, 2016 et 2017 sur le graphique.

La durée des suivis scientifiques de ces projets varie entre **trois mois et 20 ans**.

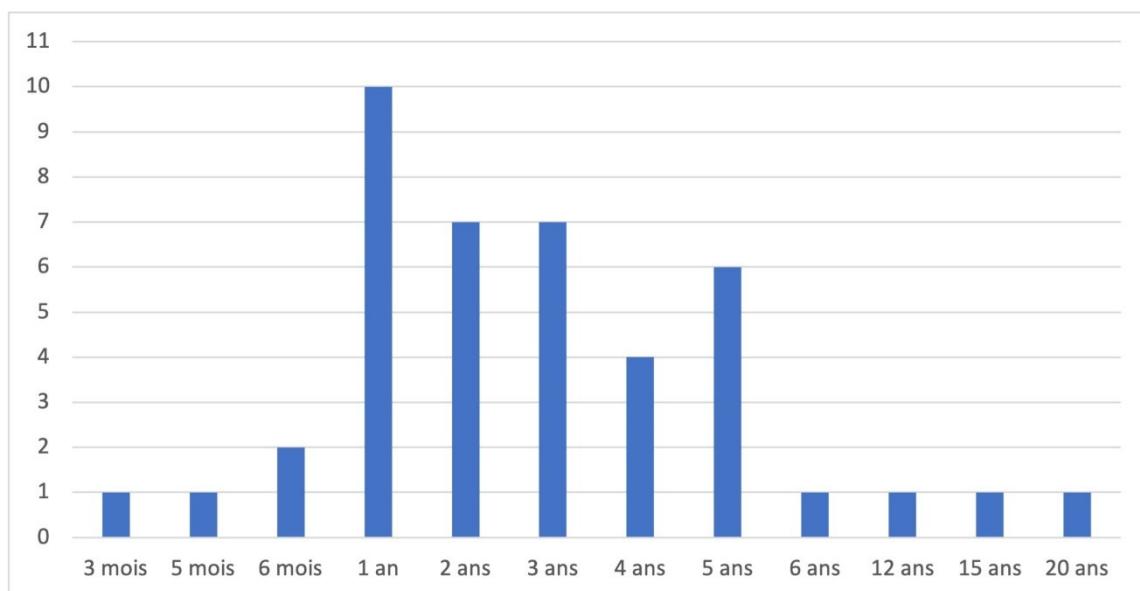


Figure 4: Durée des suivis scientifiques des projets étudiés.

II. Fiches projets

Sur les 42 fiches projets réalisées, 38 ont été envoyées aux 35 porteurs de projets. Et sur l'ensemble des fiches envoyées, **26 ont été validées par les porteurs de projets**. Les fiches sont présentées par catégorie : Récifs coralligènes / Gorgones / Corail rouge ; Cystoseires / Laminaires ; Grande nacres / Oursins ; Herbiers de phanérogames.

La numérotation des fiches est présentée sous la forme suivante : Numéro de fiche : Espèce_Nom du projet_Localisation_Pays

II.A. Restauration des récifs coralligènes, gorgones et/ou du corail rouge

La carte ci-dessous représente la répartition des projets de restauration des récifs coralligènes, gorgones et/ou du corail Rouge.

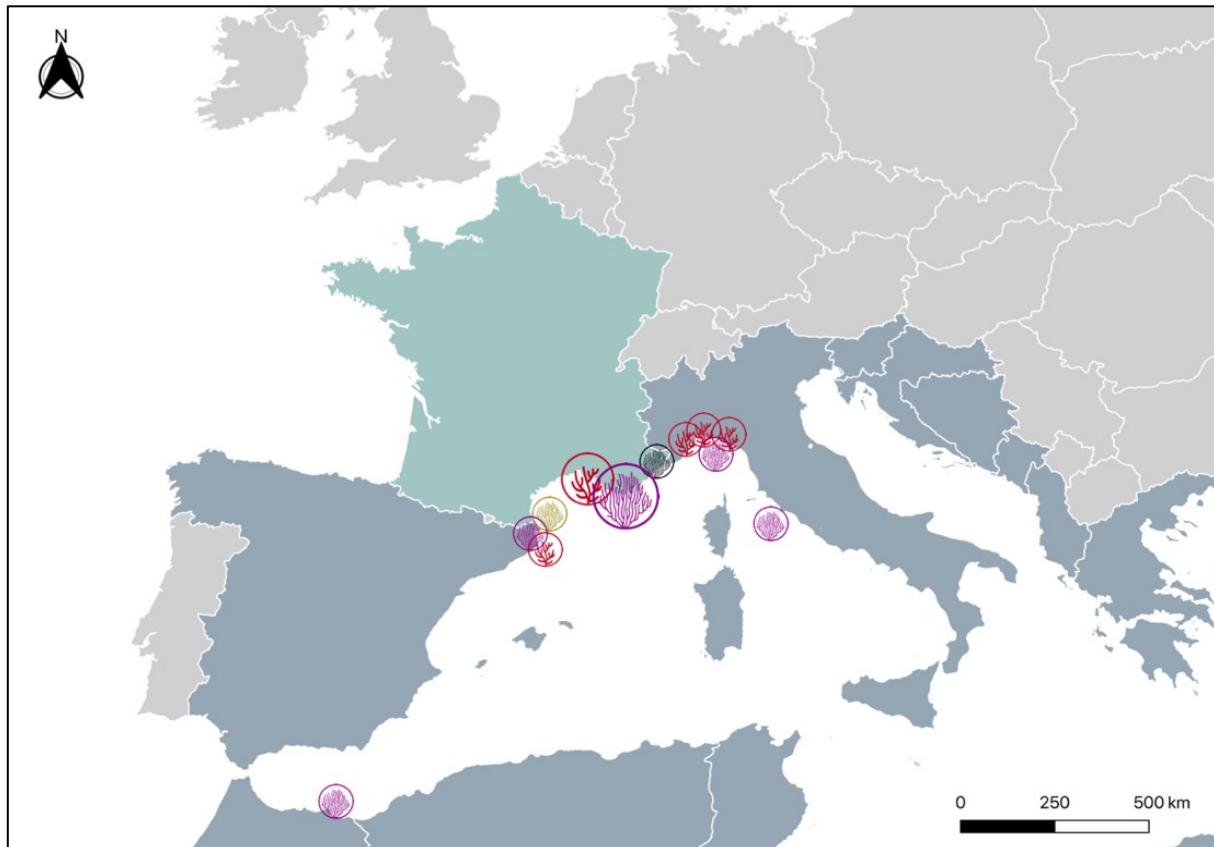


Figure 5 : Répartition spatiale des fiches projets Corail Rouge, Gorgones et récifs coralligènes (se reporter au tableau 4 pour la signification des symboles).

Fiche 38 : Récifs coralligènes_RESPCOR_France

Restauration de récifs coralligènes

Projet RESCOR

Informations générales

Porteur(s) du projet : Andromède Océanologie

Partenaires techniques et financiers : Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC)

Nice Côte d'Azur Métropole

Localisation : St-Jean-Cap-Ferrat, Provence-Alpes-Côte d'Azur, France

Période : 2018 - 2022

Espèce/habitat ciblé : Récifs coralligènes

Budget : 275 000 € (actions de nettoyage et suivi scientifique pendant 5 ans)



Nettoyage par jet d'eau



Objectifs du projet

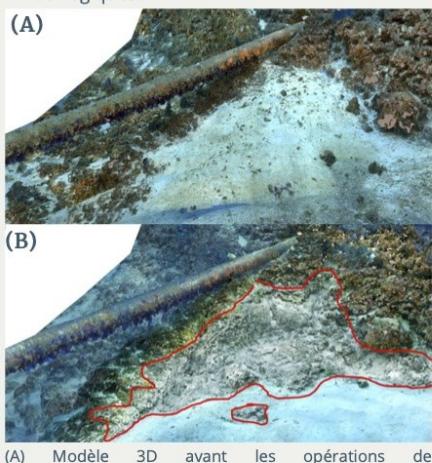
Retrait de sédiment et nettoyage d'un récif coralligène enseveli par la formation d'un talus sédimentaire provenant d'opérations de forage.

Rétablissement la biodiversité, la structure et la dynamique de l'écosystème préexistant.

Suivi scientifique

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

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



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

Description de l'opération

Le projet RESCOR s'est déroulé en trois étapes :

- **Caractérisation de la zone du projet (-32 à -42 m) : cartographie** des biocénoses de la zone de dépôt des sédiments & analyse granulométrique et physico-chimique des sédiments côtiers de la zone du projet et de dépôt.
- **Retrait de sédiments et nettoyage** du récif coralligène à partir d'une méthode innovante par **jet d'eau (soufflage)**. Cette étape a nécessité **320 heures** d'intervention et **20 jours** de mission.
- **Suivi temporel des communautés** du récif coralligène avant et après les opérations de désensevelissement (**8 suivis** : deux fois par an pendant trois ans puis une fois par an durant deux ans).

Résultats obtenus

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

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

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

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

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

Sources

Site internet :

Plus d'informations sur le projet disponibles dans le projet RESTAU-MED sur la plateforme MEDTRIX (https://medtrix.fr/portfolio_page/restau-med/)

Contact :

Gwenaëlle Delaruelle, Andromède Océanologie
contact@andromede-ocean.com

Fiche 1 : Gorgones_Costa Concordia_Italie

Restauration de Gorgones



Restaurer des gorgones arrachées

Informations générales

Porteur(s) du projet : Université de Rome, Italie

Partenaires techniques et financiers : Costa Croisières

Centre Interuniversitaire de Biologie Marine
(CIBM)

Institut pour la protection et la recherche
environnemental (ISPRA)

Localisation : Site du naufrage du Costa Concordia, île du Giglio, Italie

Période : 2017 - 2023

Espèce/habitat ciblé : *Eunicella cavolini*
Eunicella singularis
Paramuricea clavata

Budget : NA



Objectifs du projet

Restaurer des récifs coralligènes dégradés par le naufrage en 2012 et les travaux d'enlèvement du Costa Concordia.

La technique et les matériaux utilisés dans cette étude pilote constitueront des informations précieuses pour mener à bien la restauration **des écosystèmes marins sur de grandes échelles spatiales**.

Description de l'opération

Transplantation de **fragments** issus de **captures accidentnelles ou naturellement détachés** entre 20 et 40 m de profondeur.

Les fragments sont attachés aux récifs coralligènes impactés entre **20 et 35 m de profondeur avec de la colle époxy**.

Au total, **424 colonies** ont été transplantées sur le site :

- 56 % *Eunicella cavolini*
- 20 % *Eunicella singularis*
- 24 % *Paramuricea clavata*

Suivi scientifique

Evaluation de l'efficacité de la transplantation par **recensements visuels sous-marins** et **échantillonnages photographiques**.

Quatorze suivis sur deux ans et demi d'étude de septembre 2018 à février 2021.

Les efforts de surveillance sont toujours en cours avec une **fréquence bi-mensuelle**.

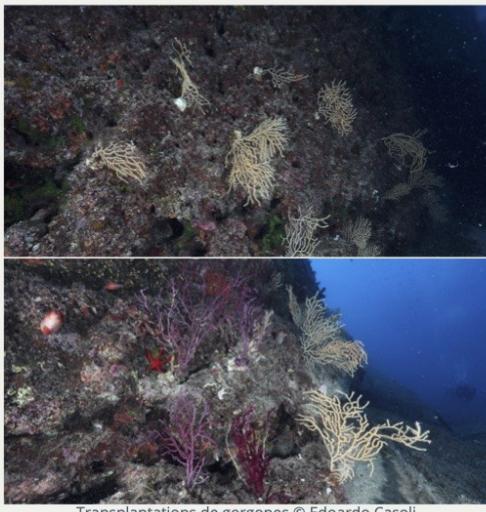
Résultats obtenus

Le **taux de survie** de l'ensemble des gorgones transplantées deux ans et demi après l'opération (soit en février 2021) était de **82,1 %**.

Des **baisses importantes au cours des deux premiers mois après chaque événement de transplantation** ont été relevées. Puis le taux de survie est resté **stable** après **mai 2020**.

Aucun événement de mortalité n'a été signalé parmi les colonies naturelles de septembre 2018 à février 2020.

En janvier 2023, soit **quatre ans après l'opération**, le taux de survie des gorgones transplantées était **supérieur à 80 %**.



Transplantations de gorgones © Edoardo Casoli

Sources

Publication scientifique :

Casoli, Edoardo, Daniele Ventura, Gianluca Mancini, Sara Cardone, Fulvia Farina, Lorenzo Donnini, Daniela Silvia Pace, Richard Shaul, Andrea Belluscio, et Giandomenico Ardizzone. (2022). Rehabilitation of Mediterranean Animal Forests Using Gorgonians from Fisheries By-catch. Restoration Ecology 30, n° 1.
<https://doi.org/10.1111/rec.13465>.

Site internet : NA

Contact :

Edoardo Casoli, Université de Rome, Italie
edoardo.casoli@uniroma1.it

Fiche 14 : Gorgones Blanches_MERCES_Italie

Transplantation de Gorgones Blanches



Transplantation par la technique de la double branche

Projet MERCES

Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas

Informations générales

Porteur(s) du projet : Université Polytechnique des Marches, Ancône, Italie
Partenaires techniques et financiers : Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique (CSIC), Espagne

Localisation : Île Gallinara, Mer de Ligurie, Italie

Période : 2017 - 2019

Espèce/habitat ciblé : *Eunicella singularis*

Budget : NA



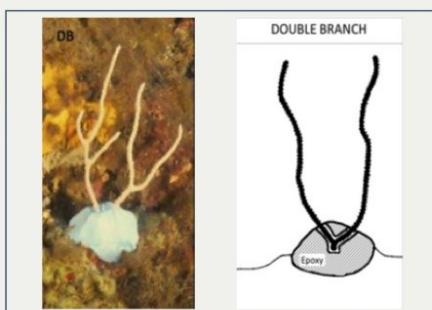
Objectifs du projet

Restaurer les conditions et l'habitat qui abritait autrefois des gorgones.

Suivi scientifique

La survie et le taux de croissance ont été considérés comme indicateurs du succès de l'action.

Les sites de l'étude ont fait l'objet de deux à quatre sessions de suivi.



Technique de transplantation Double Branche (DB). © Fabio Rossetto



Eunicella singularis © Andromède Océanologie

Description de l'opération

La méthode mise en œuvre pour cette action pilote a été sélectionnée à partir de tests antérieurs utilisant différentes techniques de transplantation.

Parmi elles, la **technique de la double branche** a montré le plus haut pourcentage de **survie** et c'est pour cette raison que la transplantation à grande échelle a été mise en œuvre avec cette technique.

Cette dernière consiste à fixer une colonie adulte en forme de V directement sur le substrat avec de la **résine époxy**, qui recouvre le point de ramifications.

Elle a été mise en œuvre sur **trois sites différents** entre **30 et 35 m de profondeur** autour de l'île Gallinara.

Résultats obtenus

La **survie des transplants** variait de **55 à 25 %** selon les sites, à la fin de la période de suivi (deux ans).

Le **taux de croissance** était **négatif** dans tous les sites, avec une **perte** de la taille moyenne allant de **-1,2 à -5,8 cm**.

A la fin de cette première période de deux ans, en mai 2019, **100 nouvelles colonies** ont été transplantées. Les 50 colonies issues des greffes précédentes étaient toujours en vie *in situ*.

Le site était donc adapté à la transplantation avec la technique de la double branche. La **première phase de l'action pilote peut être considérée comme réussie**.

Sources

Publication scientifique :

Garrabou, J., Cerrano, C., Torsani, F., Linares, C., Gómez Gras, D., López Sendino, P., López-Sanz, A., Medrano, A., Pagés, M., Montero-Serra, I., With Fagerli, C., Christie, H., Tamburello, L., Guarnieri, G., & Fraschetti, S. (2020). Evaluation of the effectiveness of pilot restoration actions. Derivable 3.4. MERCES project. 1-25.

Site internet : <http://www.merces-project.eu/>

Contact :

Joaquim Garrabou, Institut des Sciences de la Mer, Espagne
garrabou@icm.csic.es

Fiche 15 : Gorgones Rouges_MERCES_Italie

Transplantation de Gorgones Rouges

Projet MERCES

Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas

Informations générales

Porteur(s) du projet : Université Polytechnique des Marches, Ancône, Italie

Partenaires techniques et financiers : Conseil Supérieur de la Recherche scientifique (CSIC), Espagne
Aire Marine Protégée (AMP) des îles Medes

Localisation : Aire Marine Protégée (AMP) des îles Medes, Espagne

Période : 2017 - 2019

Espèce/habitat ciblé : *Paramuricea clavata*

Budget : NA



Restaurer des populations naturelles dégradées



Objectifs du projet

Améliorer le rétablissement des populations d'une espèce clé des récifs coralligènes : les gorgones rouges *Paramuricea clavata*.

Description de l'opération

Des fragments (5 - 10 cm) de colonies saines (> 30 cm de hauteur) de gorgones rouges (*Paramuricea clavata*) ont été collectés dans une population des îles Medes. Les fragments récoltés ont été conservés dans une glacière à 16 - 18 °C avant les greffes.

La transplantation a été réalisée sur un site hôte abritant une population dégradée de gorgones rouges sur un mur vertical entre 12 et 18 m de profondeur.

Six à huit fragments ont été transplantés dans des trous naturels à l'aide du mastic disposé sur des zones de 20 x 20 cm. Au total, plus de 400 fragments ont été transplantés.

Suivi scientifique

Des marques permanentes ont été placées pour identifier les zones de greffe et réaliser le suivi pendant deux ans.

Lors de chaque suivi saisonnier, des quadrats photographiques de 20 x 20 cm ont été placés au hasard. Au sein de chaque quadrat, le taux de survie et l'état de vitalité (sain ou avec nécrose) des fragments a été relevé. En cas de nécrose, le pourcentage a été estimé.

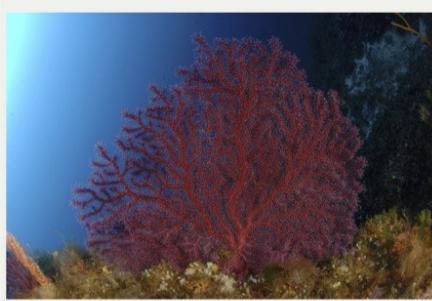
Résultats obtenus

Quelques jours après la transplantation, la plupart des greffes étaient saines, sans aucune nécrose, confirmant que la technique de restauration choisie était fiable.

Au cours de l'été 2017, la côte catalane a subi une forte prolifération d'algues filamenteuses (*Acinetospora crinita*) qui ont recouvert le substrat et les gorgones adultes empêchant de surveiller l'action de restauration jusqu'en octobre 2017. Lorsque la couverture d'algues a diminué, environ 60 % des greffes ont survécu, bien que plus de 50 % des greffes présentait une nécrose. En octobre 2018, les mauvaises conditions météorologiques ont empêché le suivi annuel prévu.

Après deux ans (mai 2019), le taux de survie était très faible (inférieur à 20 %) et la plupart des greffes étaient mortes malgré le fait que le mastic était toujours présent dans le substrat.

Le mastic était principalement recouvert d'algues corallines encroûtantes (*Mesophyllum alternans*), indiquant que la colonisation du mastic garantit la consolidation de l'attachement des fragments au substrat même après deux ans.



Paramuricea clavata © Andromède Océanologie

Sources

Publication scientifique :

Garrabou, J., Cerrano, C., Torsani, F., Linares, C., Gómez Gras, D., López Sendino, P., López-Sanz, Á., Medrano, A., Pagés, M., Montero-Serra, I., With Fagerli, C., Christie, H., Tamburello, L., Guarneri, G., & Fraschetti, S. (2020). Evaluation of the effectiveness of pilot restoration actions. Derivable 3.4. MERCES project. 1-25.

Site internet : <http://www.merces-project.eu/>

Contact :

Joaquim Garrabou, Institut des Sciences de la mer, Espagne
garrabou@icm.csic.es

Fiche 20 : Gorgones Jaunes_Espagne

Restauration de Gorgones Jaunes



Informations générales

Porteur(s) du projet : Institut des Sciences de la Mer (ICM), Barcelone Espagne
Partenaires techniques et financiers : Université de Barcelone (IRBIO), Espagne
Université de Girone, Espagne
Localisation : Aire Marine Protégée du Cap de Creus, Espagne
Période : 2015 - 2016
Espèce/habitat ciblé : *Eunicella cavolini*
Budget :



Objectifs du projet

Évaluer pour la première fois la faisabilité de la **récupération** et du retour de gorgones accidentellement capturées dans leur environnement naturel sur le plateau continental méditerranéen, afin d'atténuer l'impact de la pêche.

Suivi scientifique

Les structures ont été surveillées à travers trois enquêtes consécutives à l'aide d'un **ROV hybride télécommandé**.

Les relevés ont été effectués le 21 juillet 2015 (**21 jours** après le déploiement des structures 1 et 2), le 12 décembre 2015 (**6 mois** après le déploiement des structures 1 et 2 ; 47 jours pour la structure 3) et le 2 septembre 2016 (**14 mois** après le déploiement des structures 1 et 2 ; 10 mois pour la structure 3).

Pendant chaque relevé, le ROV hybride a utilisé un sonar pour localiser le réflecteur acoustique et s'approcher de chaque structure.



Eunicella cavolini ©Andromède Océanologie

Description de l'opération

Des colonies d'*Eunicella cavolini* ont été constituées à partir des **prises accessoires** des pêcheurs artisanaux du Cap de Creus, à une profondeur allant de **70 à 100 m**, lors de 3 sorties de pêche en juin et une en août 2015.

Le 27 au 30 juin 2015, **80 gorgones ont été transplantées** sur **2 structures en acier inoxydable** de 2 m de diamètre, avec une grille de base (10 x 10 cm) entourée de quatre plaques de béton et un axe vertical central de 1 m portant un réflecteur acoustique (30 cm de diamètre) soutenu par quatre barres en acier inoxydable (12 mm de diamètre). **Quarante supports coniques** pour les gorgones (80 mm de haut, 20 mm de diamètre) ont été placés sur la grille. L'intérieur des supports a été rempli de résine polyester en fibre de verre et, une fois sec, des trous de 8 mm ont été réalisés afin de fixer les colonies de gorgones avec du **mastic époxy**.

Comme **40 colonies de gorgones supplémentaires** ont été collectées accidentellement lors d'événements de pêche en août, elles ont été **transplantées** plus tard sur une troisième structure les 23-24 octobre 2015, et déployées le 25 octobre 2015, à proximité des 2 premières structures en suivant exactement la même procédure.

Résultats obtenus

Plusieurs des gorgones collectées auprès de pêcheurs présentaient des cassures partielles et quelques traces d'abrasion des tissus. Malgré cela, elles se sont toutes rétablies et ont **survécu** pendant leur maintien dans des aquariums à l'ICM avant leur **redéploiement** en mer.

Sur les structures 1 et 2, **98,8 ± 1,8 %** (moyenne ± ET) des gorgones transplantées étaient toujours en place au moment de la première enquête (21 jours après le déploiement), et elles survivaient toutes encore après 6 mois au moment de la deuxième enquête.

Sur la structure 3, **85 %** des gorgones transplantées étaient toujours en place au moment de la deuxième étude (47 jours après le déploiement).

Environ **un an après le déploiement** (14 mois pour les structures 1 et 2, et 10 mois pour la structure 3), **87,5 ± 9,0 % des gorgones étaient toujours en place et vivantes sur les trois structures**.

Sources

Publication scientifique :
Montseny M, Linares C, Viladrich N, et al. (2019). First attempts towards the restoration of gorgonian populations on the Mediterranean continental shelf. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst.*; 29:1278-1284.

Contact :
Maria Montseny, Institut des Sciences de la Mer (ICM), Barcelone, Espagne
montseny@icm.csic.es

Fiche présentant une solution technique de restauration écologique en Méditerranée - Projet IZOMARE, porté par Andromède Océanologie en collaboration avec l'Agence de l'eau RMC (2023)

19

Fiche 22 : Gorgones_mer d'Alboran_Espagne

Restauration de Gorgones



Restaurer des gorgones par élagage

Informations générales

Porteur(s) du projet : Université de Grenade, Espagne

Partenaires techniques et financiers : Organismo Autónomo Parques Nacionales, (OAPN)
Fondation BBVA
OCEANA

Localisation : îles Zaffarines, mer d'Alboran, Espagne
Période : 2015 - 2016

Espèce/habitat ciblé : *Ellisella paraplexauroides*

Budget : NA



Objectifs du projet

Evaluer l'efficacité d'un modèle de restauration utilisant l'élagage dans une colonie de *Ellisella paraplexauroides* autour des îles Zaffarines.

Description de l'opération

En 2015, 10 colonies entre 23 et 26 m de profondeur avec différents degrés d'épibiose ont été observées et, pour neuf d'entre elles, les parties endommagées ont été éliminées par l'élagage. La dernière colonie a servi de témoin.

Pour certaines de ces colonies, lorsque les zones endommagées n'étaient pas très étendues, les zones ont été nettoyées des épibiontes au lieu d'être élaguées.

De plus, 10 transects d'une durée de 20 minutes chacun ont été réalisés dans le but précis de détecter des colonies de moins de 15 cm pouvant être révélatrices d'une régénération de population par reproduction sexuée.

Suivi scientifique

Les colonies ont été photographiées à l'aide d'une barre métrique de référence pour évaluer leur statut et leur croissance possible.

Le suivi a été réalisé en 2015 et 2016 (un an après).

Résultats obtenus

Les résultats de la restauration par élagage ont montré une amélioration substantielle des colonies avec seulement neuf branches avec des épibiontes à leurs sommets sur un total de 104 branches dans les neuf colonies étudiées.

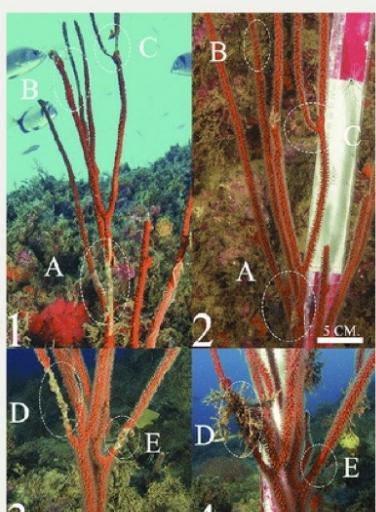
Dans les cas où la croissance a pu être clairement mesurée (35 branches de 7 colonies), celle-ci a oscillé entre 3,8 et 58,0 mm/an. La croissance moyenne pour les colonies étudiées a oscillé entre $9,53 \pm 9,08$ et $34,14 \pm 14,85$ mm.

De nouvelles branches ont pu être détectées dans certaines colonies en particulier dans la colonie 7 (une et trois branches en 2015 et 2016, respectivement) et la colonie 10 (six et huit branches en 2015 et 2016, respectivement).

Dans la colonie témoin, aucun changement significatif n'a pu être détecté en termes de couverture d'épibionte ou de croissance de la colonie.

La régénération des zones endommagées par nettoyage était moins efficace lorsque ces zones n'avaient pas été complètement nettoyées et que certains restes d'épibiontes, principalement des coquilles cirripées, n'avaient pas été enlevés.

En ce sens, la longueur de la zone endommagée et le degré de propreté ont influencé la régénération ultérieure des tissus.



2 colonies juste après l'élagage (1 et 3) et un an après (2 et 4), montrant la régénération des tissus (à l'intérieur des ovales) © Sánchez-Tocino et al., 2017

Sources

Publication scientifique :

Sánchez-Tocino, L., De La Linde Rubio, A., Sol Lizana Rosas, M., Pérez Guerra, T., & Tierro 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>

Contact :

Luis Sánchez Tocino, Université de Grenade, Espagne
lstocino@ugr.es

Fiche 37 : Gorgones_Punta Faro_Italie

Restauration de Gorgones



Transplantation de quatre espèces de gorgones sur des cadres

Informations générales

Porteur(s) du projet : Centre de Recherche en Sciences de l'Environnement (CIRSA), Université de Bologne, Italie

Partenaires techniques et financiers : Université Polytechnique des Marches, Ancône, Italie
Université de Gênes, Italie
Accord RAMOGE (Alain Vatican Prize)

Localisation : Punta Faro, Aire Marine Protégée de Portofino, Mer Ligure, Italie

Période : 2003 - 2004

Espèce/habitat ciblé : *Paramuricea clavata*
Eunicella cavolini
Eunicella singularis
Eunicella verrucosa

Budget : NA



Objectifs du projet

Évaluer le potentiel des transplants de quatre espèces communes de gorgones en terme de croissance, de survie et de régénération après un événement de stress.

Description de l'opération

40 prélevements de 4 à 10 cm de long de chacune des quatre espèces de gorgones ont été collectés à partir de colonies adultes en bonne santé, situées entre 25 et 35 m de profondeur. Immédiatement transportés dans des aquariums, les 160 transplants ont été collés avec du silicone sur des tubes en plastique d'1,5 mL, et gardés dans de l'eau de mer naturelle durant deux jours pour s'acclimater.

Un mois plus tard, toutes les colonies ont été placées à 25 m de profondeur à Punta Faro. Chaque transplant a été monté sur quatre cadres placés sur une surface horizontale. De cette façon, toutes les espèces étaient exposées aux mêmes conditions environnementales. Chaque cadre faisait 1 m de côté et contenait 10 transplants de chaque espèce.

Résultats obtenus

La procédure de transplantation n'a pas donné de nécrose des tissus des colonies, et les polypes ont montré des tentacules ouverts 1h après le positionnement des cadres, ce qui suggère une bonne santé des transplants avec cette méthode.

Aucune colonie (toutes espèces confondues) n'est morte dans les trois premiers mois, ce qui suggère un effet négligeable de la transplantation (taux de survie moyen de 98 % et taux de croissance positif moyen de 7,65 %).

En juillet 2003, pendant la canicule qui a touché le bassin méditerranéen, toutes les espèces ont soudainement connu un fort taux de mortalité, qui a augmenté jusqu'à septembre.

Paramuricea clavata a été l'espèce la plus affectée avec un taux de survie de 2,5 %, et *Eunicella singularis* la plus résistante avec un taux de survie de 35 %.

Sources

Publication scientifique :

F. Fava , G. Bavestrello , L. Valisano & C. Cerrano. (2010). Survival, growth and regeneration in explants of four temperate gorgonian species in the Mediterranean Sea, Italian Journal of Zoology, 77:1, 44-52, DOI: 10.1080/1125000902769680

Contact :

Carlo Cerrano, UNIVPM
c.cerrano@univpm.it



Paramuricea clavata



Eunicella cavolini



Eunicella singularis



Eunicella singularis

©Andromède Océanologie

Fiche 35 : Gorgones Rouges_TRANSCOR_Protocole «

Transplantation de Gorgones Rouges

Projet TRANSCOR

Informations générales

Porteur(s) du projet : Association Septentrion Environnement

Partenaires techniques et financiers :

Parc National des Calanques

Direction Interrégionale de la Mer

Méditerranée (DIRM)

Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO)

Fondation de la mer

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Laboratoire d'informatique & Systèmes

Localisation : Parc National des Calanques, Provence-Alpes-Côte-d'Azur, France

Période : 2018 - 2021

Espèce/habitat ciblé : *Paramuricea clavata*

Budget : 153 205 €

Transplantations inter-sites à profondeur constante



Objectifs du projet

Étudier la **survie** des gorgones rouges *Paramuricea clavata* suite au **changement de localisation** par le biais d'une transplantation d'un site vers un autre à **profondeur constante**.

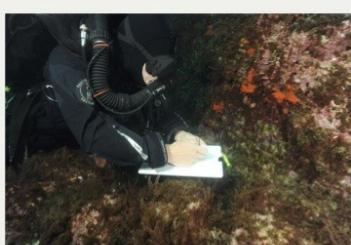
Suivi scientifique

Le protocole de suivi s'est déroulé sur **six temporalités** : un mois, trois mois, six mois et un an après la transplantation

Au total, **une plongée** par temporalité, nécessitant **20 à 30 minutes** de suivi et deux plongeurs pour l'ensemble des sites de transplantation, a été nécessaire.

De plus, **quatre plongées** ont été réalisées pour le prélèvement des transplants de *P. clavata* pour l'étude microbiologique.

A la suite des observations visuelles, des photographies ont été réalisées pour la construction d'un **modèle 3D** des transplants par **photogrammétrie**.



© Septentrion Environnement

Description de l'opération

Des fragments de *P. clavata* provenant de **colonies mères saines** ont été transplantés à **20 m de profondeur** sur les récifs artificiels REXCOR de Podestat et à proximité sur le substrat naturel. Le site de Podestat est proche du rejet de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Cortiou, qui rejette ses eaux non traitées lorsque les capacités de la STEP sont dépassées.

À partir de **10 colonies mères**, **12 fragments** ont été prélevés pour chacun des **trois sites**. **Six fragments** ont servi à l'étude de la **survie**, **quatre fragments** à l'étude du **microbiome** inter-site et **huit fragments** ont classés classés comme **témoins**.

Au total, ce sont **120 transplants** qui ont été répartis sur trois sites (réef rugue, réef fractal, et substrat naturel de la calanque de Podestat) à raison de 40 transplants par site.

Pour ce protocole, **deux plongées** réparties sur **une journée** ont été nécessaires à la transplantation de *P. clavata*.

Résultats obtenus

La **faible présence** des transplants de *P. clavata* restants après un an n'a pas permis de conclusions robustes quant aux capacités d'adaptation de l'espèce face au changement de contexte environnemental.

Par ailleurs, la **transplantation sur substrat artificiel** (i.e. réefs REXCOR de Podestat) a **semblé moins efficace que la transplantation sur substrat naturel**.

Il semblerait que la modification de contexte environnemental par transplantation à proximité d'un **milieu pouvant être soumis à des rejets anthropiques** puisse induire des **nécroses plus importantes**. En effet, les nécroses étaient significativement plus étendues et en plus grand nombre (**68 ± 30 %**) sur le site Podestat que sur les 2 autres sites. Ces nécroses n'ont pas pu être reliées à des épisodes d'anomalies thermiques durant la période d'étude.

Concernant les fragments transplantés, un état de **dysbiose** avancé a été relevé un an après transplantation. En effet, le microbiome des transplants était dominé par des taxons bactériens potentiellement **pathogènes** au détriment du taxon symbiotique majoritairement présent chez *P. clavata*.

Sources

Publication scientifique :

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

Contact : Tristan Estaque, Association Septentrion Environnement
tristan.estaque@septentrion-env.com

Fiche 13 : Corail Rouge_MESOMED_Italie

Restauration de Corail Rouge

Projet MESOMED



Transplantation des colonies
dans une grotte sur des tuiles en
PVC

Informations générales

Porteur(s) du projet : Université de Bologne, Italie

Partenaires techniques et financiers : Portofino Divers

Aire Marine Protégée de Portofino, Italie
Université Polytechnique des Marches,
Ancône, Italie
Ministère Italien de l'Éducation, de
l'Université et de la Recherche

Localisation : Aire Marine Protégée de Portofino, Italie
Période : 2010 - 2015

Espèce/habitat ciblé : *Corallium rubrum*

Budget : NA



Objectifs du projet

Comprendre les processus d'établissement des populations de *Corallium rubrum* pour un potentiel rétablissement des populations menacées.

Description de l'opération

En juin 2010, 16 tuiles en PVC blanc de 20 x 20 cm, percées au centre, ont été fixées à l'intérieur de la grotte de Colombara située entre 34 et 39 m de profondeur.

Afin de tester si le recrutement est influencé par l'orientation :

- 4 tuiles ont été placées sur la paroi verticale droite
- 4 tuiles ont été placées sur la paroi verticale gauche
- 8 tuiles ont été fixées au plafond de la grotte

Chaque tuile était fixée au rocher, à 1 m de l'entrée et à une distance minimale de 30 cm de toute autre tuile pour éviter des interférences avec la population environnante.

La distribution de la population déjà présente dans la grotte était inégale, montrant une densité moyenne de 349 ± 215 colonies/m². Des tuiles ont été fixées dans des zones de faible densité de corail rouge en essayant de ne pas influencer les colonies environnantes.

Afin d'éliminer un effet de grotte qui aurait pu affecter le recrutement, 4 tuiles supplémentaires en PVC ont été déployées sur une falaise verticale à l'extérieur de la grotte où la population de corail rouge avait la même densité que celle de la grotte.

Résultats obtenus

En février 2012, après 2 épisodes de reproduction (été 2010 et été 2011), 14 tuiles ont été retirées et 2 ont été perdues. Les tuiles récupérées ont été fixées dans de l'éthanol à 80 % et transférées au laboratoire afin de marquer la position et la taille (diamètre) de chaque recrue. Le nombre de polypes a été compté.

Corallium rubrum s'était installé sur chaque tuile déployée au plafond de la grotte mais le recrutement a échoué pour 3 tuiles (sur 8) positionnées verticalement. En effet, sur les 372 individus, 350 ont été retrouvés sur les tuiles au plafond et seulement 22 sur les tuiles déployées sur les murs. Sur les 350 individus au plafond, 278 étaient des recrues et 72 des juvéniles.

Le nombre de polype par recrue variait avec 70,66 % des recrues présentant 1 à 2 polypes, 22 % entre 3 et 4 polypes et 7,33 % avec plus de 4 polypes.

Ces résultats suggéraient que les contraintes de l'habitat ont pu influencer la densité de recrutement plus élevée observée sur le plafond. Comprendre les processus agissant sur la structure et la dynamique des populations de *Corallium rubrum* est essentiel pour la résistance et la résilience des populations.

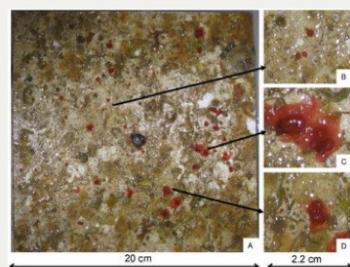
Sources

Publication scientifique :

Costantini, Federica, Luca Rugiu, Carlo Cerrano, et Marco Abbiati. (2018). Living Upside down: Patterns of Red Coral Settlement in a Cave. PeerJ 6 (2018): e4649. <https://doi.org/10.7717/peerj.4649>.

Contact :

Federica Costantini, Université de Bologne
federica.costantini@unibo.it



Exemple de tuile en PVC récupérée dans la grotte de Colombara après deux ans. (A) Tuile positionnée au plafond, (B) zoom d'une recrue, (C) un juvénile, (D) une recrue probablement dérivée de 2 larves fusionnées.
© Costantini et al., 2018.



Corallium rubrum © Andromède Océanologie

Fiche présentant une solution technique de restauration écologique en Méditerranée - Projet IZOMARE, porté par Andromède Océanologie en collaboration avec l'Agence de l'eau RMC (2023)

Fiche 18 : Corail Rouge_Marseille et Corse_France

Transplantation de Corail Rouge



Test d'adaptation du Corail Rouge

Informations générales

Porteur(s) du projet : Centre de Recherche Marine et Environnementale (CIIMAR), Portugal

Partenaires techniques et financiers : La Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur
Office Français de la Biodiversité (OFB)
TOTAL-FINA-ELF
Ministère de la Recherche
Projet MEDCHANGE financé par l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR)

Localisation : île de Riou (Marseille) et de Palazzu (Corse)

Période : juin - novembre 2006

Espèce/habitat ciblé : *Corallium rubrum*

Budget : 5 000 euros



Objectifs du projet

Tester le potentiel d'**adaptation locale** des **populations** de corail rouge (*Corallium rubrum*) vivant à **différentes profondeurs** (peu profonde = -20 m et mésophotique = -40 m) dans la limite supérieure de son aire de répartition bathymétrique.

Description de l'opération

Deux expériences de **transplantation réciproque indépendantes (RTE)** ont été effectuées à l'île de Riou et l'île de Palazzu. Chaque RTE comprenait **quatre traitements** différents : un témoin (colonies transplantées à leur profondeur d'origine) et un transplant (colonies transplantées à différentes profondeurs) dans chacun des deux habitats (peu profond : 20 m et mésophotique : 40 m).

Les **pointes apicales** de 5 à 7 cm de long de 48 individus de deux populations de *C. rubrum* génétiquement différentes ont été prélevées aléatoirement en plongée sous-marine et fixées sous l'eau sur des plaques expérimentales (**disques de PVC**). Les populations étaient séparées de 100 m et habitaient à **deux profondeurs différentes** correspondant aux zones peu profondes et mésophotiques (20 m et 40 m) pour chacune des deux localités.

Au total, les deux RTE ont concerné 192 colonies de quatre populations, réparties sur 24 plaques expérimentales, à raison de trois plaques expérimentales par traitement et de huit colonies par plaque expérimentale.

Une **expérience de jardin commun (CGE)** a été réalisée sur un surplomb à 5 m de profondeur à l'île de Riou. Au total, 24 colonies à -20 m et 24 colonies à -40 m ont été réparties au hasard sur six plaques expérimentales (trois par profondeur d'origine) afin de tester la plasticité phénotypique de chacune des deux populations provenant de différentes profondeurs.

Résultats obtenus

Toutes les colonies utilisées dans les RTE ont survécu sans présenter de nécrose. A Riou, des différences significatives de croissance maximale et moyenne ont été observées compte tenu de la profondeur de transplantation, mais pas de l'origine de l'échantillon.

Sur la CGE, le **taux de survie** était de 83,3 % pour les transplants provenant de 20 m de profondeur et 16,6 % pour les transplants provenant de 40 m de profondeur.

Les résultats révèlent que les **interactions population-environnement** sont partiellement contrastées entre les populations peu profondes et mésophotiques séparées d'environ une centaine de mètres, ce qui suggère que **les populations de corail rouge pourraient potentiellement être adaptées localement à leur environnement**.

Suivi scientifique

La **croissance maximale moyenne** en diamètre, le niveau de **nécrose** tissulaire et la **survie** des colonies étaient des paramètres suivis pendant l'expérience.

L'analyse de croissance a été réalisée sur **71 colonies** : environ 10 par traitement.



Corallium rubrum © Laurent Ballesta

Sources

Publication scientifique :

Ledoux, Jean-Baptiste & Aurelle, Didier & Bensoussan, Nathaniel & Marschal, Christian & Féral, Jean-Pierre & Garrabou, Joaquim. (2014). Potential for adaptive evolution at species range margins: Contrasting interactions between red coral populations and their environment in a changing ocean. *Ecology and Evolution*. 5. 10.1002/ece3.1324.

Contact : Jean-Baptiste Ledoux, CIIMAR-Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (Porto, Portugal)
jbpapte.ledoux@gmail.com

Fiche 19 : Corail Rouge_Espagne

Restauration de Corail Rouge



Évaluer le potentiel reproductif du corail rouge

Informations générales

Porteur(s) du projet : Département de biologie évolutive, d'écologie et de sciences de l'environnement, Université de Barcelone, Espagne

Partenaires techniques et financiers : Institut des Sciences de la Mer (ICM), Barcelone, Espagne
MIO, Marseille, France
Programme d'études environnementales, Université du Colorado, Etats-Unis
Centre interdisciplinaire de recherche marine et environnementale, Université de Porto, Portugal



Localisation : Parc naturel du Montgrí, des îles Medes et de Baix Ter (MIMBT), Espagne
Période : 2011 - 2015

Espèce/habitat ciblé : *Corallium rubrum*

Budget : NA

Objectifs du projet

Explorer une dynamique des efforts de transplantation ciblant un espèce sessile à croissance lente (ici le corail rouge).

Mettre en évidence que les connaissances démographiques et les outils de modélisation peuvent aider les gestionnaires à anticiper la dynamique des populations restaurées.

Description de l'opération

En 2011, les autorités catalanes ont intercepté **14,5 kg de corail rouge (*Corallium rubrum*)** récoltés **illégalement** le long de la côte du Montgrí (Catalogne, Espagne).

Parmi cette saisie, une petite partie des colonies interceptées, environ **300 colonies** de corail rouge, ont été sélectionnées pour réaliser cette opération de transplantation.

Ces dernières ont été **transplantées** sur une paroi rocheuse au sein du Parc naturel du MIMBT, entre **15 et 17 m de profondeur**, en utilisant du **mastic époxy bi-composant**.

Le **potentiel reproductif** des colonies a été évalué fin juin 2015 pour un échantillon de **35 individus transplantés** en dehors des transects surveillés et d'une population naturelle adjacente, en comptant les **larves** de *C. rubrum* trouvées à l'intérieur des polypes des colonies femelles fertiles.

Résultats obtenus

Après **quatre ans**, **99,1 %** des colonies transplantées de *C. rubrum* étaient encore **vivantes** montrant un **succès** de cette opération de transplantation. Les **taux de survie** annuels des colonies transplantées ne présentaient pas de différences significatives par rapport aux colonies naturelles. Ainsi, la **transplantation de cette espèce à croissance lente nécessite un effort initial moindre en raison de ce taux de survie élevé**.

Les colonies transplantées avaient également un **potentiel reproductif** similaire à celui des colonies naturelles, si l'on considère à la fois la proportion de colonies fertiles et la fréquence des larves par polype.

Sources

Publication scientifique :

Montero-Serra, Ignasi, Joaquim Garrabou, Daniel F. Doak, Laura Figuerola, Bernat Hereu, Jean-Baptiste Ledoux, et Cristina Linares. (2017). Accounting for Life-History Strategies and Timescales in Marine Restoration. *Conservation Letters* 11, n° 1: e12341. <https://doi.org/10.1111/conl.12341>

Site internet : NA

Contact :

Ignasi Montero-Serra, Université de Barcelone, Espagne
monteroserra@gmail.com



Corallium rubrum © Andromède Océanologie

Fiche 28 : Corail Rouge_Portofino_Italie

Transplantation de Corail Rouge



Transplantation de fragments en position dressée ou renversée



Informations générales

Porteur(s) du projet : Université de Ghent, Belgique

Partenaires techniques et financiers : Projet MERCES (Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas)

Localisation : île Gallinara et Aire Marine Protégée (AMP) de Portofino, Italie

Période : 2017 - 2021

Espèce/habitat ciblé : *Corallium rubrum*

Budget : NA

Objectifs du projet

Évaluer l'efficacité de la transplantation de *Corallium rubrum* à l'envers sous des crevasses.

Comparer cette approche avec les techniques de transplantation en position dressée.

Tester si les populations mésophotiques peuvent être restaurées avec des colonies peu profondes.

Description de l'opération

La collecte de *C. rubrum* a été effectuée par des plongeurs à **25 m de profondeur** à Portofino. Les **branches apicales** de colonies adultes d'une hauteur minimale de **10 cm** ont été fragmentées et placées dans des sacs en plastique scellés. Des branches apicales de **2 à 6 cm** ont été prélevées sans altérer la densité de la population d'origine (250-300 col/m²). Sur le bateau, les sacs ont été placés dans des glacières (16-21°C) pour le transport.

A l'île Gallinara, **59 fragments** ont été transplantés à **30 m de profondeur** avec du **mastic époxé** utilisé comme adhésif : **45 fragments ont été placés à l'envers** sur la face basale d'un bourrelet coralligène, alors que **14** ont été transplantés sur le **substrat rocheux**.

Pour maintenir les fragments transplantés à l'envers, deux différentes techniques ont été testées: emballage en **polystyrène** ou une **grille en PVC**. Pour les transplants érigés, les fragments ont été fixés avec le **mastic époxé** ou sur une **grille en PVC**. Au total, **cinq grilles** ont été installées sur le dessus de l'époxy et fixées avec des chevilles métalliques (trois sous les crevasses et deux sur roches) avec **3 à 10 transplants par grille**. Les greffes étaient attachées en petites plaques de 3 à 5.

Par ailleurs, **39 colonies** d'un mur ouvert à **30 m de profondeur** ont été transplantées sur un mur coralligène ouvert vertical à **70 m de profondeur**. Les larves ont été recrutées sur **six tuiles en PVC blanc de 20 x 20 cm** fixées avec des vis en acier sur le plafond de la grotte de Colombara à Portofino à 34 m de profondeur. Puis **deux ans** après, elles ont été transférées à 70 m de profondeur au même endroit que pour la transplantation des colonies.

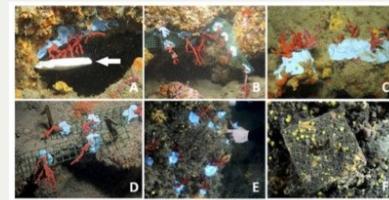
Résultats obtenus

Après **quatre ans**, le polystyrène et les grilles en PVC se sont révélées deux techniques prometteuses avec un **taux de survie similaire** (30 % et 32 %). Cependant, ces deux taux sont inférieurs à la moyenne rapportée pour les expérimentations précédentes sur *C. rubrum* (71,5 %) toutes conduites en position érigée, suggérant que l'**inclinaison** du substrat peut fortement affecter la survie des transplants.

La méthode de la grille en PVC a montré le meilleur taux de survie, mais l'inconvénient est le **risque de détachement** de la grille du substrat pouvant provoquer **24 % de perte de greffe** ; Deux grilles sur les cinq placées sous les crevasses et sur les rochers sont tombées.

Les transplants ont gagné des **branches** uniquement en utilisant la méthode du **polystyrène** (17 %) et la méthode de la **grille en PVC** sous crevasse (8 %).

Le **taux de survie** des colonies d'eau peu profonde transplantées dans les eaux plus profondes était de **82 %** après 1 an et demi. La **perte de 18 %** est exclusivement due au détachement des greffons du mastic époxé et aucun décès n'a été observé. Ces résultats montrent que des colonies peu profondes peuvent survivre à **70 m de profondeur après un an et demi**.



Techniques de transplantation : (A) méthode du polystyrène, (B) méthode de grilles sous crevasses, (C) méthodes des roches en mastic époxé, (D) méthodes des roches sous forme de grille, (E) colonies peu profondes transplantées en eau profonde, (F) amélioration larvaire sur dalles de PVC. ©Villechanoux et al., (2022)

Sources

Publication scientifique :

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

Contact :

Carlo Cerrano, UNIVPM
c.cerrano@univpm.it

Fiche 33 : Corail Rouge et Gorgones_TRANSCOR_Protocole 1

Restauration de Corail Rouge et de Gorgone

Projet TRANSCOR

Informations générales

Porteur(s) du projet : Association Septentrion Environnement

Partenaires techniques et financiers :

Parc National des Calanques
Direction Interrégionale de la Mer
Méditerranée (DIRM)

Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO)

Fondation de la mer
Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur
Laboratoire d'informatique & Systèmes

Localisation : Parc national des Calanques, Provence-Alpes

Période : 2019 - 2022

Espèce/habitat ciblé : *Corallium rubrum* et *Paramuricea clavata*

Budget : 153 205 €



Transplantation *in situ* sur leur habitat initial



Objectifs du projet

Étudier la survie de *C. rubrum* et *P. clavata* suite à une transplantation *in situ* sur leur habitat initial.

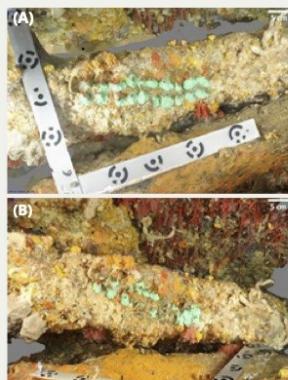
Suivi scientifique

Le protocole de suivi s'est déroulé sur quatre temporalités : un mois, trois mois, six mois et un an après la transplantation.

L'évaluation de la méthode de transplantation était caractérisée par la présence/absence de transplants et leur pourcentage de nécrose.

Des photographies ont été réalisées pour la construction d'un modèle 3D des transplants par photogrammétrie.

Un suivi des colonies mères à également été réalisé.



Modèle 3D du site de transplantation de *C. rubrum* au moment de la transplantation (A) et 3 mois après (B).

© Association Septentrion Environnement

Description de l'opération

Quatre sites de transplantation localisés entre 12,5 m et 23,0 m de profondeur ont été sélectionnés pour *P. clavata*. Trois sites de transplantation situés entre 10,7 m et 27,4 m de profondeur ont été sélectionnés pour *C. rubrum*.

Au total, 90 colonies mères de *P. clavata* et 60 colonies mères de *C. rubrum* ont été prélevées pour la réalisation de 360 et 120 transplantations. Tous les fragments ont été prélevés à l'aide d'un sécateur pour *P. clavata* et en les cassant manuellement pour *C. rubrum*. La transplantation a été effectuée à l'aide d'un mastic époxy bi-composant IVEGOR® après avoir mis à nu le substrat à l'aide d'une brosse métallique pour favoriser une meilleure prise du mastic.

Les fragments étaient ensuite insérés dans une boule de mastic de taille adaptée pour enfin être apposés contre le substrat par pression manuelle.

Trois plongées réparties sur deux journées ont été nécessaires à la transplantation de *C. rubrum* et sept plongées réparties sur six journées pour *P. clavata*. L'entièreté du protocole de transplantation sur un site, du marquage et prélèvement sur les colonies mères à la pose des transplants, a nécessité 1 h pour *P. clavata* et 40 min pour *C. rubrum* sur une base de deux plongeurs.

Résultats obtenus

Le taux de présence des transplants 6 mois après la transplantation était de 67,5 % pour *C. rubrum* et 41,4 % pour *P. clavata*. La présence des transplants et leur tenue au mastic, semblent être influencées par le site de transplantation. Cela pourrait être relié à la présence de fort courant ou la grande affluence de plongeurs sur les sites de transplantation. Les résultats montrent que 96,3 % des transplants de *C. rubrum* et 89,3 % de *P. clavata* ne présentaient aucun signe de nécrose 6 mois après la transplantation.

Le taux de présence des transplants après un an de suivi de *C. rubrum* était de 65,8 % et de 41,9 % pour *P. clavata*. Au total, trois nécroses ont été observées sur les transplants de *C. rubrum*, toutes à hauteur de 100 %. Neuf nécroses ont été observées sur *P. clavata* à hauteur de $56,7 \pm 11,8$ %. Étant donné la grande perte de transplants de *P. clavata*, un grand nombre de nécroses sont certainement passées inaperçues.

Même si ces résultats étaient en accord avec les études de transplantation réalisées précédemment sur ces espèces, il est évident que la méthode de transplantation utilisée reste à améliorer. Cependant, cette méthode pourrait un jour constituer une voie de soutien et de renforcement des populations mais en aucun cas un outil de restauration à grande échelle.

Sources

Publication scientifique :

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

Contact : Tristan Estaque, Association Septentrion Environnement
tristan.estaque@septentrion-env.com

Fiche 34 : Corail Rouge et Gorgones_TRANSCOR_Protocole 2

Restauration de Corail Rouge et de Gorgone



Transplantations à profondeurs croisées

Projet TRANSCOR

Informations générales

Porteur(s) du projet : Association Septentrion Environnement

Partenaires techniques et financiers :

Parc national des Calanques
Direction Interrégionale de la Mer Méditerranée (DIRM)

Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO)

Localisation : Parc National des Calanques, Provence-Alpes-Côte-d'Azur, France
Période : 2019 - 2022

Espèce/habitat ciblé : *Corallium rubrum* et *Paramuricea clavata*

Budget : 153 205 €



Objectifs du projet

Étudier la survie de *Corallium rubrum* et *Paramuricea clavata* suite au changement des conditions thermiques par des transplantations croisées (changement de profondeur et de contexte thermique).

Suivi scientifique

Le protocole de suivi s'est déroulé sur quatre temporalités : un mois, trois mois, si mois et un an après la transplantation.

Au total, trois plongées par temporalité, nécessitant 20 à 30 minutes et deux plongeurs pour l'ensemble des sites de transplantation et les deux espèces confondues, ont été nécessaires. De plus, quatre plongées ont été réalisées pour le prélèvement des transplants de *P. clavata* pour l'étude microbiologique.

A la suite des observations visuelles, des photographies ont été réalisées pour la construction d'un modèle 3D des transplants par photogrammétrie.

Description de l'opération

Des fragments ont été prélevés sur des colonies mères à 20 et 40 m de profondeur. Au total, 60 colonies mères de *P. clavata* et 20 colonies mères de *C. rubrum* ont été prélevées.

La moitié des fragments prélevés à -20 m a été transplantée à -20 m (témoins) et l'autre moitié a été transplantée à -40 m. La moitié des fragments prélevés à -40 m a été transplanté à 40 m (témoins) et l'autre à -20 m.

Au total, 320 transplantations de *P. clavata* ont été réalisées dont 240 pour l'étude de la survie et 80 pour l'étude de la variation du microbiome. Chaque site de transplantation contenait 20 transplants de *P. clavata* issus de -20 m et 20 transplants issus de -40 m aux 2 profondeurs.

Un total de 80 transplantations de *C. rubrum* ont été réalisées. A chacune des profondeurs d'étude, on retrouvait 10 transplants issus de -20 m et 10 transplants issus de -40 m.

Au total, quatre plongées réparties sur trois journées ont été nécessaires à la transplantation de *C. rubrum* et six plongées réparties sur trois journées pour *P. clavata*.

Résultats obtenus

C. rubrum semble très résistant à la manipulation de transplantation à profondeur croisée ou *in situ*. En effet, après une année, 75 % des transplants étaient encore présents, et le changement de contexte thermique ne semble pas influencer l'apparition de nécrose.

En revanche, la faible présence (46,9 %) des transplants de *P. clavata* après une année n'a pas permis de conclusions robustes quant aux capacités d'adaptation de l'espèce face au changement de contexte thermique.

Les transplants ayant subi une transplantation croisée de 40 m de profondeur vers 20 m de profondeur semblaient montrer une résistance plus faible et des nécroses en moyenne plus étendues. Cela semble indiquer une adaptation moindre au changement de contexte thermique des transplants issus de -40 m par rapport à ceux issus de colonies mères provenant de -20 m.

Concernant les analyses du microbiome de *P. clavata* après un an, les transplants ayant subi des transplantations à des profondeurs croisées montrent un microbiome modifié avec l'apparition de nouveaux groupes bactériens potentiellement pathogènes pouvant être le signe d'une déstabilisation des communautés. Ces modifications semblaient être plus importantes pour les transplants ayant subi un changement de profondeur.

Sources

Publication scientifique :

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

Contact : Tristan Estaque, Association Septentrion Environnement
tristan.estaque@septentrion-env.com



© Septentrion Environnement

II.A. Restauration des Cystoseires et Laminaires

La carte ci-dessous représente la répartition des projets de restauration des Cystoseires ou des Laminaires.

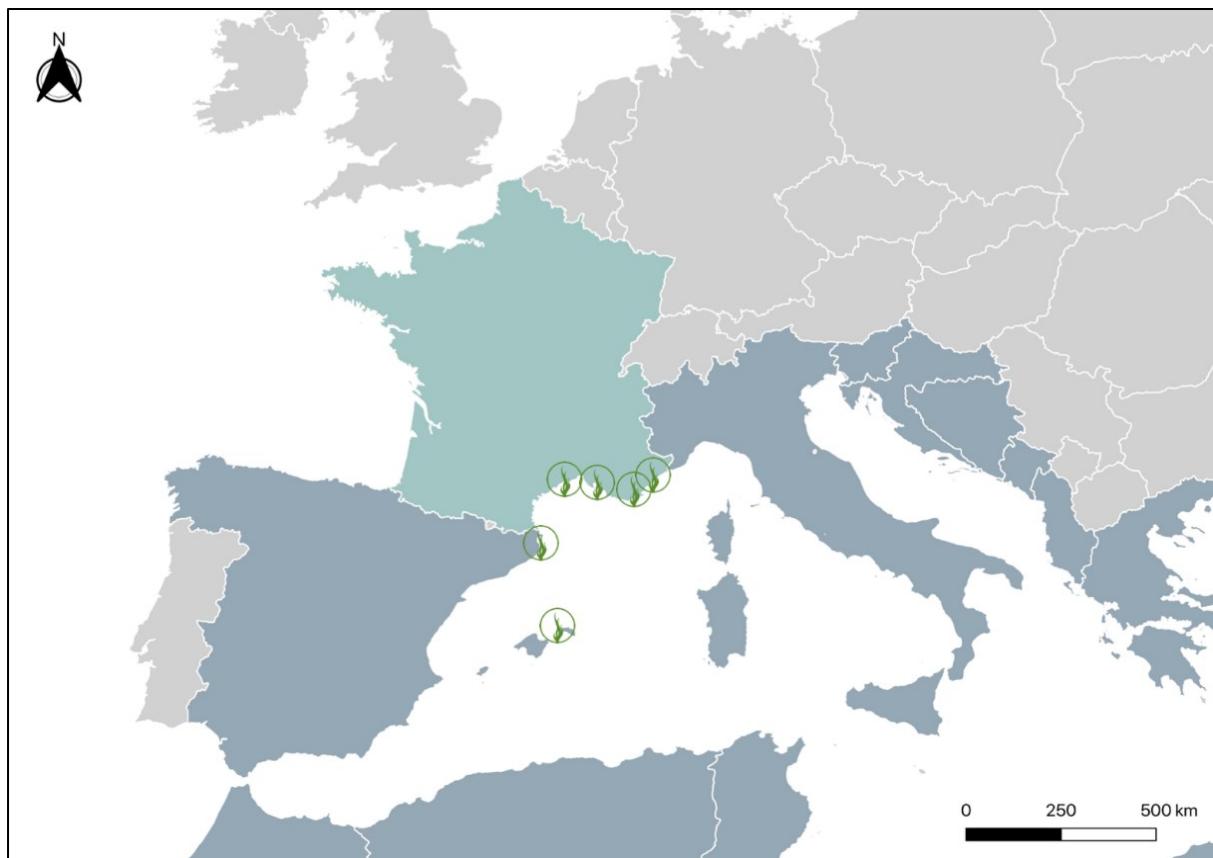


Figure 6 : Répartition spatiale des fiches projets Cystoseires et Laminaires (se reporter au tableau 4 pour la signification des symboles).

Fiche 3 : Cystoseire_ReCyst_France

Restauration de Cystoseires

Projet ReCyst

Informations générales

Porteur(s) du projet : SUEZ Consulting
Partenaires techniques et financiers :



Ensemencement de bouquets de rameaux fertiles



Localisation : Parc national des Calanques, Marseille (PACA)
Période : 2015 - 2018

Espèce/habitat ciblé : *Ericaria amentacea*

Budget : 100 000 - 300 000 €

Objectifs du projet

Accélérer ou initier la (re)colonisation des côtes rocheuses par les cystoseires *Ericaria amentacea*.

Reconnecter les populations naturelles.

Développer la biodiversité.

Suivi scientifique

Au total, **4 campagnes de suivi** ont été réalisées.

A chaque suivi, la **persistence** des bouquets de rameaux fertiles a été évaluée par leur présence, leur nombre et la proportion de ceux-ci.

La **survie**, la **croissance** et la **fertilité** des **recrues** (individus juvéniles) ont été évaluées autour des points d'implantation des bouquets de rameaux fertiles.

Le recouvrement par les **espèces compétitrices** a été évalué au sein d'un quadrat de 20 x 20 cm. Deux mesures ont été réalisées par anneau soit 18 mesures par site.

Deux sites de références ont permis de faire la distinction entre les facteurs liés au procédé CYSTORE® et les facteurs liés à la qualité du milieu incluant la qualité de l'eau et les facteurs biotiques.



Recrues d'*E. amentacea* © SUEZ Consulting

Description de l'opération

Des prélèvements par groupe de **3 à 4 de rameaux fertiles** ont été effectués à l'aide d'une paire de ciseaux au sein de ceintures denses et étendues d'*E. amentacea*.

Les rameaux ont été stockés dans des bacs d'eau de mer renouvelée et à l'abri du soleil. Ils ont été associés en bouquets à l'aide de **colliers autobloquants**. Dans l'heure suivant les prélèvements, les bouquets ont été accrochés sur des **anneaux** préalablement implantés dans des loges forées dans la roche à l'aide d'une perceuse électrique (3 à 4 cm de profondeur ; 5 mm de diamètre). Il s'agissait d'**anneaux** de **2 cm** de diamètre en **acier galvanisé** fixés dans la roche à l'aide de résine époxy. Afin de faciliter le recrutement, une surface d'environ **400 cm²** (20 x 20 cm) de substrat autour de l'anneau a été décapée à l'aide d'une brosse métallique.

Au total, **2 campagnes d'implantation** ont été réalisées en juillet 2015 sur **4 sites** différents (2 sites test et 2 sites de références). **9 anneaux** ont été positionnés sur chaque site, ce qui représente au total **100 bouquets de rameaux fertiles pour chaque site**.

Résultats obtenus

Après une forte **mortalité initiale** (~80 %) durant l'hiver 2015 - 2016, le nombre de recrues s'était stabilisé mais a subi ensuite une lente diminution. Le recrutement moyen, tous sites confondus, était de **1,75 recrues / anneau**.

Sur l'ensemble de la période suivie, le **taux de survie** (tous sites confondus) était d'environ **10 %** (ratio entre le nombre de recrues d'août 2017 et le nombre de recrues initial). Ce taux était légèrement supérieur sur les sites de référence (10,6 % contre 6,3 % sur les sites test).

Au-delà du nombre de recrues, l'analyse de dispersion, c'est-à-dire, la distance entre les recrues et les anneaux (~ **12 cm**) montrait des résultats cohérents avec ce qui est décrit dans la littérature.

Entre les mois d'octobre 2015 et de mai 2016, une nette **croissance** des rameaux a été observée sur tous les sites étudiés (+**38 mm** en moyenne). Aucune différence réellement significative des tailles de recrues entre les sites n'a été constatée.



Bouquet de rameaux fertiles © SUEZ Consulting

Sources

Publication scientifique :

Javel F., Belmont C., Blanfuné A., Grondin J., Blin E. (2018) Re-CYST : Projet pilote de restauration de ceintures de cystoseires dans le parc national des Calanques – Bilan final. Convention Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse – Métropole Aix-Marseille Provence. SUEZ Consulting publ., Fr., 46 p.

Contact : Fabrice Javel, SUEZ Consulting
fabrice.javel@suez.com

Fiche 4 : Cystoseire_Cystore_France

Restauration de Cystoseires

Projet CYSTORE® Antibes

Informations générales

Porteur(s) du projet : SUEZ Consulting
Partenaires techniques et financiers :

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC)
Ville d'Antibes Juan-les-Pins
Port Vauban Antibes Côte d'Azur
GIS Posidonie
Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO)

Localisation : Port Vauban, Antibes, Provence-Alpes-Côtes-d'Azur, France

Période : 2016 - 2020

Espèce/habitat ciblé : *Ericaria amentacea*

Budget : 100 000 - 300 000 €



Ensemencement de bouquets de rameaux fertiles



Objectifs du projet

Accélérer ou initier la (re)colonisation des côtes rocheuses par les cystoseires *Ericaria amentacea*.

Reconnecter les populations naturelles.

Développer la biodiversité.

Description de l'opération

Des prélèvements par groupe de **3 à 4 de rameaux fertiles** ont été effectués à l'aide d'une paire de ciseaux au sein de ceintures denses et étendues d'*E. amentacea*.

Les rameaux ont été stockés dans des bacs d'eau de mer renouvelée et à l'abri du soleil. Ils ont été associés en bouquets à l'aide de **colliers autobloquants**. Dans l'heure suivant les prélèvements, les bouquets ont été accrochés sur des **anneaux** préalablement implantés dans des loges forées dans la roche à l'aide d'une perceuse électrique (3 à 4 cm de profondeur ; 5 mm de diamètre). Il s'agissait d'**anneaux** de **2 cm** de diamètre en acier galvanisé fixés dans la roche à l'aide de résine époxy. Afin de faciliter le recrutement, une surface d'environ **400 cm²** (20 x 20 cm) de substrat autour de l'anneau a été décapée à l'aide d'une brosse métallique.

La digue du port a été équipée d'anneaux répartis sur **73 blocs** et **300 m** linéaire. Au total, **2 campagnes d'implantation** ont été réalisées en juillet et août pour fixer environ **1 000 bouquets**.

Suivi scientifique

Au total, **5 campagnes de suivi** ont été réalisées.

A chaque suivi, la **persistence** des bouquets de rameaux fertiles a été évaluée par leur présence, leur nombre et la proportion de ceux-ci.

La **survie**, la **croissance** et la **fertilité** des **recrues** (individus juvéniles) ont été évaluées autour des points d'implantation des bouquets de rameaux fertiles.



Recrues d'*E. amentacea* observées sur la digue.

© SUEZ Consulting

Résultats obtenus

Avec un recrutement moyen à l'échelle du site de **0,2 recrues / anneau**, les résultats étaient largement **inférieurs** à ceux enregistrés avec la méthode testée dans le Parc national des Calanques. Toutefois, si l'on considère seulement les blocs sur lesquels les recrues ont été observées, le **taux de recrutement** était de **-1,5 recrues / anneau** soit un ordre de grandeur **satisfaisant**.

Au-delà du nombre de recrues, l'analyse des **distances entre les recrues et les anneaux** (3 cm en moyenne) montrait des **résultats cohérents** avec ce qui est décrit dans la littérature.

Avec un **taux de survie de 54 %** relevé entre novembre 2017 et mai 2018, les résultats obtenus étaient **supérieurs** à ceux obtenus avec la même méthode sur d'autres sites. Sur l'ensemble de l'opération et sur des durées comparables, le **taux de survie** était de **17 %** ce qui reste plus élevé que celui observé dans les Calanques.

Le **cycle de croissance** des **recrues** du site était **similaire** à celui observé dans le **milieu naturel**. Cependant, la **longueur des rameaux** était très nettement inférieure à celle relevée à proximité du site de transplantation (2 cm contre plus de 40 cm au Cap d'Antibes au printemps) et stagnait à ce niveau sans reprise de croissance significative.

Sources

Publication scientifique :

Javel F., Puissant C., 2020. CYSTORE Port Vauban - Projet pilote de restauration écologique en milieu artificiel - Bilan final. Convention Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse n° 4096 SUEZ Consulting publ., Fr., 29 p.

Contact : Fabrice Javel, SUEZ Consulting
fabrice.javel@suez.com

Fiche 5: Cystoseire_Circe_France

Restauration de Cystoseires



Conception de récifs artificiels et transplantation de cystoseires

Projet CIRCE

Conception et Immersion de Récifs artificiels pour la restauration des habitats à Cystoseires

Informations générales

Porteur(s) du projet : Laboratoire ECOMERS, Université Nice-Sophia Antipolis, France

Partenaires techniques et financiers : Pôle Mer Méditerranée

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC)

Neptune Environnement

Société ACRI-IN

Localisation : Cantonement pêche du Cap Roux, Saint-Raphaël, Var, France

Période : 2013 - 2014

Espèce/habitat ciblé : *Erica amentacea*

Budget : NA



Objectifs du projet

Concevoir des récifs artificiels modulaires légers et peu onéreux.

Tester en canal à houle des modules afin d'évaluer leur résistance à la houle et aux courants à de faibles profondeurs (-10 mètres) ainsi que pour des vitesses de courant correspondant aux plus fortes houles décennales.

Tester *in situ* des modules pour évaluer la croissance des cystoseires *Erica amentacea* et l'effet de récifs artificiels.

Suivi scientifique

Les transplantations ont été suivies 40, 74 et 100 jours après l'opération.

Un suivi des juvéniles de poissons, attirés par la fonction de nourricerie que jouent les forêts de cystoseires, a également été effectué. Ce suivi consiste à effectuer plusieurs comptages en plongée sous-marine sur des points fixes durant 5 min.

Une autre série de comptages sur points fixes a permis d'évaluer les abondances de poissons et macro-invertébrés à la périphérie des récifs. Une attention toute particulière a été donnée aux prédateurs de cystoseires comme les oursins et les poissons.



Vue de 3 modules CIRCE immergés à 9 m de profondeur. Le module de gauche possède 3 ouvertures, le module central possède une ouverture et le module de droite possède 2 ouvertures. © Patrice Francour

Description de l'opération

Des modules expérimentaux ont été testés en bassin et en milieu naturel. Ces modules se composaient d'éléments en béton d'une dimension de 40 x 40 cm et de 30 cm de haut ainsi qu'une dalle supérieure de 50 x 50 cm. Ces derniers étaient percés par une à trois ouvertures latérales.

Trois types de modules ont été testés en canal à houle (un module à trois perforations) à deux vitesses différentes. Ces modules ont ensuite été immergés provisoirement en juillet 2013 dans le cantonnement de pêche du Cap Roux afin de tester *in situ* la transplantation de cystoseires et l'efficacité écologique en tant que récif artificiel. Vingt jours après l'immersion des modules unitaires, des fragments de thalles de cystoseires provenant des galets environnants y ont été transplantés.

Les fragments isolés étant rapidement consommés par les poissons herbivores, un dispositif destiné à limiter ou empêcher la consommation par les saupes a été installé (treillis en plastique recouvert d'excroissances ramifiées imitant de fausses algues).

Résultats obtenus

Dès le premier suivi, les fragments de cystoseires installés sans dispositif pour limiter ou empêcher le broutage avaient presque totalement disparu, et les thalles restants étaient très courts. Après 74 jours, il n'en restait plus aucun.

Sur les zones avec le dispositif de protection, 90 % des thalles étaient encore présents au premier suivi et leur longueur était sensiblement supérieure. Au deuxième suivi, 83 % des thalles étaient encore en place. La totalité des thalles avaient disparu 100 jours après l'opération.

D'autres plongées effectuées au printemps 2014 n'ont pas permis d'observer de jeunes pousses de cystoseires.

Les modules ont été rapidement utilisés par les espèces de poissons après leur immersion, les densités calculées étant du même ordre de grandeur que celles obtenues à proximité sur substrat naturel (roche à algues photophiles). Des juvéniles ont également été observés sur les plaques supérieures en présence d'une couverture algale.

Sources

Publication scientifique :

Francour P., Magréau J.F., Cheminée A., Bernard S., Gouaud F., Bodilis P. 2015. Conception et Immersion de Récifs artificiels pour la restauration des habitats à Cystoseires (CIRCE). Rapport final. Convention de partenariat Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et Université Nice Sophia Antipolis. ECOMERS, publ., Nice : 1-129 p.

Contact : Pascaline Bodilis-Guillemain, Université Nice Côte d'Azur, France
pascaline.bodilis-guillemain@univ-cotedazur.fr

Fiche 11 : Cystoseires_MERCES_Espagne

Transplantation de Cystoseires

Projet MERCES

Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas



Végétalisation de barren grounds



Informations générales

Porteur(s) du projet : Institut de Recherche pour la Biodiversité (IRBio),
Université de Barcelone, Espagne

Partenaires techniques et financiers : MedRecover (Marine Biodiversity Conservation Group)
Parc Naturel du Montgrí, des îles Medes et du Baix Ter

Localisation : Parc Naturel du Montgrí, des îles Medes et du Baix Ter (MIMBT),
Espagne

Période : 2017-2019

Espèce/habitat ciblé : *Gongolaria elegans*

Budget : 60 000 €/ha (comprenant les frais de transport et de matériel, et le salaire de 3 plongeurs qualifiés et 1 skipper de bateau)

Objectifs du projet

Évaluer l'efficacité des techniques de restauration active seules, ou avec les mesures de protection marine, pour favoriser la récupération des petits fonds dégradés.

Favoriser la formation de forêts de Cystoseires dans les barren grounds, afin de retrouver leur rôle écologique important.

Description de l'opération

En 2017, la technique de restauration a d'abord été testée *in situ* sur deux sites expérimentaux (après enlèvement manuel des oursins) et *ex situ*, en aquarium. Des branches de *G. elegans* ont été prélevées à partir d'une population donneuse saine et fertile et placées dans des sacs en maille PVC permettant la libération des gamètes à travers la maille.

Six sacs de semis maillés contenant chacun environ 75-80 g de branches fertiles ont été placés au sein d'une communauté dégradée d'algues. Ils étaient attachés à une vis en plastique préalablement fixée dans le substrat dur. Cinq plaques de calcaire de 25 cm² ont été placées directement sous les sacs pour accueillir la colonisation des graines de *G. elegans*.

Au total, la technique a été mise en place sur 10 sites *in situ* en 2018 : 6 barren grounds à revégétaliser dont 3 situés à l'intérieur d'une réserve marine protégée et 3 situés à l'extérieur de la réserve. De plus, 4 sites de référence ont été suivis. Les 10 sites sélectionnés se situaient entre 5 et 10 m de profondeur. Durant cette phase, également trois types de collecteurs d'environ 25 cm² chacun (zones d'accueil de la colonisation) ont été testés : des plaques de calcaire, des parcelles de substrat d'origine et des parcelles de substrat gratté et dégagé.

Résultats obtenus

En 2017, la densité de recrues de *G. elegans* était similaire avec les techniques mises en place *in situ* et *ex situ*. Des taux de mortalité élevés et similaires ont été observés au cours des deux premiers mois : 95,9 % pour *in situ* et 94,9 % pour *ex situ*.

Dans les expériences de 2018-2019, une plus grande densité de recrues de *G. elegans* a été trouvée sur les collecteurs à surface libre que sur le substrat d'origine. Des taux de mortalité élevés des recrues ont été observés un an plus tard (80,0 % sur le substrat dégagé, 86,5 % sur les plaques de calcaire et 92,3 % sur le substrat original). Le taux de survie le plus élevé a été observé sur les collecteurs à substrat dégagé.

Un an après l'éradication complète, une réduction significative de la biomasse d'oursins a été observée, sans différence entre les zones protégées et non protégées, montrant alors l'absence d'effet du niveau de protection sur le succès de l'éradication des oursins.

Pour les macroalgues, un an après la revégétalisation, la couverture de *G. elegans* a augmenté dans les terrains activement restaurés, mais n'a pas atteint la couverture observée dans les forêts de référence.

Seuls les sites de barren grounds où étaient combinées restauration passive et active se sont rapprochés des forêts de référence un an après l'opération, tandis que les barren grounds revégétalisés et les barren grounds de référence sont restés proches de leur état initial.



Sacs de semis maillés et 3 types de collecteurs. © Medrano et al., 2020

Sources

Publication scientifique :

Medrano, A., Hereu, B., Cleminson, M., Pagès-Escolà, M., Rovira, G., Solà, J., & Linares, C. (2020). From marine deserts to algal beds: Treptacantha elegans revegetation to reverse stable degraded ecosystems inside and outside a No-Take marine reserve. *Restoration Ecology*, 28(3), 632-644.

Contact : Alba Medrano, IRBio, Espagne
albamedrancuevas@gmail.com

Fiche 32 : Cystoseires_Minorque_Espagne

Restauration de Cystoseires



Récoltes de rameaux fertiles

Informations générales

Porteur(s) du projet : Centre Avancé d'Etudes de Blanes (CSIC), Espagne
Partenaires techniques et financiers :

Institut Espagnol d'Océanographie (IEO)
Faculté des Sciences, Université de
Girone, Espagne
Fondation Biodiversité, Espagne

Direction générale de l'innovation et de la
recherche (Gouvernement des îles Baléares)
Fonds européen de développement régional
(FEDER)

Localisation : Minorque, Espagne

Période : 2011 - 2017

Espèce/habitat ciblé : *Gongolaria barbata*

Budget : 1 092 € pour la méthode *in situ* ; 2 665 € pour la méthode *ex situ* pour restaurer 25 m²



Objectifs du projet

Tester expérimentalement des méthodes de restauration non destructives pouvant conduire à l'établissement de populations autosuffisantes de *Gongolaria barbata*.

Suivi scientifique

Des suivis mensuels ont été réalisés pour surveiller les structures.

Après cinq mois, les recrues *in situ* et *ex situ* étaient suffisamment grandes pour un suivi visuel de leur densité (nombre d'individus/0,04 m²) et de la distribution de la structure de leur taille (longueur l'axe principal).

Durant toute l'expérience, trois populations naturelles ont servi de témoins à des fins de comparaison.

Les densité et les distributions de la structure en taille de chaque population témoin ont été surveillées dans 20 quadrats de 20 x 20 cm au hasard durant toute l'opération.

Description de l'opération

Deux techniques non destructives, qui reposent sur la récolte d'une petite proportion (< 5%) de rameaux fertiles ont été testées *in situ* et *ex situ*. Les sites donneurs et restaurés étaient situés entre 0,2 et 1 m de profondeur.

Pour la méthode *in situ*, une fois collectés, les rameaux apicaux fertiles des sites donneurs étaient placés dans des **sacs de dispersion de 8 x 10 cm**. Ils étaient composés de **36 % de fibre de verre** et de **64 % de PVC** avec un **maillage de 1,20 x 1,28 mm**. Les sacs étaient attachés à une pioche et fixés à une distance verticale de **0,25 cm du fond** à l'aide d'un marteau.

Au total, **huit sacs** contenant environ **20 récipients fertiles** chacun ont été placés sur les deux sites de restauration à des distances de **2-3 m** l'un de l'autre. Sur les deux sites, **six pierres de schiste** plates naturelles de surfaces similaires (0,04 m²) ont été débarrassées des organismes et des sédiments puis placées au hasard dans des rayons entre **0,1 et 4 m** autour des sacs de dispersion pour favoriser le recrutement de *G. barbata*. Après **quatre jours**, les sacs de dispersion ont été retirés des sites.

Pour la méthode *ex situ*, les récipients collectés de **rameaux apicaux fertiles de 2 à 3 cm de longueur** provenant des sites donneurs ont été prélevés et placés dans des sacs en plastique sans eau de mer. Puis, ils ont été transportés au laboratoire sous froid. Après **trois mois dans des conditions contrôlées** permettant la libération des zygotes, des pierres avec des recrues de *G. barbata* ont été transportées vers les sites de restauration et **six pierres** ont été placées à une distance de **25 m** de la zone restaurée *in situ* sur chaque site.

Résultats obtenus

La densité des populations restaurées a fortement diminué au cours de la première année qui a suivi l'action de restauration mais est restée plus stable par la suite.

Six ans après l'action de restauration, la taille de chacune des quatre parcelles de *G. barbata* restaurées était d'environ **25 m²**. Les densités et les distributions de structure de taille des populations restaurées étaient similaires et **comparables à celles des populations naturelles** de référence. Et ce, pour les deux techniques.

Les méthodes de restauration et de surveillance proposées dans ce projet **peuvent s'appliquer à d'autres espèces de macroalgues**, en particulier celles qui libèrent des zygotes rapidement avec une dispersion limitée.

Sources

Publication scientifique :

Verdura J, Sales M, Ballesteros E, Cefalí ME and Cebrián E. (2018). Restoration of a Canopy-Forming Alga Based on Recruitment Enhancement: Methods and Long-Term Success Assessment. Front. Plant Sci. 9:1832, doi: 10.3389/fpls.2018.01832

Contact : Jana Verdura, Université de Girone, Espagne
jana.verdura@udg.edu

II.A. Restauration des grandes nacres et oursins

La carte ci-dessous représente la répartition des projets de restauration des Oursins ou des Grandes nacres.



Figure 7 : Répartition spatiale des fiches projets Oursins et Grandes Nacres

Fiche 6 : Grande Nacre_Grèce

Transplantation de Grandes Nacres

La transplantation : une action de conservation de l'espèce ?



Informations générales

Porteur(s) du projet : Université de Aegean, Grèce

Partenaires techniques et financiers : NA

Localisation : Lac marin de Vouliagmeni, Golfe de Corinthe, Grèce

Période : 2006 - 2012

Espèce/habitat ciblé : *Pinna nobilis*

Budget : NA

Objectifs du projet

Initier une **étude pilote** sur la transplantation de *Pinna nobilis* comme une mesure de conservation potentielle de cette espèce protégée.

Évaluer l'**efficacité de transplantation** à petite échelle de *Pinna nobilis*.

Estimer le **taux de croissance** et de **mortalité** spécifique des *Pinna nobilis* transplantées.

Description de l'opération

Une première campagne a été menée sur **40 individus** dont la largeur de coquille était comprise entre 4,6 et 17,1 cm. La **moitié** a été transplantée à **4 m de profondeur** et l'autre moitié a été transplantée à **12 m de profondeur** (zone plus profonde et donc moins accessible au braconnage).

Une **truelle** de jardinage a été utilisée pour prélever leur byssus sans leur causer de blessure. Les individus ont été repiqués sur deux rangées pour chacune des profondeurs, chaque individu était à 1 m des autres.

Une seconde étude a ensuite été menée sur **45 individus** dont la largeur de la coquille était comprise entre 9,1 et 19,3 cm. Tous les individus ont été prélevés à **4 m de profondeur** puis transplantés à **12 m de profondeur**.

Au total, **5 groupes de 9 individus** distants chacun de 20 m ont été répartis sur une formation rectangulaire avec trois individus de chaque côté et un au centre. Chaque individu était distant de 0,5 m de ses voisins.

Suivi scientifique

Les individus transplantés ont été suivis annuellement pendant **cinq années** consécutives.

A chaque suivi, la **largeur** de la coquille de chaque individu a été mesurée *in situ*.

Le **taux de mortalité** a été estimé en différenciant l'événement de **mortalité naturelle** caractérisé par un individu dont sa coquille était ouverte et vide et l'événement de **mortalité par pêche** caractérisé par l'absence de l'individu de sa position initiale.

Un échantillon de 20 individus de tailles comprises entre 8,7 et 19,3 cm positionnés entre 11 et 25 m de profondeur a servi de **témoin**.

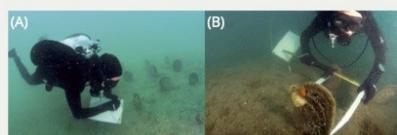
Résultats obtenus

Pour la première expérience, **100 %** des individus transplantés à **4 m de profondeur** et **20 %** des individus transplantés à **12 m sont morts** au bout de **72 jours** (principalement les petits individus). La pêche était la cause principale de mortalité.

Pour la seconde expérience, **95,6 %** des individus transplantés à **12 m de profondeur ont survécu** et les taux de croissance ne différaient pas de ceux des individus témoins pour la même profondeur.

En augmentant l'espérance de vie moyenne, la transplantation à grande échelle augmenterait le taux de croissance de la population et conduirait à une plus grande abondance à court/moyen terme.

Dans les zones où les grandes nacres souffrent d'une mortalité élevée, la **transplantation d'individus plus âgés semble être une action efficace pour protéger les populations locales**.



(A) Un groupe de 9 individus de *P. nobilis* transplantés à une profondeur de 12 m de profondeur. (B) Mesure de la largeur de la coquille d'un individu transplanté avec un pied à coulisse. © Yiannis Issaris

Sources

Publication scientifique :

Katsanevakis S (2016) Transplantation as a conservation action to protect the Mediterranean fan mussel *Pinna nobilis*. Mar Ecol Prog Ser 546:113-122. <https://doi.org/10.3354/meps11658>

Contact :

Stelios Katsanévakis, Université de Aegean, Grèce
stelios@katsanevakis.com

Fiche 10 : Grande Nacre_Capo Peloro_Italie

Transplantation de Grandes Nacres



Déplacer des individus d'une zone impactée vers une zone protégée



Informations générales

Porteur(s) du projet : Institut du Milieu Marin Côtier (IAMC), Conseil National de la Recherche (CNR), Messine, Italie

Partenaires techniques et financiers : Université de Messine, Italie
"Provincia Regionale di Messina", FARAU srl

Localisation : Lagune de Capo Peloro, Italie

Période : 2018

Espèce/habitat ciblé : *Pinna nobilis*

Budget : NA

Objectifs du projet

Tester la transplantation de *Pinna nobilis* à petite échelle **d'un site fortement impacté vers une zone protégée (lagune)** sur une **période de 12 mois**.

Évaluer cette technique comme **méthode de conservation de cette espèce protégée**.

Suivi scientifique

Les individus de *P. nobilis* transplantés ont été suivis **tous les 3 mois** pendant **1 an**.

Un groupe témoin de **81 individus** déjà en place dans une zone protégée a été choisi à l'intérieur du Lac Faro.

Chaque individu, témoin et transplanté, était identifié. Un suivi de leur **taux de survie** et de leur **croissance** a été réalisé.

Le **taux de mortalité** a été évalué chaque **semaine** dans les deux groupes.

Description de l'opération

En juin 2012, **53 individus** de *Pinna nobilis* ont été prélevés avant le dragage annuel du canal de Faro, situé entre le lac de Faro et le détroit de Messine.

Tous les paramètres morphométriques comme la longueur maximale de la coquille de chaque individu ont été mesurés *in situ*.

Les individus ont rapidement été transplantés dans une zone protégée située le long de la côte nord de la ville de Messine dans la Lagune de Capo Peloro. Cette zone, de **10 x 10 m**, a été préalablement divisée en **100 parcelles** de sorte que la densité était de **5 individus/m²**.

Résultats obtenus

Sur une période de **12 mois**, les individus de petite (< 10 cm) et moyenne taille (< 15 cm) transplantés ont eu un **taux de croissance élevé** comparé aux individus témoins.

Le **taux de mortalité était similaire** pour les individus transplantés (17 %) et le groupe témoin (24 %). Mais des taux de mortalité élevés sans cause reconnaissable ont été observés chez les individus de grandes tailles transplantés ce qui suggère qu'ils ont subi un **stress de transplantation** plus important que les individus plus jeunes.

De manière générale, les résultats montrent que les individus transplantés ont toléré **une densité de population plus élevée** ce qui est généralement observé dans les populations naturelles.

L'expérience à petite échelle a démontré que **les individus de *P. nobilis* toléraient bien la transplantation en terme de survie et de croissance**.

Cette méthode est faisable et efficace pour **prévenir** le déclin de la population de *P. nobilis* mais elle seule ne peut pas déterminer le rétablissement de la population locale car elle **n'agit pas sur le recrutement et la survie des juvéniles**. Néanmoins, la forte densité de population pourrait **faciliter un effort de reproduction élevé**.

Sources

Publication scientifique :

Teresa Bottari, Andrea Spinelli, Barbara Busalacchi, Paola Rinelli, and Salvatore Giacobbe "Transplant Trials of the Fan Mussel *Pinna nobilis* Inside the Coastal Lagoon of Capo Peloro (Central Mediterranean, Italy)," Journal of Shellfish Research 36(1), 3-8, (1 April 2017). <https://doi.org/10.2983/035.036.0102>.

Contact :

Teresa Bottari, IAMC-CNR, Italie
teresa.bottari@iamc.cnr.it



Pinna nobilis. © Laurent Ballesta

Fiche 16 : Grande Nacre_MERCES_Croatie

Restauration de Grandes Nacres

Projet MERCES

Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas

Translocation comme mesure de préservation

Informations générales

Porteur(s) du projet : Université de Zagreb, Faculté de Science, Croatie

Partenaires techniques et financiers :

Programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne (projet MERCES, coordonné par l'Université polytechnique des Marches, Italie)

Club de plongée Loligo, Vodnjan, Croatie
D.I.I.V. Ltd.
Centre nautique

Localisation : Pula Harbour et Aire Marine Protégée de Brijuni, Mer Adriatique, Croatie

Période : 2017 - 2019

Espèce/habitat ciblé : *Pinna nobilis*

Budget : 7 000 € (pour l'action de translocation et 2,5 ans de surveillance)



Objectifs du projet

Les grandes nacres (*Pinna nobilis*) ont été **transloquées** vers l'Aire Marine Protégée (AMP) de Brijuni afin de les **préserver** de la construction d'un nouveau centre nautique dans le port de Pula.

Description de l'opération

De **petites truelles** ont été utilisées par les plongeurs pour extraire soigneusement du sédiment la population de *Pinna nobilis* ainsi que leur byssus, l'ensemble des filaments adhésifs sécrétés à la base de leur pied pour se fixer au substrat.

Les coquilles ont été collectées dans des boîtes en plastiques subdivisées et utilisées pour leur transport par les plongeurs en mer. Jusqu'au dernier moment les bivalves ont été conservés dans la mer puis ont été transférés dans de grands **réservoirs** sur le bateau avec un approvisionnement constant en eau de mer fraîche.

Les données morphométriques de chaque individu ont été recueillies.

Sur le site receveur, une truelle ou une tige métallique ont été utilisées pour créer des trous dans le sédiment. La **partie antérieure** a été insérée dans le substrat soit environ **1/3 de la hauteur totale de la coquille**.

Suivi scientifique

La **survie** et la **croissance** des grandes nacres (*Pinna nobilis*) transloquées ont été surveillées **une fois par an, durant la durée du projet**.

Le **recrutement** a également été évalué à chaque campagne de suivi.

Résultats obtenus

En 2017, un total de **154 bivalves** a été transféré sur **trois sites différents** au sein de l'AMP Brijuni entre **6 et 12 m de profondeur**.

Deux ans après, **86,4 %** des individus transloqués ont **survécu**. Un résultat qui correspond à une **mortalité naturelle estimée à 7 % par an**.

Parmi les individus décédés, **50 %** d'entre eux sont morts immédiatement après la translocation, probablement en raison du **stress** associé et/ou d'une **manipulation inappropriée**.



Translocation de *Pinna nobilis*, Pajusalu et al., 2019

Sources

Publication scientifique :

Pajusalu L, Bakran-Petricoli T, Boström C, Carugati L, Christie H, Da Ros Z, Danovaro R, Gagnon K, Gambi C, Govers L, Gräfning M, Kaljurand K, Kipson S, Kotta J, Martire ML, Rinde E, van der Heide T, van de Koppel J, Martin G. (2019.) Restoration results in the case study sites. Deliverable 2.2. MERCES project, 53 pages.

Contact :

Silvija Kipson, Université de Zagreb, Faculté de Science, Croatie - SEAFAN Marine Research & Consultancy
silvija.kipson@gmail.com

Fiche 21 : Grande Nacre_Tavolara_Italie

Transplantation de Grandes Nacres



Replantation d'individus arrachés



Informations générales

Porteur(s) du projet : Université de Pavie, Italie

Partenaires techniques et financiers :

Aire Marine Protégée de Tavolara - Punta Coda Cavallo, Italie

Localisation : Baie de Punta Don Diego, Italie

Période : 2004 - 2006

Espèce/habitat ciblé : *Pinna nobilis*

Budget : NA

Objectifs du projet

Évaluer, dans une zone propice au développement de *Pinna nobilis*, l'efficacité de la replantation d'individus arrachés sur le fond ou récupérés auprès des touristes.

Description de l'opération

18 individus de grandes nacres ont été trouvés arrachés sur le fond ou récupérés auprès de touristes (braconnage).

Une opération de **replantation** de ces individus a été testée dans un site inaccessible aux touristes (car profond) et proche des zones de découvertes des individus arrachés.

Avant chaque replantation, l'**état vital** ainsi que l'intégrité du byssus de chaque bivalve ont été vérifiés.

Chaque bivalve a été mesuré puis inséré dans le fond sableux sur **1/3 de sa taille** (byssus compris), dans le sens du courant.

Suivi scientifique

Mesure de la taille du bivalve et évaluation de la vitalité de l'individu avant la replantation.

Suivi du taux de survie et de l'état de vitalité pendant deux ans.

Résultats obtenus

La réimplantation a donné des résultats positifs avec **75 %** de survie (**12/16 cas** où elle a été tentée). Sur deux individus, la réimplantation n'a pas été tenté car leur glande byssus était trop endommagée.

Les **résultats positifs** ont majoritairement concerné des bivalves de **taille supérieure à 10 cm**, ces derniers représentant **56 %** des individus transplantés.

Compte tenu des nombreuses perturbations comme les prédateurs, le vent et le braconnage, les résultats de cette expérience sont prometteurs.

Il est donc possible d'affirmer que la **replantation** peut être un **outil valable** pour tenter d'enrayer le déclin incessant de cette espèce.



Pinna nobilis. © Laurent Ballesta

Sources

Publication scientifique :

Caronni, Sarah & Cristo, Benedetto. (2008). Osservazioni sul reimpianto di esemplari di *Pinna nobilis* (Linneo, 1758) ritrovati staccati e privi di bisso. Biologia Marina Mediterranea. 15. 300-301.

Contact :

Sarah Caronni, Université de Pavie, Italie
sarah.caronni@unipv.it

Fiche 12: Oursins_MERCES_Italie

Restauration de macroalgues

Projet MERCES

Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas

Informations générales

Porteur(s) du projet : Consortium National Interuniversitaire pour les Sciences Marines (CoNISMa), Italie

Partenaires techniques et financiers :

- Université de Salento, Italie
- Université de Trieste, Italie
- Institut des Sciences de la Mer (ICM-CSIC), Barcelone, Espagne
- Station Zoologique Anton Dohrn, Naples, Italie
- Université de Naples Frederico II, Italie

Localisation : Aire Marine Protégée (AMP) de Porto, Cesareo, Pouilles, Italie

Période : 2015 - 2018

Espèce/habitat cible : *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus*

Budget : 15 000 €

Objectifs du projet

Évaluer l'efficacité d'une intervention d'enlèvement manuel à grande échelle pour réduire la pression d'herbivorie sur les assemblages benthiques perturbés.

Évaluer la trajectoire et le délai de récupération des assemblages au sein des barren grounds.



Réduire la pression d'herbivorie par éradication manuelle



Description de l'opération

L'éradication manuelle des oursins a été réalisée au printemps 2015 sur deux sites au sein de la Zone de Non Prélèvement (ZNP) de l'AMP de Porto, d'une étendue linéaire d'environ 200 m chacun, couvrant une superficie totale de 1,2 ha.

L'opération a été effectuée au moyen d'un protocole "Belt transect", au cours duquel des lignes de transect (33 transects d'enlèvement pour chaque site) d'environ 30 m ont été placées perpendiculairement à la côte en suivant le parcours 210° d'une boussole à travers le plateau situé à 5 m de profondeur, jusqu'à son bord.

Les plongeurs étaient positionnés d'un côté de la ligne et avançaient en parallèle, créant un "front de nettoyage", de sorte qu'une zone d'environ 3 m de part et d'autre de la corde soit totalement débarrassée d'oursins. Les plongeurs ont travaillé en parallèle pendant 8 jours jusqu'à ce que l'ensemble des sites expérimentaux soit nettoyé. Tous les individus visibles ont été éliminés à l'aide de marteaux, et un couteau a été utilisé pour les retirer des crevasses.

Un total d'environ 92 500 oursins a été retiré au cours des huit jours passés sur les deux sites, et le nombre de plongeurs ayant participé par jour a varié de cinq à huit, chacun d'entre eux passant environ 90 min sous l'eau. Un total de 84 heures a été consacré à l'intervention.

Résultats obtenus

L'efficacité de l'intervention a été évaluée en 2018 par la moyenne des indicateurs de succès suivants :

- Le pourcentage de couverture des espèces de macroalgues
- La réduction des sols stériles (barren grounds)
- Le taux de recolonisation des oursins.

Une très faible recolonisation des oursins a été observée dans la période couverte par l'expérience, de sorte qu'aucune éradication supplémentaire n'a pas été nécessaire.

À la fin de l'étude, les oursins des sites d'éradication étaient environ 75 % moins abondants qu'au début. Les résultats montrent une forte récupération après le début de l'expérience, avec une réduction progressive des barren grounds dans la zone concernée par l'intervention.

En revanche, aucune différence n'a été détectée en termes de richesse spécifique.

Sources

Publication scientifique :

Guarnieri, G., Bevilacqua, S., Figueras, N., Tamburello, L., & Fraschetti, S. (2020). Large-Scale Sea Urchin Culling Drives the Reduction of Subtidal Barren Grounds in the Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 7, 519.

Site internet : <http://www.merces-project.eu/>

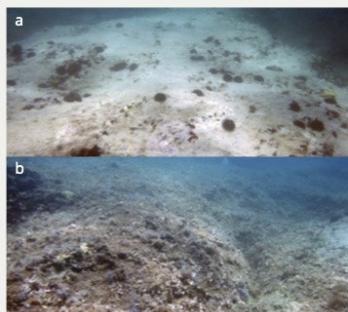
Contact :

Giuseppe Guarnieri, CoNISMa/Université de Salento
giuseppe.guarnieri@unisalento.it

Suivi scientifique

Les résultats de l'éradication ont été suivis à intervalles de temps réguliers, au moyen de transects vidéo et de relevés photographiques, sur une période de trois ans.

Ces résultats ont été comparés à deux zones témoin adjacentes à la zone concernée par l'opération.



Etat final des sites de référence (a) et d'enlèvement (b) trois ans après l'intervention. © Guarnieri et al., 2020.

II.B. Restauration des herbiers de phanérogames

La carte ci-dessous représente la répartition des projets de restauration des phanérogames (Posidonie, Cymodocée, Zostères, etc.)

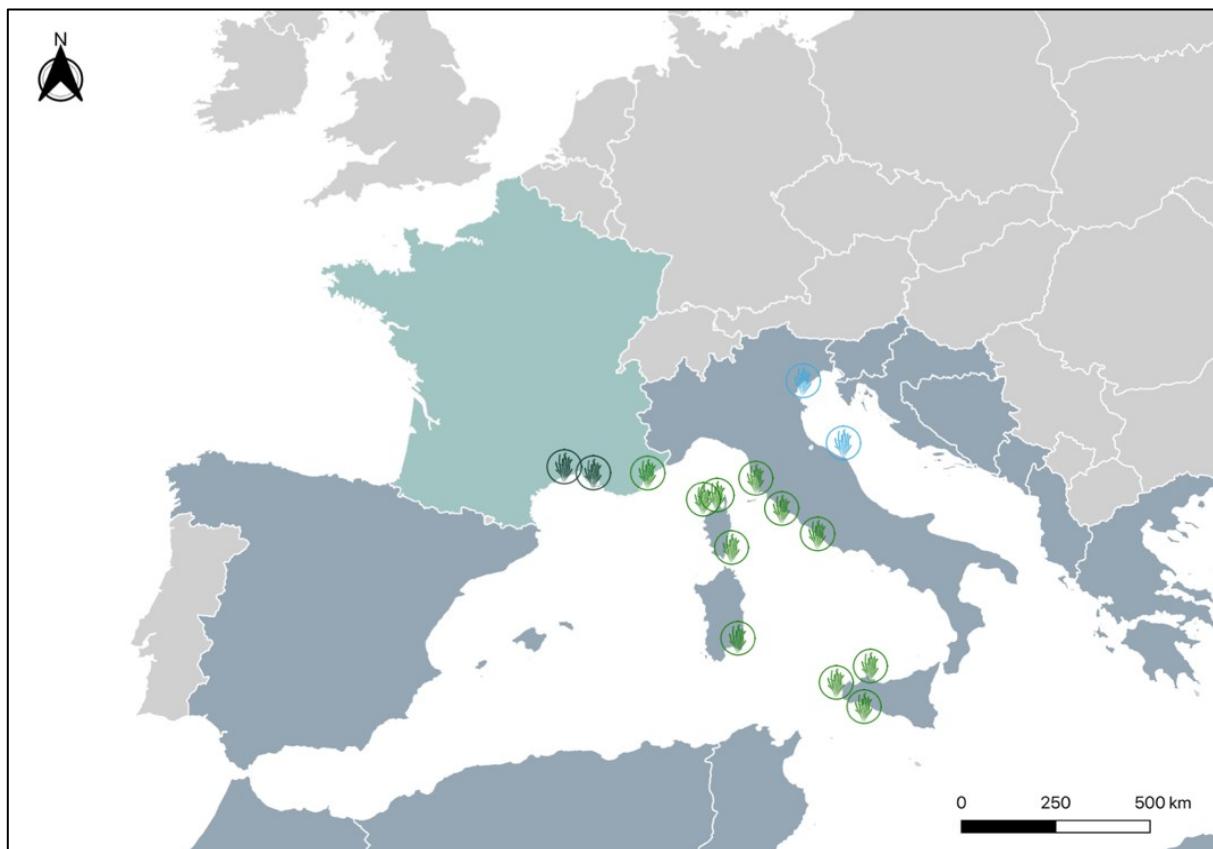


Figure 8 : Répartition spatiale des fiches projets Posidonie, Cymodocées et Zostères (se reporter au tableau 4 pour la signification des symboles)

Fiche 2 : Cymodocée_Venise_Italie

Restauration de Cymodocées



Transplantation mécanique de mottes

Informations générales

Porteur(s) du projet : Société de services en biologie et géologie (SELC), Venise, Italie
Partenaires techniques et financiers : Interregional Superintendency for Public Works for Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia); SELC Soc. Coop. B.6.85/II Study. Concessionnaire: Consorzio Venezia Nuova

Localisation : Lagune de Venise, Italie

Période : 2010 et 2016

Espèce/habitat ciblé : *Cymodocea nodosa*

Budget : 350 000 €



Objectifs du projet

Rétablissement l'état écologique de la lagune supérieure de Venise endommagée par les pressions d'ancrage des bateaux de plaisance.

Restaurer et préserver l'**habitat** grâce à la transplantation de mottes de *Cymodocea nodosa*.



Rhizome de *C. nodosa* © Curiel et al. (2021)

Suivi scientifique

Les interventions de restauration ont été suivies lors de contrôles effectués **deux à trois ans après l'opération**, durant lesquels la **couverture**, la **densité** des pousses, la **taille** des parcelles, la **biomasse**, et la **taille** des **rhizomes** ont été évaluées.

Une inspection spéciale du site restauré a été effectuée en janvier 2021, soit **cinq ans après l'intervention**.



Transplantation de *C. nodosa* © Curiel et al. (2021)

Description de l'opération

La **transplantation mécanique** de mottes a été réalisée avec un **godet hydraulique** conçu spécifiquement pour ce projet (environ 60 mottes par jour soit 120 m² d'herbier, en fonction de la typologie de la zone). Les mottes de **2 m²** d'herbiers avec leurs sédiments ont été acheminées jusqu'aux différents sites définis pour la transplantation, puis ont été déposées dans le substrat sablo-vaseux, à une **profondeur moyenne de 2-3 m**.

En 2010, **2 250 m²** d'herbiers de *Cymodocea nodosa* ont été extraits de différents **sites donneurs** et **réimplantés** dans le bassin lagunaire sud, dans des parcelles d'environ **350 m²** chacune, et à environ 1,30 m les unes des autres.

En 2016, **450 mottes** d'environ 2 m² chacune ont été prélevées à partir de 2 sites donneurs, et ont ensuite été transplantées sur un **substrat sablo-vaseux** à une **profondeur de 1,5 à 3,0 m** pour restaurer environ **0,6 ha** de *Cymodocea nodosa* dans le bassin central.

Résultats obtenus

En 2010, le suivi du site à la fin de la troisième saison de végétation a montré une couverture de **80-100 %** et une **augmentation** de la surface végétalisée (x3,2 à x3,8), ainsi qu'un **faible taux de mortalité** des mottes transplantées (6 à 13 %).
Après trois ans, les sites donneurs ont retrouvé une **couverture** d'environ **100 %**.

En 2016, le **taux de mortalité des mottes** a été estimé à **4-5 %** à la fin de la première saison de croissance. Après la fin de la troisième saison de croissance, les mottes ont donné naissance à une prairie quasi-contINUE avec une **couverture de 75 à 100 %**.

Cinq ans après l'intervention, grâce à la **forte capacité de croissance végétative** et de **production** de graines de *Cymodocea nodosa*, la zone de transplantation était **complètement recolonisée**, et la prairie était comparable en densité et en degré de couverture (**80-100 %**) à celle du donneur voisin.

Sources

Publication scientifique :

Curiel, Daniele, Sandra Kraljević Pavelić, Agata Kovačev, Chiara Miotti, et Andrea Rismundo. (2021). « Marine Seagrasses Transplantation in Confined and Coastal Adriatic Environments: Methods and Results ». Water 13, n° 16 : 2289. <https://doi.org/10.3390/w13162289>.

Contact :

Daniele Curiel, SELC
curiel@selc.it

Fiche 17 : Cymodocée_MERCES_Italie

Restauration de Cymodocées

Projet MERCES

Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas



Transplantation
d'herbiers en pots

Informations générales

Porteur(s) du projet : Université Polytechnique des Marches, Ancône, Italie

Partenaires techniques et financiers : MERCES project (Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas; GA n 689518)

Localisation : Gabicce Mare, Province de Pesaro et Urbino, Italie

Période : 2018 - 2019

Espèce/habitat ciblé : *Cymodocea nodosa*

Budget : NA



Objectifs du projet

Évaluer l'**efficacité** d'une nouvelle technique de **transplantation** de cymodocées sur les fonctions clés de l'écosystème.

Description de l'opération

Un carrottier manuel en inox a été utilisé pour extraire une **motte** dans l'herbier donneur. Cette motte a immédiatement été insérée dans un **sac biodégradable** pour maintenir son intégrité. Puis les sacs ont été insérés à l'aide d'une tige en acier inoxydable en forme de U dans des **pots biodégradables** pour maintenir sa consistance.

L'étude comprenait **neuf parcelles carrées** (1 m^2):

- Six ont été utilisées comme parcelles témoins (trois dans les sédiments nus et trois dans l'herbier existant).
- Trois parcelles expérimentales, situées à la même profondeur (0,9 - 1,3 m) que les témoins, ont été transplantées.

Plusieurs pots ont été plantés dans chaque parcelle afin de couvrir la totalité des parcelles expérimentales. Chaque pot contenait **11 à 13 pousses de cymodocées**.

Résultats obtenus

La **méthode proposée ici pour la transplantation de cymodocées semble être un succès**. L'utilisation de sacs biodégradables a favorisé la **préservation des racines** et leur **survie** lors des conditions hydrodynamiques sévères rencontrées en période hivernale.

En septembre 2018, soit quatre mois après la transplantation, la biomasse avait également augmenté dans les herbiers transplantés ($100,5 \pm 47,7 \mu\text{g C/m}^2$), atteignant des valeurs similaires à celles des parcelles témoins ($282,9 \pm 131,5 \mu\text{g C/m}^2$).

Un an après la transplantation, les herbiers transplantés présentaient la même densité ($619,7 \pm 271,4 \text{ pousses/m}^2$) que les herbiers existants ($874,1 \pm 134,4 \text{ pousses/m}^2$) entre mai 2018 et mai 2019.

La **qualité de la matière organique** en terme de rapport protéines/glucides était significativement plus **élève** dans les sédiments entourant les herbiers transplantés et les herbiers donneurs que les herbiers témoins à sédiment nu.

Ainsi la transplantation de *C. nodosa*, en plus de l'amélioration de la qualité de la matière organique dans les sédiments environnants, peut potentiellement **améliorer les performances de l'écosystème benthique**.

Sources

Publication scientifique :

Da Ros, Zaira & Corinaldesi, Cinzia & Dell'Anno, Antonio & Gambi, Cristina & Torsani, Fabrizio & Danovaro, Roberto. (2020). Restoration of *Cymodocea nodosa* seagrass meadows: efficiency and ecological implications. *Restoration Ecology*. 29. 10.1111/rec.13313.

Site internet : <http://www.merces-project.eu/>

Contact : Antonio Dell'Anno, Université Polytechnique des Marches, Ancône, Italie
a.dellanno@univpm.it



Transplantations d'herbiers. © Da Ros et al., 2020

Fiche 7 : Posidonie_REPAIR_France

Restauration de Posidonie

Projet REPAIR

REstoration of anthropogenic PAches in Posidonia oceanica meadows

Informations générales

Porteur(s) du projet : Université de Liège, Belgique
STARESO

Partenaires techniques et financiers : Fonds National de la Recherche Scientifique (FNRS)

Localisation : Calvi, Corse

Période : 2021 - 2025

Espèce/habitat ciblé : *Posidonia oceanica*

Budget : NA



Restaurer des sillons d'herbier à partir de substrats artificiels biodégradables



Objectifs du projet

Stabiliser et restaurer les sillons sableux **longitudinaux** créés par l'action des ancrages dans les herbiers de posidonie.

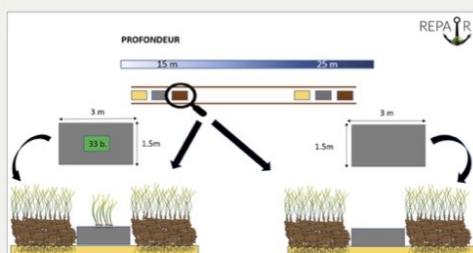
Evaluer dans quelle mesure différents **substrats artificiels biodégradables** placés sur le fond sont capables de faciliter et d'accélérer la **recolonisation** naturelle par l'herbier adjacent.

Suivi scientifique

Une première campagne de suivi a été réalisée en septembre/octobre 2022.

Lors de chaque suivi, l'évolution des paramètres **morphologiques**, **physiologiques** et **physico-chimiques** du sédiment est effectuée sur les différents sites expérimentaux et dans les herbiers référents adjacents.

Un suivi par **photogrammétrie** du **recouvrement** global et de la **densité** est également réalisé.



Représentation des procédés de restauration active et de recolonisation assistée. Pour le premier procédé, 33 boutures de posidonie seront transplantées sur 3 types de substrats artificiels au sein de sillons d'ancrage, présents d'approximativement 20 à 28 m de profondeur.

Illustration : Arnaud Boulenger.

Sources

Publication scientifique :

A venir

Site internet :

<https://seaescape.fr/blog/2022/03/20/repair-restauration-posidonie/>

Contact :

Arnaud Boulenger, Université de Liège, Belgique
arnaud.boulenger@doct.uliege.be

Description de l'opération

Deux procédés sont testés : la **restauration active** et la **recolonisation assistée**.

Pour la restauration active, des **boutures-épaves** sont récoltées en plongée sous-marine puis attachées sur différents substrats. Ces structures de **4,5 m²** de composition différente (géotextile végétal et fixations métalliques) seront placées au sein des sillons d'ancrage et accueilleront 1 m² de boutures.

Pour la recolonisation assistée, aucun faisceau de posidonie n'est attaché préalablement lors de l'installation des substrats.

En mai/juin 2022, environ **800 fragments plagioprotropes** provenant de boutures-épaves détachées par les tempêtes hivernales ont été transplantés dans les sillons d'ancrage localisés entre **20 et 28 m de profondeur**, ainsi que des boutures prélevées au niveau des zones d'érosion des intermatte sableuses naturelles. Les fragments ont été disposés en cinq rangées de dix fragments, espacés de 10 cm chacun.

Résultats obtenus

Les résultats préliminaires montrent que sur les **792 fragments** de *P. oceanica* transplantés en 2022, seuls **12** ont été retrouvés **sans aucun faisceau**, ou bien l'entièreté du fragment n'a pas été retrouvée (probablement décroché des substrats par l'action du courant). Ceci équivaut à un **taux de survie de 98,48 %** environ **3 mois après la transplantation**.

Le type de structures utilisées pour ancrer les transplants dans les sillons d'ancrage **n'a pas montré d'influence significative** sur le nombre de faisceaux des transplants.

En revanche, une différence significative a été observée pour les variables **campagne** (mai/juin ou septembre/octobre), **l'interaction entre la campagne et l'origine** des fragments (boutures-épaves ou fragments en bordure d'intermatte naturelle), ainsi que **l'interaction entre l'origine des fragments et la profondeur** (20 ou 28 m). Une légère augmentation du nombre de faisceaux a été relevée au bout de trois mois ($4,16 \pm 0,118$ faisceaux en mai/juin - $4,32 \pm 0,118$ faisceaux en septembre/octobre). Cette différence n'est pas perceptible du fait que le comptage du nombre de faisceaux ne contient que des nombres entiers.

Concernant l'influence de la campagne et de l'origine des fragments, une **différence initiale** a été relevée en mai/juin 2022 entre le nombre de faisceaux des **boutures-épaves** ($4,38 \pm 0,121$) et des **boutures d'intermatte** ($3,94 \pm 0,138$). Le nombre de faisceaux était également significativement **différent entre les deux campagnes** pour les **boutures d'intermatte** (mai/juin = $3,94 \pm 0,138$; septembre/octobre = $4,45 \pm 0,138$).

Fiche 23 : Posidonie_Capo Feto_Italie

Transplantation de Posidonie



Transplantation sur substrats rocheux

Informations générales

Porteur(s) du projet : Institut d'étude des Impacts Anthropiques et de la Durabilité du Milieu Marin, CNR-AIS, Italie

Partenaires techniques et financiers : Station Zoologique d'Anton Dohrn, Naples, Italie
Université d'Edimbourg, Angleterre
Saipem S.p.A

Localisation : Sud-Ouest de Sicile, proche de Capo Feto, Italie

Période : 2012 - 2014

Espèce/habitat ciblé : *Posidonia oceanica*

Budget : NA



Objectifs du projet

Évaluer l'efficacité de la **transplantation** de *Posidonia oceanica* sur un **substrat rocheux** doté d'une complexité topographique, à des échelles pertinentes pour la persistance et l'établissement des rhizomes (à l'échelle de quelques centimètres).

Tester plusieurs techniques d'ancrage de boutures.

Identifier la meilleure des techniques d'ancrage en terme d'efficacité et de fiabilité.

Comparer la capacité d'enracinement sur sable et sur substrat rocheux.

Suivi scientifique

Le suivi des techniques a été évalué à partir de la **persistence** et des **performances de survie** et de croissance des boutures.

Les greffes ont été suivies pendant **30 mois** en évaluant la **production de ramifications** et la production de **rhizomes** et de pousses.

Sources

Publication scientifique :

Alagna, Adriana, Giovanni D'Anna, Luigi Musco, Tomás Vega Fernández, Martina Gresta, Natalia Pierozzi, et Fabio Badalamenti. « Taking Advantage of Seagrass Recovery Potential to Develop Novel and Effective Meadow Rehabilitation Methods ». Marine Pollution Bulletin 149 (décembre 2019): 110578.

Contact : Adriana Alagna, CNR-AIS
adriana.alagna@szn.it

Description de l'opération

Des **rhizomes orthotropes** de *P. oceanica* de **10-15 cm** ont été prélevés à **12 m de profondeur** sur deux sites à Capo Feto. Ils ont été collectés avec une incision à la base, en maintenant constamment une densité d'explants inférieure à 2 boutures/m². Les boutures ont été stockées dans des filets au fond de la mer pour minimiser les perturbations et transplantées dans les deux jours. La transplantation a eu lieu sur des **gabions** construits en grilles métalliques de **100 x 50 x 50 cm**, remplies avec des **roches calcaires** de deux gammes granulométriques différentes.

Cinq techniques d'ancrage des boutures ont été testées :

- insérées sous roches, « déblais libres » (FC)
- insérées en dessous des rochers et fixées par un serre-câble au dessus du gabion, « câble cravate » (CB)
- fixées à un galet à l'aide d'un filet élastique et d'un serre-câble, « galet » (PE)
- insérées à l'intérieur d'une poche grillagée, « fente » (SL)
- insérées dans une boîte grillagée remplie de petits cailloux, « boîte » (BO)

La densité de boutures transplantées était de **36 rhizomes / m²**.

Quatre lots de 18 boutures ont été placés à proximité des sites de transplantation pour comparer la **capacité d'enracinement de *P. oceanica* sur le sable à celle sur un substrat rocheux**. Chaque bouture était attachée à un piquet métallique avec une petite corde et insérée sous le substrat.

Résultats obtenus

Quatorze mois après la transplantation, des ramifications actives des transplants avec production de nouveaux rhizomes pour toutes les techniques ont été observés *in situ*. 30 mois après transplantation, le pourcentage de survie des rhizomes et des pousses foliaires a dépassé **200 %** et **400 %** pour la technique des fentes (SL). De tels résultats ont mis en évidence la **bonne santé des transplants poussant sur les rochers et le fort potentiel de recolonisation de fragments végétatifs** une fois qu'ils sont bien établis.

Sécuriser les boutures avec des serre-câbles, les charger de cailloux à l'aide d'un filet élastique et les placer dans une boîte grillagée remplie de petites pierres a également réussi avec une persistance de la **bouture** et une **survie** de plus de **50 %** après **30 mois**.

Le **taux de mortalité** variait de **20 %** parmi les transplants fixés avec un câble (PE) ex aequo à **18 %** avec ceux placés dans les fentes (SL) et **12 %** dans le cas de la boîte (BO). Cette différence suggère que la structure des dispositifs d'ancrage pourrait être améliorée.

Végétaliser les substrats rocheux pourrait être utilisé comme une "**unité d'amélioration de l'habitat**" pour la réhabilitation des herbiers marins dans des fonds rocheux et sablonneux.



Techniques de transplantations : A) "déblais libres" (FC), B) "câble cravate" (CB), C) "galet" (PE), D) "fente" (SL), D "boîte" (BO). © Alagna et al., 2019

Fiche 24 : Posidonie_Carbonara_Italie

Restauration de Posidonie

Informations générales



Transplantation sur des géomatelas

Porteur(s) du projet : Université de Sassari, Italie

Partenaires techniques et financiers : Ministère italien de l'Éducation et de la Recherche

Projet LIFE+

LUSH Italia

Restauration des habitats marins dans une mer Méditerranée affectée par le changement climatique (MAHRES)

Localisation : Aire Marine Protégée (AMP)

de Capo Carbonara, Sardaigne et île d'Elbe, Archipel Toscan, Italie

Période : 2017 - 2019

Espèce/habitat ciblé : *Posidonia oceanica*

Budget : 100 000 € (10 000 €, île d'Elbe et 90 000 €, Capo Carbonara)



Objectifs du projet

Évaluer l'efficacité des technologies d'ingénierie environnementale généralement employées dans les systèmes terrestres pour restaurer les herbiers.



Transplants à l'île d'Elbe (A) et Capo Carbonara (B).
Piazzi et al. 2021

Description de l'opération

Deux techniques de transplantation utilisant des géomatelas Macmat® R (Maccaferri, Bologne, Italie) ont été testées. Ces géomatelas faisaient **10 m² à 25 m²** avec un maillage de **8 x 10 cm** et une épaisseur de **5 cm**. Ils étaient ancrés avec des piquets métalliques de **120 cm de long** dans la matte morte à une profondeur de **15 à 20 m** (avec une moyenne de 1 piquet/m²).

Dans l'AMP de Capo Carbonara, les géomatelas étaient constitués d'une **matrice polymère tridimensionnelle extrudée sur un treillis tissé en acier à double torsion**.

Dans l'île d'Elbe, les géomatelas étaient formés de **mailles de coco naturelles** couplées à une **maille tissée en acier à double torsion R.E.C.S®**. Sur ce même site, 300 semis de *P. oceanica* ont été collectés par des plongeurs dans des zones d'accumulation le long de la côte ou trouvés sur les fonds ont également été utilisés. Et pour les 2 sites, des boutures de *P. oceanica* ont été récoltées par des plongeurs dans des d'herbiers naturels caractérisés par des zones de défrichage sur fond de sable au sein d'une vaste prairie où la restauration a été mise en place.

A Capo Carbonara, **40 géomatelas de 25 m²** ont été positionnés pour une surface totale de **1000 m²** de zone de repiquage : **12 parcelles (avec 30 boutures)** ont été placées sur chaque géomatelas pour un total de **480 parcelles**.

A l'île d'Elbe, **10 géomatelas de 10 m²** ont été positionnés pour une surface totale de **100 m²** : **10 parcelles (avec 20 boutures)** ont été placées sur chaque géomatelas pour un total de **100 parcelles**.

Au sein de chaque parcelle, les boutures étaient positionnées à environ **8 cm** les unes des autres. Les semis ont été placés à environ **5 cm** de distance entre eux.

Résultats obtenus

A l'exception de deux géomatelas à Capo Carbonara disloqués par des tempêtes en 2018 et 2019, **tous les géomatelas étaient intacts et bien ancrés**. Certaines boutures et semis ont été délogés dans les parcelles mais ceux qui étaient encore attachés étaient vivants.

Dans l'AMP de Capo Carbonara, 3 ans après la transplantation, **92,5 %** des parcelles de repiquage étaient encore en place. La **survie des boutures** dans les parcelles encore présentes était de **46,5 %**.

A l'île d'Elbe, 12 mois après la transplantation, toutes les parcelles étaient en place, avec une survie de **55 %** pour les boutures et **61,7 %** pour les semis. Le **nombre de boutures par parcelle est resté stable avec les deux techniques de restauration** entre les deux suivis : $25,0 \pm 4,1$ (moyenne \pm SE) à $20,9 \pm 5,5$ à Capo Carbonara et $29,9 \pm 2,0$ à $32,2 \pm 1,9$ à l'île d'Elbe. Les résultats n'ont montré **aucune différence significative dans la survie des boutures entre les deux sites après un an**.

Sources

Publication scientifique :

Piazzi, Luigi, Stefano Acunto, Francesca Frau, Fabrizio Atzori, Maria Francesca Cinti, Laura Leone, et Giulia Ceccherelli. « Environmental Engineering Techniques to Restore Degraded *Posidonia Oceanica* Meadows ». Water 13, n° 5 (28 février 2021): 661. <https://doi.org/10.3390/w13050661>.

Contact : Luigi Piazzi, Université de Sassari, Italie
lpiazzi@uniss.it

Suivi scientifique

Les suivis des sites ont eu lieu à **12 et 36 mois** après la transplantation.

L'état des géomatelas a été évalué visuellement. Le nombre de parcelles de repiquage encore *in situ* ainsi que le nombre de boutures par parcelle et de semis ont été comptés.

Le nombre de pousses par parcelle a également été compté dans 10 % des parcelles repiquées.

La performance de l'effort de repiquage a été évaluée comme le pourcentage de parcelles de repiquage encore *in situ* depuis le repiquage.

La survie des boutures a été évaluée en pourcentage de boutures vivantes par parcelle par rapport au nombre de départ.

Fiche 25 : Posidonie_Calvi_France

Transplantation de Posidonie



Transplantations sur des grilles de bambou

Informations générales

Porteur(s) du projet : Centre MARE, laboratoire d'Océanologie, Université de Liège, Belgique

Partenaires techniques et financiers : Le Fond de la Recherche Scientifique (FNRS), Belgique
STARESO, France

Localisation : Baie de la Revellata, Calvi, France
Période : 2001 - 2003

Espèce/habitat ciblé : *Posidonia oceanica*

Budget : NA



Objectifs du projet

Transplantation expérimentale pour évaluer les **facteurs** influençant la **survie** des boutures de *Posidonia oceanica* transplantées.

Description de l'opération

L'expérience de transplantation a été réalisée à l'aide de **boutures** naturellement déracinées collectées entre **5 et 15 m** de profondeur afin de **minimiser l'impact de la collecte des greffes**.

Des boutures à **rhizomes orthotropes** (maximum **10 cm**) ont été fixées avec des **liens naturels** (sisal) sur des **grilles de bambou** tressées de **1 m x 1 m**.

Deux grilles ont été repiquées avec **50 pousses orthotropes** et **trois grilles** avec **100 pousses orthotropes**. L'une des grilles a été utilisée pour un échantillonnage périodique.

Suivi scientifique

Sur chaque bouture, les **paramètres biométriques** comprenant la longueur maximale initiale des feuilles, le nombre de feuilles par pousse, la longueur du rhizome, la longueur et le nombre de racines ont été mesurés avant la transplantation.

Ces paramètres ainsi que les **taux de multiplication** des transplants ont été mesurés *in situ* mensuellement durant **deux ans**.

La **croissance foliaire** a été mesurée.

Cinq pousses ont été prélevées sur un site de référence pour obtenir des données sur la **biomasse** : Les feuilles, les écaillles, les racines et les rhizomes ont été lyophilisés pendant 48h et pesés.

Résultats obtenus

Sur les grilles supportant une densité initiale de **100 transplants**, le nombre de **faisceaux foliaires** a été multiplié par **1,4** en **27 mois**. Bien que **20 %** des transplants initiaux soient morts pendant cette période, ce **taux de multiplication** pourrait permettre d'**atteindre la densité naturelle d'un herbier sain après cinq ans de transplantation**.

Les transplants ont produit des rhizomes lors de la transplantation mais en même temps certaines parties du rhizome sont mortes à cause du **décès initial du greffon**. Après **27 mois**, les **pousses transplantées** sont passées d'une croissance verticale à une **croissance horizontale**.

La **biomasse** et la **longueur des racines** ont **augmenté** mais la longueur et le poids des feuilles sont restés nettement inférieurs à ceux de l'herbier de référence.

Cela implique que le **développement des racines est une priorité élevée pour la plante** et que les transplants n'ont pas une quantité suffisante de nutriments pour assurer une croissance adéquate des feuilles.

C'est pour cela qu'il est très important d'établir les **caractéristiques sédimentaires initiales** d'un site de transplantation potentiel pour estimer le **succès à long terme** de la transplantation de *P. oceanica*.

Sources

Publication scientifique :

Gobert, S., Lepoint, G., Bouquegneau, J. M., Vangeluwe, D., Eisinger, M., Paster, M., Schuhmaker, H., & Van Treeck, P. (2005). Restoration of seagrass meadows: Means and limitations. Proceedings of the 7th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 2005, 1(October), 461–472.

Contact :

Sylvie Gobert, Centre MARE, Université de Liège, Belgique
sylvie.gobert@ulg.ac.be



Posidonia oceanica ©Laurent Ballesta

Fiche 27 : Posidonie_Costa Concordia_Italie

Transplantation de Posidonie



Restaurer un herbier endommagé

Informations générales

Porteur(s) du projet : "La Sapienza", Université de Rome, Italie

Partenaires techniques et financiers : Consortium pour le Centre de Biologie Marine et d'Ecologie Appliquée "G. Bacci" de Livourne, (CIBM) Costa Croisière S.p.A

Localisation : île de Giglio, Italie

Période : 2019 - 2022

Espèce/habitat ciblé : *Posidonia oceanica*

Budget : NA



Objectifs du projet

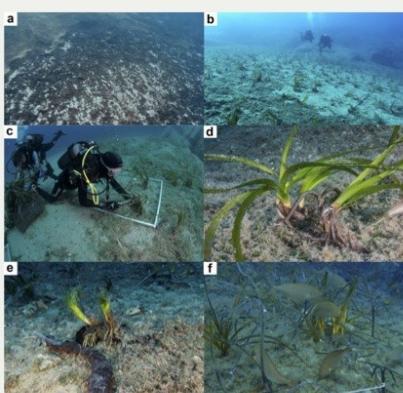
Accélérer la **restauration** d'un herbier de *Posidonia oceanica* endommagé par le **naufrage** du Concordia en 2012.

Suivi scientifique

Les caractéristiques structurelles et fonctionnelles ainsi que des relevés **photogrammétriques** ont été réalisés pour surveiller les greffes.

Les caractéristiques structurelles comme le **taux de survie** des boutures (nombre de boutures vivantes/m²) et la **densité** des boutures (boutures/m²) ont permis d'estimer les trajectoires de récupération.

Les caractéristiques fonctionnelles comme la **production de feuilles**, c'est-à-dire l'allongement journalier (cm/jour) ont permis d'évaluer le cycle de croissance.



Les sites de transplantation caractérisées par (a) un substrat de matte morte avant et (b) boutures peuplant le fond marin après. (c) Les plongeurs scientifiques ont travaillé avec un Carré de référence de 1 m² pour compléter la surface prévue et (d) utiliser des piquets en fer chimio-dégradables. Les perturbations rencontrées par la présence e) d'holothuries et (c) le pâtureage de *Sarpa Salpa*. © Mancini et al., 2022

Description de l'opération

Des boutures issues de **mottes** de matte, **détachées** par des mouillages de bateaux ou tempêtes ont été trouvées entre **2 et 30 m de profondeur**. Elles ont été transférées à la surface, puis stockées dans un réservoir rempli d'eau de mer pour être transplantées sur leur site hôte dans les **30 minutes** suivant leur **prélèvement**.

Le mode de fixation adopté était caractérisé par des **tuteurs chimio-dégradables en fer** (1-2 boutures pour chaque tuteur). Le repiquage se déroulait chaque année depuis 2019 **entre juin et septembre** sur une zone comprise entre **10 et 23 m de profondeur**.

Une surface de **2048 m²** a été divisée en **cinq zones** pour être repiquée de boutures au cours de **quatre campagnes**, de **2019 à 2022** : 524 m² en 2019 (zone 1), 625 m² en 2020 (zone 2 et 3), 594 m² en 2021 (zone 4), 305 m² en 2022 (zone 5).

Une surface de **5 ± 1 m²** a été transplantée chaque jour grâce au travail de deux équipes de plongeurs constituées de quatre personnes chacune.

Résultats obtenus

De juin 2019 à septembre 2020, une surface totale de **2 048 m²** caractérisée autrefois par de la matte morte a été transplantée par des plongeurs scientifiques avec **13 926 boutures** de *P. oceanica* et **10 140 piquets** pendant **339 plongées**.

Moins de 3 % des boutures transplantées ont été **remplacées** en raison du pâtureage intensif des holothuries et des saupes.

Au cours de la **première année** de transplantation, la densité et la survie des boutures de *P. oceanica* ont **diminué** pour atteindre des valeurs minimales, probablement en raison du **stress** subi lors de la transplantation.

Après **trois ans**, le suivi de la zone de transplantation (2048 m²) montre que la **densité** des boutures a augmenté de **+11,4 %** alors que le **taux de survie** des boutures a atteint la valeur de **89,7 %**.

Les résultats ont montré que, dans des **conditions environnementales appropriées** pour la survie et la croissance des herbiers, le protocole pourrait être appliqué efficacement à **plus grande échelle**.

Sources

Publication scientifique :

Mancini, G., Ventura, D., Casoli, E., Belluscio, A., & Ardizzone, G. D. (2022). Transplantation on a *Posidonia oceanica* meadow to facilitate its recovery after the Concordia shipwrecking. *Marine Pollution Bulletin*, 179(April), 113683. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113683>

Contact : Gianluca Mancini, "La Sapienza", Université de Rome, Italie
gianluca.mancini@uniroma1.it

Fiche 31 : Posidonie_REPIC_France

Transplantation de Posidonie

Projet REPIC

REstaurer la Posidonie Impactée par les anCres



Restaurer des zones impactées par l'ancre

Informations générales

Porteur(s) du projet : Andromède Océanologie

Partenaires techniques et financiers : Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

NAOS

Fondation de la Mer

Fondation Artelia

Localisation : Golfe Juan et Beaulieu-sur-Mer, Alpes-Maritimes, France

Période : 2019 - 2024

Espèce/habitat ciblé : *Posidonia oceanica*

Budget : 2 500 € (pour 12 m² d'herbier restauré) (hors suivi scientifique)



Objectifs du projet

Engager à long terme une dynamique de restauration d'herbiers de posidonie sur plusieurs sites géographiques impactés par l'ancre.

Affiner les critères de restauration afin de favoriser une meilleure survie et croissance des fragments arrachés.

Suivre l'efficacité de la restauration d'un herbier sur au moins cinq années.

Suivi scientifique

Différentes méthodes de suivi ont été mises en place pour mesurer l'efficacité de la restauration.

Un suivi du nombre de fragments et de la densité de faisceaux dans des quadrats permanents d'1 m².

Un suivi visuel des zones restaurées par photogrammétrie.

Un suivi des réserves en carbohydrates des rhizomes.

Un suivi de l'évolution de la température de la zone de restauration.

Description de l'opération

Des fragments arrachés suite à l'ancre de navires ou de manière naturelle sont récoltés à la main par des plongeurs, entre 5 et 15 m de profondeur, et placés dans des sacs de 50 L. La sélection de fragments plagiotropes de minimum 5 cm est privilégiée.

La préparation des fragments consiste à les accrocher à des agrafes (spécialement conçues pour REPIC). Cette étape se déroule soit sous l'eau, soit à bord du bateau où les fragments agrafés sont stockés dans des caisses remplies d'eau de mer. Puis ils sont plantés sur les zones de restauration sélectionnées dont la profondeur varie entre 1,5 m de profondeur à Golfe Juan et 30 m de profondeur dans la rade de Beaulieu-sur-Mer.

Plusieurs techniques de restauration sont testées : disposition homogène avec agrégation faible à forte, ou agrégation forte sur des îlots épars, ou disposition en damier dans des quadrats carrés d'1 m² ou des cercles 0,5 m² (avec différentes densités de fragments plantés).

Plusieurs types morphologiques de transplants (motte avec matte saine, fragment long portant des faisceaux foliaires plagiotropes et orthotropes, fragment court portant des faisceaux foliaires plagiotropes et/ou orthotropes, ...) ont été testés à Golfe Juan.

Résultats obtenus

Entre 2019 et 2022, les plongeurs ont restauré une surface d'environ 1130 m² à partir de 18 671 fragments portant 94 205 faisceaux.

Durant ces quatre années, 515 heures en plongée ont été réalisées durant lesquelles 174 heures de plongée ont été dédiées à la récolte des fragments et 341 heures à la restauration et au suivi scientifique.

L'analyse de l'évolution du pourcentage d'herbier repiqué sur chaque zone (évalué par photogrammétrie) montre une stabilité du recouvrement dans la majorité des zones en trois ans. Cependant, une baisse du recouvrement de l'herbier repiqué est observé sur deux zones à Golfe Juan ainsi que dans la zone la plus profonde (-30 m) à Beaulieu-sur-Mer.

Les résultats de l'activité métabolique mesurée sur les sites restaurés sont globalement toujours inférieurs à la quantité de carbohydrates présents dans les rhizomes de l'herbier naturel ainsi qu'aux valeurs retrouvées dans la littérature. Cependant, toujours d'après la littérature, ces valeurs sont suffisamment élevées pour être compatibles avec des taux de survie importants.

Les suivis n'ont montré aucune différence entre les deux méthodes de préparation des fragments et entre les trois types morphologiques de fragments dans la survie des transplants. En revanche, pour la technique de restauration, les résultats sont en faveur d'une agrégation forte des fragments restaurés.

Sources

Site internet : https://medtrix.fr/portfolio_page/repic/

Contact : Gwenaëlle Delaruelle, Andromède Océanologie
contact@andromede-ocean.com



Restauration d'un fragment à l'aide d'une agrafe biodégradable. © Laurent Ballesta

Fiche 2 : Posidonie_RENFORC_France

Transplantation de Posidonie



Renforcement des puits de carbone en milieu marin

Projet RenforC

Informations générales

Porteur(s) du projet : G.I.S Posidonie - centre de Corse

Partenaires techniques et financiers :

THALASSA Marine research

Office de l'Environnement de la Corse

École internationale de plongée scientifique

"Anna Projetti Zolla"

Université de Corse Pascal-Paoli

Localisation : Baie de Balistra, Corse, France

Période : 2021 - 2023

Espèce/habitat ciblé : *Posidonia oceanica*

Budget : 80 000 € (transplantation de 4 000 boutures, suivi de l'herbier de référence et de l'herbier transplanté)



Objectifs du projet

Tester expérimentalement différentes stratégies (conservation, recolonisation naturelle) et méthodes de restauration (aménagement du substrat, bouturages) des herbiers de *P. oceanica* dégradés.

Évaluer leurs bénéfices écologiques et socio-économiques pour renforcer le plus rapidement possible les services écosystémiques majeurs apportés par l'herbier.

Description de l'opération

Quatre techniques de transplantation de *P. oceanica* sont testées dans un site unique constitué de matte morte suite à la mort de l'herbier.

Au total, près de 12 000 fragments ont été prélevés en plongée sous-marine dans un site proche à profondeur équivalente en respectant un espacement minimum de 2 m entre chaque transplant pour ne pas endommager l'herbier en place. Ces boutures ont été préalablement conservées dans de l'eau de mer et fixées sur différents supports avant d'être transplantées entre 13 et 15 m de profondeur.

- **Protocole 1** : fixation des boutures sur des tuteurs en acier galvanisé puis fixées au substrat en plongée sur une zone de 225 m² en 7 îlots de 3 m² avec une densité élevée équivalente à l'herbier adjacent non impacté (200 boutures/m²) soit plus de 4 400 boutures.
- **Protocole 2** : fixation par des tuteurs en fer en forme de « U » puis fixées au substrat en plongée sur une zone de 225 m² en 24 îlots de 1 m² avec une densité plus faible que celle de l'herbier adjacent non impacté (70 boutures/m²) soit près de 1 700 boutures.
- **Protocole 3** : fixation à des modules en forme d'étoile à cinq branches de 75 cm de diamètre sur une zone de 225 m². Ces modules sont ancrés grâce à un système de piquet ou vis à sable. Au total, 17 îlots constitués d'amidon et de polyesters biodégradables dérivés d'huiles végétales sans effet toxique, avec six étoiles chacun, ont été positionnés. Ils ont pu accueillir plus de 3 000 boutures avec une densité moyenne de 23 boutures/m².
- **Protocole 4** : fixation sur 10 tapis en fibres de coco représentant une zone de 225 m². Sur chaque tapis, les boutures sont regroupées en îlots de 50 par m² soit près de 2 500 boutures.

Résultats obtenus

Au total, plus de 3 600 boutures soit près de 11 500 pousses ont été repiquées sur une surface de 900 m².

Après un an, le suivi des repiquages montre un taux de survie des boutures qui varie entre 86 et 100 %. La plus forte augmentation de la densité des pousses (+ 22 %) est observée avec le protocole 1 et seul le protocole 3 connaît une régression (- 9,4 %) des pousses.

Un suivi régulier sur au moins 3 ans est indispensable pour évaluer le succès et l'intérêt de cette approche pour la comparer à la colonisation naturelle.

Sources

Publication scientifique :

Pergent-Martini C., Acunto S., André S., Barralon E., Calvo S., Castejón-Silvo I., Culoli J.M., Lehmann L., Molenaar H., Monnier B., Oberti P., Pey A., Piazz L., Santoni M.C., Terrados J., Tomasello A., Pergent G., 2022. *Posidonia oceanica* restoration, a relevant strategy after boat anchoring degradation? In "Proceedings of the 7th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation" (Genoa, Italy, 19-20 September 2022), Bouafif C. & Ouerghi A. edits, SPA/RAC publ., Tunis: 78-83.

Contact : Gérard Pergent, Université de Corse Pascal Paoli, France

pergent_g@univ-corse.fr



Fixation d'une bouture. © Gérard Pergent

Fiche 39 : Posidonie_MARINE HAZARD_Italie

Restauration de Posidonie

Projet MARINE HAZARD

Informations générales

Porteur(s) du projet : Département des Sciences de la Terre et de la Mer (DiSTeM), Université de Palerme, Italie

Partenaires techniques et financiers : Biosurvey Srl

Département de l'énergie et des services publics, Bureau de l'eau et des déchets, Italie,
Union Européenne et le ministère italien de l'Éducation, de l'Université et de la Recherche (MIUR)

Localisation : Golfe de Palerme, Sicile, Italie

Période : 2008 - 2020

Espèce/habitat ciblé : *Posidonia oceanica*

Budget : NA



Évaluation sur le long terme d'une transplantation de boutures



Objectifs du projet

Évaluer sur le long terme (**12 ans**) les performances d'une expérience de transplantation de boutures d'herbier dans une **zone de 20 m²**.

Comparer l'évolution de certaines caractéristiques structurelles et fonctionnelles de l'herbier transplanté avec celle d'un herbier naturel.

Suivi scientifique

Douze ans après le début des opérations de transplantation, la **densité** des boutures a été comptée dans 10 quadrats aléatoires (50 x 50 cm).

Le **taux de croissance** a également été estimé par analyse lpidochronologique.

Ces mesures ont été faites à la fois dans l'herbier transplanté et dans l'herbier naturel.

La surface couverte par l'herbier transplanté a été estimée par **photogrammétrie**.



Évolution du site de transplantation de 2008 à 2020. © Calvo et al., 2021.

Description de l'opération

En juillet 2008, **vingt grilles métalliques (1 x 1 m)** ont été ancrées dans une zone de **matte morte** d'environ 40 m² à **14 m de profondeur**, à l'aide de pointes de fer (~70 cm de long). Elles ont été placées dans le golfe de Palerme selon un dispositif spatial en **quinconce**. **Vingt boutures** de *P. oceanica* portant au moins **trois faisceaux** ont été fixées sur chaque grille, avec une **densité moyenne initiale de 66 faisceaux/m²**.

La surveillance de cette **zone transplantée de 20 m²** a duré **six années** puis elle a été interrompu car le site transplanté n'était plus retrouvé. **Douze ans après l'opération** (avril 2020), la zone transplantée a été redécouverte après de nombreuses prospections répétées en plongée sous-marine combinées à des investigations acoustiques (sonar, bathymétrie). Un relevé par photogrammétrie à l'aide d'une caméra GoPro4 a été réalisé en mai 2020 dans la zone transplantée. Deux carrés de 50 x 50 cm ont été placés sur le fond afin d'obtenir une référence de l'échelle et ainsi évaluer la surface couverte.

Résultats obtenus

Trois ans après les opérations de transplantation, de fortes **pertes de boutures (61 %)** et de **densité de faisceaux (53 %)** ont été relevées, dues principalement aux activités illégales de pêche. Cependant, dès la quatrième année, des signes d'augmentation progressive de la densité de faisceaux ont été observés dans la zone transplantée.

Douze ans après, la mosaïque de photos réalisée dans la zone a permis de détecter **23 parcelles transplantées** de forme régulière et irrégulière, allant de 0,1 à 2,7 m² et d'une surface totale proche de **19 m²**. La valeur moyenne de la densité des faisceaux transplantés était **cinq fois supérieure à la valeur initiale** (331 faisceaux/m²) et **10 fois supérieure à la densité atteinte trois ans après la transplantation** (35 faisceaux/m²). De plus, certaines caractéristiques structurelles et fonctionnelles des zones transplantées étaient très similaires à celle de l'herbier naturel.

Le **taux de croissance horizontal** de l'herbier transplanté a été estimé à **4,26 cm/an**. Cette valeur était **légèrement supérieure à celle de la régénération naturelle** d'un herbier détruit par une bombe dans la baie de Villefranche (3,7 cm/an) mais **inférieure aux taux de croissance des rhizomes plagiotropes** (5 - 10 cm/an).

Ces résultats montrent que le processus de reproduction végétative observé a compensé les pertes dues aux dommages mécaniques initiaux causés par les activités de pêche illégale. Ils suggèrent qu'une **restauration complète d'un herbier de *P. oceanica* sur matte morte est possible en un temps relativement court (une décennie)** et que les efforts de surveillance devraient durer au moins **quatre à six ans** pour avoir une **évaluation correcte de l'efficacité des projets de restauration**.

Sources

Publication scientifique :

Calvo S, Calvo R, Luzzu F, Raimondi V, Assenzo M, Cassetti FP, Tomasello A. Performance Assessment of *Posidonia oceanica* (L.) Delile Restoration Experiment on Dead matte Twelve Years after Planting—Structural and Functional Meadow Features. Water. 2021; 13(5):724. <https://doi.org/10.3390/w13050724>

Contact : Sebastiano Calvo, DiSTeM
sebastiano.calvo@unipa.it

Fiche 40 : Posidonie_LIFE SEPOSSO_Favignana_Italie

Restauration de Posidonie



Informations générales

Porteur(s) du projet : Centre marin d'Ischia, Stazione Zoologica Anton Dohrn, Naples, Italie

Partenaires techniques et financiers :

- CNR-IAS de Palermo, Italie
- CNR-IAS de Castellammare, Italie
- Ministère de l'Education, de l'Université et de la Recherche (MIUR) italien,
- Aire Marine Protégée (AMP) des îles Egades, Italie

Localisation : Île de Favignana, archipel des îles Egades (Sicile), Italie

Période : 2016 - 2021

Espèce/habitat ciblé : *Posidonia oceanica*

Budget : NA

Germination de graines en laboratoire et transplantation de plantules



Objectifs du projet

Récolter des graines de *Posidonia oceanica* échouées et les faire germer en pots dans un laboratoire humide (wetlab) durant huit mois.

Réaliser une transplantation expérimentale des pots contenant les plantules sur de la matte morte.

Suivi scientifique

Durant **cinq ans**, une surveillance de la zone a été effectuée périodiquement pour vérifier l'**état des grilles** (présence/absence).

Trois suivis, effectués en mai 2018, 2019 et 2021 ont permis d'estimer le **taux de survie des plantules** par type de pot.



Germination de graines de posidonie dans des pots au laboratoire (wetlab).



Remplissage de grilles en acier avec des plantules contenues dans des pots protégés par des filets élastiques en coton à bord du bateau (a). Mise en place des grilles dans l'eau (b).



Grille contenant 25 pots, posée sur la matte morte de *P. oceanica*.

Description de l'opération

En avril 2016, **500 graines** ont été récoltées sur les côtes de la commune de Marsala, sur l'île de Favignana. Immédiatement après leur récolte, les graines ont été transportées au laboratoire de Torretta Granitola et placées dans une "**nurserie mobile**" (ou **wetlab**) commercialisée par la société française ECOCEAN.

Trois semaines environ après la récolte des graines, lorsque la racine primaire et les premières feuilles s'étaient développées, les plantules ont été placées à l'intérieur de **400 pots perforés** de 5 cm de haut.

Dans tous les pots, les plantules ont été placées au milieu de **pierres calcaires**, et dans la moitié d'entre eux (n=200) de la **laine de roche** a été ajoutée afin de couvrir le dessus des pots. Tous les pots ont été placés dans les chambres de briques creuses du wetlab, jusqu'au mois de Novembre 2016, date à laquelle ils ont été emmenés sur la côte Sud de l'île de Favignana pour être transplantés en mer.

Après 8 mois au laboratoire, **258 pots** ont été disposés dans des **grilles en acier de 35 x 35 cm** (maille de 5 cm). **Trois densités différentes de pots** ont été appliquées (5, 13 ou 25 pots par grille). Les grilles contenant les pots ont ensuite été positionnées sur un fond de **matte morte** à l'aide de petits piquets en acier, à une **profondeur de 10 mètres**.

Résultats obtenus

Sur les 400 graines récoltées, **80 %** ont survécu au laboratoire.

Sur le site de transplantation, toutes les grilles et tous les pots étaient en place à chaque suivi.

Pour les deux types de pots, le taux de survie le plus élevé a été enregistré lorsque la densité était de 25 pots par grille, et le plus faible lorsque la densité était de 5 pots par grille. **Le taux de survie des plantules a diminué au cours du temps**, variant entre une perte minimale de 18 % dans les grilles à forte densité de pots, et un maximum de 100 % dans plusieurs grilles à faible densité. **La survie s'est avérée proportionnelle à la densité initiale**.

Les **pots contenant des pierres et de la laine de roche ont montré des taux de survie relativement plus élevés que les pots contenant uniquement des pierres**.

Sources

Publication scientifique :

Bacci T., La Porta B. (2021). Manual of techniques and procedures for the transplantation of *Posidonia oceanica*. LIFE SEPOSSO (LIFE 16 GIE/IT/000761), Rome.

Site internet : <https://lifeseposso.eu/>

Contact : Fabio Badalamenti, CNR-IAS, Palermo, Italie
fabio.badalamenti@cnr.it

Fiche 41 : Posidonie_LIFE SEPOSSO_Piombino_Italie

Transplantation de Posidonie

Projet LIFE SEPOSSO



Déplacement de mottes comme action de conservation

Informations générales

Porteur(s) du projet : Autorité du Système Portuaire de la Mer Tyrrhénienne Nord, Piombino, Italie

Partenaires techniques et financiers : Ambiente Magri, Livourne, Italie
Institut Piombino de Biologie et d'Écologie marine, Piombino, Italie

Localisation : Port de Piombino, Golfe de Follonica, Italie

Période : 2014 - 2020

Espèce/habitat ciblé : *Posidonia oceanica*

Budget : NA



Objectifs du projet

Déplacer des mottes de *Posidonia oceanica* d'une **zone perturbée** par des travaux à une **zone appropriée** sur la base d'enquêtes qualitatives sur la zone.

Suivi scientifique

16 mottes ont été sélectionnées au hasard dans chaque zone de transplantation. Le nombre total de mottes suivies, égal à 62, représente environ **20 % de l'ensemble des mottes vivantes transplantées**.

Pour chaque motte a été évalué :

- l'**état de conservation** : estimation visuelle par un plongeur (élévé, moyen, faible et inexistant).
- la **densité de faisceaux** : comptage au centre de la motte - 10 comptages (carré de 40 x 40 cm).
- l'**analyse phénologique** : détermination de la longueur et de la largeur de la feuille la plus longue - 5 faisceaux / motte.

Après la transplantation, quatre enquêtes de surveillance ont été menées au cours des trois années suivantes jusqu'en 2017. Des prospections ont été menées en 2018 et répétées en 2019.



(a) Motte de *Posidonia oceanica*. (b) Mottes immergées dans le fond de la barge. (c) Motte de *P. oceanica* dans un "bon" état de conservation. (d) Motte de *P. oceanica* dans un état de conservation "inexistant".

Description de l'opération

Des travaux maritimes réalisés à la sortie du Port de Piombino ont nécessité le déplacement de mottes de *Posidonia oceanica* vers le Golfe de Follonica, situé à **3 km** du site initial.

Des mottes de **4 m²**, mesurant **1 m de haut** ont été déplacées du fond marin proche du port de Piombino, à l'aide d'un **godet hydraulique à benne prenante**. Puis une **barge** a été utilisée pour leur transport vers le site receveur.

Durant **20 jours**, les mottes ont été transplantées dans **six zones différentes**, situées entre **11 et 13 m** de profondeur. Ces zones étaient localisées sur **substrat sableux** :

- A l'extérieur de l'herbier naturel et à proximité de sa limite supérieure ;
- A l'extérieur de l'herbier naturel mais éloigné de sa limite supérieure, dans le but de créer de nouveaux atolls d'herbier ;
- A l'intérieur de l'herbier naturel

Au total, **340 mottes** contenant environ **380 000 boutures** ont été transplantées sur une surface totale de **1 362 m²**.

Résultats obtenus

La réussite de l'opération a été évaluée **cinq ans après la transplantation**, en 2019. Environ **8 %** des mottes étaient **endommagées** ou **détruites** par l'action mécanique du godet sur les mottes lors de la phase de positionnement car elles n'ont pas été retrouvées lors du premier suivi.

Lors du dernier suivi, **75 % des mottes** présentaient un état de conservation classé "**inexistant**" (absence de motte), "**faible** ou "**moyen**" (mottes présentant un processus d'érosion). **25 % des mottes** restantes ont été classées dans un état de conservation "**élévé**" (mottes présentant peu ou pas de processus d'érosion).

Le suivi de la densité de faisceaux a montré que la celle des mottes transplantées était significativement inférieure à celle dans les herbiers naturels adjacents. Et **aucune différence significative** n'a été constatée sur les mottes entre 2018 et 2019.

Le suivi des paramètres phénologiques n'a montré aucune différence significative entre la longueur de la plus longue feuille adulte mesurée sur les mottes transplantées et sur l'herbier naturel adjacent en 2018 et 2019. A l'inverse, la largeur des feuilles mesurées sur les mottes transplantées était inférieure à la plupart de celles que l'on trouve dans l'herbier naturel adjacent.

Sources

Publication scientifique :

Bacci T., La Porta B. (2021). Manual of techniques and procedures for the transplantation of *Posidonia oceanica*. LIFE SEPOSSO (LIFE 16 GIE/IT/000761), Rome.

Contact : Claudia Bulleri, Autorité du Système Portuaire de la Mer Tyrrhénienne Nord, Piombino, Italie
c.bulleri@portaltotirreno.it

Fiche 42 : Posidonie_LIFE SEPOSSO_Lazio_Italie

Restauration de Posidonie



Évaluation sur le long terme d'une transplantation de boutures

Projet LIFE SEPOSSO

Informations générales

Porteur(s) du projet : Société Nationale Italienne d'Électricité (ENEL)

Partenaires techniques et financiers : Econ Srl

Localisation : Site Natura 2000 "Fondali tra Punta S. Agostino e Punta Mattonara" (Civitavecchia) et Santa Marinella (Lazio), Italie

Période : 16 ans (2005 - 2010 ; 2015 - 2021)

Espèce/habitat ciblé : *Posidonia oceanica*

Budget : NA



Objectifs du projet

Transplanter des boutures de *Posidonia oceanica* en guise de **mesure compensatoire** pour les dommages subis par l'herbier de posidonie situé dans la zone de Mattonara (Civitavecchia), dans le cadre du projet de conversion au charbon d'une centrale thermoélectrique de la société ENEL.

Suivi scientifique

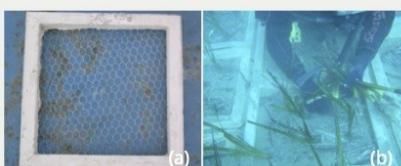
La première phase du suivi a débuté trois mois après la fin de la transplantation et a duré **cinq ans** (juin 2005 - mars 2010).

Quatre fois par an, des **mesures non destructives** ont été effectuées dans l'herbier transplanté et dans l'herbier naturel situé à proximité afin de mesurer la densité de boutures/mottes par cadre, la croissance des feuilles, le rang et longueur/largeur de la feuille la plus longue, l'état de l'apex et l'évaluation qualitative des épiphytes des feuilles.

En parallèle, un **suivi destructif** basé sur le prélevement de boutures transplantées et dans l'herbier naturel situé à proximité a été réalisé afin d'analyser la communauté d'épiphytes, d'effectuer des mesures des paramètres phénologiques des feuilles et de réaliser une analyse lépidochronologique.

La seconde phase a consisté en un **suivi annuel**, avec le même protocole, effectué lors de trois campagnes entre **2015** et **2017**.

Enfin une troisième phase de suivi s'est déroulée en juin **2018** et **2019** dans le cadre du projet LIFE SEPOSSO.



(a) Module d'ancre des boutures. (b) Transplantation de *P. oceanica*.

Description de l'opération

Sur les 23 stations prospectées en plongée dans l'herbier "donneur" du site Natura 2000 "Fondali tra Punta S. Agostino e Punta Mattonara", **neuf stations situées entre 9 et 14 mètres** ont été choisies pour prélever l'herbier entre le **31 août 2004** et le **3 mars 2005**.

L'analyse de données acoustiques (bathymétrique et sonar) et de vérités terrain portant sur une évaluation de l'état de santé de l'herbier a permis d'identifier un **site "receveur"** localisé à environ **20 km du site de prélèvement**, dans la baie de Santa Marinella.

40 000 cadres en béton de 50 x 50 cm et de 6-8 cm d'épaisseur, renforcés par un treillis polygonal en fer galvanisé, ont été positionnés sur un **fond sableux** au niveau de **40 stations** de la baie de Santa Marinella représentant une surface de transplantation de **10 000 m²**.

306 000 boutures ont été plantées à la main, sous l'eau, en insérant les rhizomes dans la maille polygonale des cadres, de manière à ce que les racines soient en contact avec le substrat. La densité était de 8 boutures par cadre (soit **32 boutures par m²**).

Résultats obtenus

15 ans après les opérations de transplantation, une perte de 60 % du nombre total de cadres transplantés a été estimée, liée soit à des dommages mécaniques soit à la mort de tous les faisceaux.

Cependant, une **multiplication du nombre de faisceaux par un facteur compris entre 4 et 16** a été observée dans les cadres suivis. Au bout de cinq années, le coefficient de variation du nombre de faisceaux par cadre s'était stabilisé, après la phase initiale de croissance. Cette variation de la densité était d'autant plus importante que la densité initiale de faisceaux transplantés était faible. La stabilisation du coefficient de variation était donc un indice de maturité de la transplantation.

Ainsi, l'augmentation de la densité de faisceaux a été perceptible surtout à moyen et long terme (au-delà de cinq ans).

10 à 15 ans après la transplantation, la plupart des cadres présentait des densités proches de celles de l'herbier naturel.

Sources

Publication scientifique :

CAA.VV. LIFE SEPOSSO (2020). Activity report about monitoring campaigns and their results. Report Action B2. <https://www.lifeseposso.eu>

Site internet :

- https://lifeseposso.eu/wp-content/uploads/SEPOSSO_Action_B2_Activity-report-about-monitoring-campaigns-and-their-results_2020.pdf
- https://lifeseposso.eu/wp-content/uploads/DELIVERABLE_Azione_A3_Final_report_transplanting_case_studies_02.04.2019.pdf

Fiche 8 : Herbiers_Occitanie_France

Restauration d'herbiers



Réimplantation de mottes et de rhizomes dans des étangs

Informations générales

Porteur(s) du projet : Cépralmar et IFREMER

Partenaires techniques et financiers : La Région Languedoc-Roussillon
Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC)
Direction Régionale de l'Aménagement et du Logement LR
Syndicat Intercommunal des Étangs Littoraux
PNR de la Narbonnaise
Syndicat Mixte du Bassin de Thau

Localisation : Étang de Thau, Étang d'Ingril, Étang de Bages-Sigean (Occitanie)

Période : 2007 - 2008

Espèce/habitat ciblé : *Ruppia cirrhosa* et *Zostera noltii*

Budget : NA



Objectifs du projet

Étudier la **faisabilité technique** et déterminer les **conditions optimales** pour la **réimplantation** des herbiers *Ruppia cirrhosa* et *Zostera noltii* à **petite échelle** (14 m² par site).

Poursuivre, sur le long terme, cette réimplantation à **plus grande échelle** afin de favoriser la reconstitution d'un herbier et obtenir des **améliorations écologiques**.

Description de l'opération

Deux méthodes de transplantation ont été employées :

1. Des **mottes d'herbier** (faisceaux et matte) ont été prélevées et placées dans des trous.
2. Des **boutures de rhizomes isolés** ont été placées sur le fond sédimenteux à l'aide de tuteurs.

Sur les **trois sites de réimplantation** (Étang de Thau, Étang d'Ingril, Étang de Bages-Sigean), deux gammes de profondeurs ont été testées (**0-0,5 m et 0,5-1 m**) avec, à chaque fois, les deux méthodes de réimplantation.

Pour les **boutures**, deux densités ont été testées (**25 plants /m² et 49 plants /m²**).

Résultats obtenus

Après cinq mois, il y a eu une disparition quasiment totale des espèces transplantées, avec un rare cas présentant **12,5 % de survie**. Cette disparition serait en partie **due à des remobilisations sédimentaires** associées à l'exposition des sites à la **houlle**, en particulier lors de tempêtes dominées par des vents de Sud Est.

Néanmoins, sur les trois sites, la technique de **réimplantation par mottes** a présenté un **meilleur taux de survie** que les boutures de rhizomes, sur les cinq premiers mois de suivis. Cette méthode a aussi été plus **simple** et plus **rapide** à mettre en place et a permis de mieux résister aux tempêtes. Et les deux types de méthodes ont présenté un **meilleur taux de survie** sur la profondeur faible (**0-0,5m**).

Sources

Publication scientifique :

Hebert, M., Dupré, N. †, Barral, M., Messiaen, G., Oheix, J., Deslous-Paoli, J-M., E., Roque d'Orbcastel, Laugier, T., Programme de réimplantation d'herbiers de phanérogames (*Zostera noltii/ Ruppia cirrhosa*) dans les lagunes de Bages, Ingril et Thau (Languedoc-Roussillon – France), Rapport Cépralmar : 07-2012.

Site internet :

<https://archimer.ifremer.fr/doc/00089/20062/17703.pdf>

Contact :

Matthew Hebert, Cépralmar
hebert@cepralmar.org



Ruppia cirrhosa © Cépralmar

Fiche 9 : Zostère_Etang de Berre_France

Restauration de Zostères



Transplantation de mottes et de boutures de Zostères dans un étang

Informations générales

Porteur(s) du projet : GIPREB

Syndicat Mixte de l'Etang de Berre

Partenaires techniques et financiers : Conseil Général des Bouches-du-Rhône
La Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur
Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
(RMC)
EDF

Localisation : Étang de Berre, France

Période : 2009 - 2014

Espèce/habitat ciblé : *Zostera noltii* et *Zostera marina*

Budget : NA



Objectifs du projet

Évaluer les possibilités de colonisation de transplants d'herbiers de *Z. noltii* et de *Z. marina* dans l'Étang de Berre dans des sites abritant encore des herbiers reliques indigènes ou ayant abrité des herbiers au cours des 20 dernières années.

Tester une méthode de transplantation des espèces de zostères.

Description de l'opération

Des prélevements de 5 m² sur l'herbier le plus proche en dehors de la lagune (Anse de Carteau) ont été transplantés sur six sites autrefois couverts d'herbiers (moins de 20 ans avant), dont deux sont à proximité de l'herbier relique (herbier déjà présent).

Les sites d'accueil ont été sélectionnés selon les différentes contraintes : profondeur, hydrodynamisme, rejets urbains et industriels, zones portuaires etc.

Sur chaque site, des transplants ont été disposés sur trois transects de 30 m, parallèlement au trait de côte : un transect de *Z. noltii* contenant 30 boutures, un transect de *Z. noltii* contenant 15 mottes et un transect de *Z. marina* contenant 30 boutures.

Les 75 transplants par site ont été plantés entre 0,8 et 1,2 m. Chaque transplant mesurait 12 cm de diamètre.

Suivi scientifique

Les suivis ont été faits sur quatre ans, de 2009 à 2012, pendant lesquels la survie et la croissance des transplants ont été surveillées.

Résultats obtenus

Après deux ans, les espèces n'avaient survécu que sur trois des six sites. Cependant, les résultats concernant les taux de survie et la croissance des deux espèces étaient encourageants.

Le diamètre des transplants de *Zostera noltii* fut multiplié entre 7 et 16 fois et le nombre de faisceaux fut multiplié de 20 à 100 fois. En ce qui concerne *Zostera marina*, des croissances très fortes et des fructifications ont été observées, et les taux de survie montaient jusqu'à 53 %.

Après 4 ans, les transplants n'ont survécu que sur deux des six sites, soit 1/3 de réussite et avec des taux de survie très faibles. Sur la station témoin (herbier relique), il n'y avait pas eu de progression significative.

Zostera noltii semblait être l'espèce qui avait le mieux persisté, et le diamètre a augmenté pendant 4 ans dans l'un des sites. *Zostera marina* persistait sur l'un des sites jusqu'en 2012 puis un seul transplant a survécu en 2013.

Le taux de survie ne différait pas selon la technique employée (motte ou bouture).

Sources

Publication scientifique :

Étude des possibilités de restauration des herbiers de *Zostera* dans l'étang de Berre après des réimplantations expérimentales. LAGUN'R - Rencontres scientifiques autour de l'étang de Berre 14 - 15 MARS 2011 Aix-en-Provence, Gipreb Editeur, pp 345-359.

Site internet : <https://www.genieecologique.fr/reimplantations-experimentales-de-zosteres-dans-le-tang-de-berre>

Contact : Guillaume Bernard, GIPREB Syndicat Mixte

guillaume.bernard@gipreb.fr



Zostera noltii ©GIPREB

Fiche 29 : Zostère_Virginie_Etats-Unis

Restauration de Zostères



Dissémination de graines germées de Zostères à grande échelle

Informations générales

Porteur(s) du projet : Institut des sciences marines de Virginie, États-Unis

Partenaires techniques et financiers : National Science Foundation (projet LTER)

Fonds des permis de pêche récréative de Virginie

American Recovery and Reinvestment Act

The Nature Conservancy

Allied-Signal Foundation

Keith Campbell Foundation for the Environment

Localisation : Lagunes côtières de Virginie, États-Unis

Période : 1998 - 2018

Espèce/habitat ciblé : *Zostera marina*

Budget : NA



Objectifs du projet

Restauration des herbiers marins présents sur les lagons côtiers de Virginie suite à leur dégradation par une maladie combinée à un ouragan.

Suivi scientifique

L'évaluation sur le terrain des semis dans les parcelles restaurées a été effectué en **avril de l'année suivante** après la diffusion automnale précédente pour s'assurer que les plantes étaient présentes dans les parcelles.

Les plongeurs ont compté le **nombre de semis** le long de deux diagonales de **0,5 m de large** sur chaque parcelle sélectionnée, et le nombre total de semis a été ajusté à la superficie de la parcelle.

Le pourcentage de semis établis a été calculé à partir du nombre total de graines diffusées dans la parcelle prospectée.

Description de l'opération

Au **printemps** de chaque année de **1999 à 2018**, pendant la période de libération des graines par les plantes en fleurs, des graines de *Zostera marina* ont été recueillies dans des herbiers établis dans la baie de Chesapeake. Par la suite, des graines ont été récoltées dans les herbiers restaurés dans les baies côtières.

Les graines ont été maintenues dans des bains d'eau à **température contrôlée** pendant l'été afin de minimiser les pertes dues à la prédation et à la mortalité naturelle. Chaque automne, elles ont été **dispersées à la main** dans des parcelles non végétalisées prédéterminées dans **quatre baies** différentes, juste avant la période de germination dans cette région (mi-novembre).

Au total, **74,5 millions de graines** ont été disséminées uniformément sur **536 parcelles** individuelles totalisant **213 ha**. La dissémination a été effectuée par **deux personnes**, à partir d'un bateau en mouvement, sur **huit transects** uniformément espacés dans chaque parcelle.

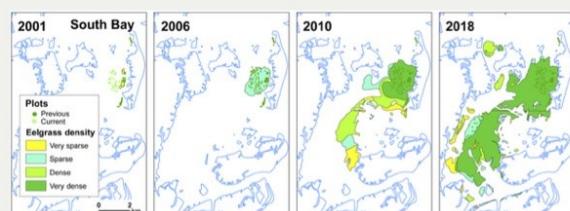
Résultats obtenus

Un total de **3612 ha** de fond végétalisé a été restauré, alors que la couverture était pratiquement **nulle avant la restauration**.

La majorité (**56 % ou 2028 ha**) se trouve dans une seule baie, South Bay, tandis que les **44 %** restants (**1584 ha**) sont répartis entre trois baies voisines : Cobb, Spider Crab, et Hog Island Bays.

Un développement rapide des plantes dans les parcelles de restauration s'est établit à partir de graines qui ont germé en laboratoire. Elles ont grandi jusqu'à devenir des plantes adultes qui ont fini par produire des fleurs avec des graines les années suivantes. Puis elles se sont dispersées naturellement en dehors des parcelles initiales.

Au fil des années, les auteurs ont également observé une réapparition des **services écosystémiques** qui étaient associés aux herbiers de *Z. marina*.



Couverture de l'herbier pour les 4 périodes : 2001, 2006, 2010 et 2018. Estimations de la couverture (très clairsemé, 1 à 10 % ; clairsemé, 11 à 40 % ; modéré, 41 à 70 % ; dense, 70 à 100 %) indiquée par la couleur dans chaque polygone. Les petits carrés dans chaque case représentent les parcelles de restauration (le vert clair correspond aux parcelles réalisées cette année-là ; le vert foncé correspond aux parcelles réalisées les années précédentes). © Orth et al., 2020.

Sources

Publication scientifique :

Orth, Robert J., Jonathan S. Lefcheck, Karen S. McGlathery, Lillian Aoki, Mark W. Luckenbach, Kenneth A. Moore, Matthew P. J. Oreska, Richard Snyder, David J. Wilcox, et Bo Lusk. « Restoration of Seagrass Habitat Leads to Rapid Recovery of Coastal Ecosystem Services ». *Science Advances* 6, n° 41 (9 octobre 2020):eabc6434.

<https://doi.org/10.1126/sciadv.abc6434>.

Contact :

Robert J. Orth

Virginia Institute of Marine Science (USA)
jjorth@vims.edu

Fiche 30 : Zostère_Monterey Bay_États-Unis

Restauration de Zostères



Transplantation de Zostères à l'aide d'agrafes



Informations générales

Porteur(s) du projet : Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of California, USA

Partenaires techniques et financiers :

Elkhorn Slough National Estuarine Research Reserve
California Department of Fish and Wildfire
National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)

Centre des Sciences de l'Estuaire et de l'Océan, Université de San Francisco, USA
Laboratoire marin de Moss Landing, Californie, USA

Localisation : Estuaire Elkhorn Slough, Monterey Bay, Californie, USA

Période : 2015 - 2018

Espèce/habitat cible : *Zostera marina*

Budget : NA

Objectifs du projet

Suivre la trajectoire **temporelle** de la **survie**, de l'**expansion** et de la santé des herbiers de zostères restaurés, pré-requis essentiel à la récupération des fonctions de l'écosystème.

Quantifier une série de **fonctions clés** de l'écosystème et déterminer si la fonctionnalité des herbiers restaurés atteint rapidement les niveaux des herbiers existants naturellement.

Suivi scientifique

Pour **évaluer la croissance et la survie des herbiers** restaurés, le nombre total de pousses végétatives a été compté et la hauteur maximale de la canopée a été enregistrée dans un quadrat de 0,25 m² placé dans la zone d'étude.

Pour **évaluer l'expansion** des parcelles restaurées, la distance maximale entre les pousses vivantes dans les parcelles a été mesurée le long de deux axes perpendiculaires (longueur et largeur). Ces distances ont ensuite été multipliées pour obtenir une estimation de la superficie de la parcelle.

Chacun de ces paramètres a été surveillé à l'aide de relevés en plongée sur les parcelles de restauration et de référence.

Le suivi du projet de restauration en 2015 a été effectué environ **1, 3, 6, 9, 12, 16, 24, 30 et 40 mois** après la transplantation et le suivi du projet de restauration en 2016 a été effectué environ **1, 6, 18 et 30 mois** après la transplantation.

Les parcelles de référence ont été surveillées au moins une fois par été de 2015 à 2018.



Zostera marina © Beheshti Kat

Fiche présentant une solution technique de restauration écologique en Méditerranée - Projet IZOMARE, porté par Andromède Océanologie en collaboration avec l'Agence de l'eau RMC (2023)

Description de l'opération

Toutes les pousses utilisées (**2 340**) ont été récoltées en plongée sur le plus grand herbier de l'estuaire (6,9 ha) dans la plage d'élévation des marées de 0 à - 2m.

En 2015, **1 020 pousses** ont été **transplantées** dans **51 parcelles** de **0,25 m²**, tandis qu'en 2016, **1 320 pousses** ont été transplantées dans **66 parcelles** de **0,25 m²**, toutes dans la plage d'élévation des marées de **0 à 2 m de profondeur**.

Les pousses ont été transplantées en utilisant une technique d'ancre commune : une tranchée étroite a été formée dans les sédiments à l'aide d'une truelle manuelle et les pousses ont été fixées dans le sol avec des **agrafes** de jardin galvanisées de **25-30 cm**.

Résultats obtenus

Le suivi a montré que sur 117 parcelles transplantées en 2015 et 2016, **71 ont survécu** (soit environ **61 %**) en août 2018, soit 2 à 3 ans après les opérations de transplantations.

La mortalité initiale (1-3 mois) des zostères transplantées était plus forte en 2015 (52,9 %) qu'en 2016 (32,4 %).

Les parcelles de 2016 se sont étendues beaucoup plus rapidement que celles de 2015. Entre 2016 et 2018, les herbiers se sont étendus de **1,49 ha**, atteignant **15,62 ha** ; les **parcelles restaurées** représentaient 0,251 ha soit **17 %** des habitats herbiers ajoutés au cours de cette période de deux ans.

Les herbiers restaurés ont rapidement ressemblé aux herbiers de références en attributs structuraux des herbiers (biomasse, densité des pousses), mais aussi en fonctions écologiques (richesse des espèces) et fonctions biogéochimiques (régulation de la qualité de l'eau).

Sources

Publication scientifique :

Beheshti, K. M., S. L. Williams, K. E. Boyer, C. Endris, A. Clemons, T. Grimes, K. Wasson, and B. B. Hughes. (2022). Rapid enhancement of multiple ecosystem services following the restoration of a coastal foundation species. Ecological Applications 32(1):e02466. 10.1002/eaap.2466

Contact : Kathryn M. Beheshti

kbehesht@ucsc.edu

IV. Cartographie des altérations

I. Recensement des altérations observées *in situ*

I.A. Analyse des bases de données

La phase de recensement des altérations *in situ* a permis d'inventorier près de **2500 altérations** (Tableau 5). Ces altérations correspondent à des **pressions potentielles** (algues filamenteuses, altérations physiques, engins de pêche, rejets, ...) pouvant impacter les écosystèmes marins ou à des **effets de pressions (=impact)** (sédimentation ou nécroses des organismes du coralligène par exemple). Ces altérations ont été identifiées et localisées et, même si nous ne sommes pas toujours en capacité d'évaluer leurs impacts sur les écosystèmes, nous estimons que leur suppression serait bénéfique pour l'écologie et le paysage.

Tableau 5 : Synthèse du nombre d'altérations en fonction de leur type

Type d'altérations	Dégradation	Destruction	Inconnu	Total
Algues filamenteuses	981	-	-	981
Altérations physiques	15	222	-	237
Rejets	145	-	-	145
Engins de pêche	277	20	-	297
Espèces Exotiques Envahissantes (EEE)	536	-	-	536
Macrodéchets	156	6	-	162
Nécrose des algues rouges encroûtantes	39	-	-	39
Nécroses des autres organismes (bryozoaires etc.)	7	-	-	7
Sédimentation du coralligène	20	-	-	20
Total	2176	248	0	2424

Pour les **algues filamenteuses**, un total de 981 observations de type dégradation a été recensé. Les zones qui recensent le plus d'observations sur le continent sont : le Cap d'Oullastrell (Banyuls-sur-Mer), l'île Verte (La Ciotat), l'île de Porquerolles, l'île de Port-Cros (Hyères), la pointe Dramont, le Cap Roux, l'île de Galeotti (St-Raphaël), le Cap d'Antibes (Antibes). En Corse, le Golfe de St-Florent, au large du Port de Centuri, la plage de Toga (Bastia), le Golfe d'Ajaccio, la pointe de Pietrosella et la baie de Favone.

Concernant les **altérations physiques**, 237 observations ont été faites dont 15 de type dégradation et 222 de type destruction. Les zones présentant le plus d'altérations physiques sont le Cap d'Antibes et le Cap Roux (St-Raphaël), ainsi que la baie de Roquebrune-Cap-Martin, la baie de Villefranche-sur-Mer, la baie de Cannes et les îles de Lérins, la baie de Cavalaire-sur-Mer, le Cap Bénat (Bormes-les-Mimosas), la baie de la Presqu'île de Giens ainsi qu'au large de Carqueiranne et de la Tour Fondue et la baie de Six-Four-les-Plages.

Les **rejets** sont présents sur l'ensemble du littoral méditerranéen (Corse incluse) de manière éparses ; 145 altérations de type dégradations par des rejets ont été relevées.

Parmi les **engins de pêche** sont dénombrées 277 altérations de type dégradation et 20 de types destruction, soit un total de 297 observations d'engins de pêche. La présence d'engins de pêche peut correspondre avec la proximité de ports pêche et/ou de commerce comme sur le continent au large du Cap d'Agde, sur la côte marseillaise et au large de La Ciotat, autour de la presqu'île de Giens, dans le Golfe de St-Tropez, au large de St-Raphaël, autour de Cannes et des îles de Lérins, et autour de St-Jean-Cap-Ferrat. Enfin, de nombreux engins de pêche sont également présents au large du Cap Corse.

L'observation des 536 altérations de type dégradation liées aux **Espèces Exotiques Envahissantes (EEE)** est assez diffuse sur l'ensemble de la Corse même si certaines zones concentrent plus d'observations comme le Golfe de St-Florent, la côte de Sisco à la plage du Cap Sud (Venzolasca), le littoral adjacent de Favone jusqu'à Tarcu, dans le Golfe de Porto-Vecchio, la pointe d'Isolella (Pietrosella), le littoral autour d'Ajaccio. Sur le continent, des observations ont été faites sur l'île de Porquerolles, dans la baie Est de la presqu'île de Giens (Hyères), dans le Golfe de St-Tropez, dans la baie de Cannes et le Cap d'Antibes.

Cent soixante-deux observations de **macrodéchets** ont été inventoriées dont 156 d'altérations de type dégradation et six de type destruction. Les zones où sont observés le plus de macrodéchets sont des endroits qui peuvent être fréquentés par la population sur le littoral comme par exemple la presqu'île de Giens et l'île de Porquerolles (Hyères), au sein du Golfe de St-Tropez, au large de l'anse de la Baumette (Agay), les îles de Lérins, au large de la plage du Midi (Cannes), au sein de la plage de la Garoupe (Antibes) et la baie de Villefranche-sur-Mer.

Les observations de **sédimentation du coralligène** de type dégradation ont concerné 20 stations. Les **nécroses d'algues rouges encroûtantes et les nécroses d'autres organismes** sont les altérations qui ont le moins d'observations avec respectivement 39 et sept altérations de type dégradation. Les zones où l'on recense des altérations du coralligène comme de la sédimentation ou des nécroses des organismes se situent par exemple sur le continent depuis le Parc national des Calanques (Marseille), dans une zone au large située entre Cassis et La Ciotat, proche du Cap de Carqueiranne, au large de l'île de Porquerolles, proche du Cap Lardier (La Croix-Valmer), dans le Golfe de St-Tropez, au large du Cap Roux (St-Raphaël), dans la baie de Cannes et proche du Cap d'Antibes, dans la baie de Villefranche-sur-Mer et à Monaco. En Corse, des altérations du coralligène ont été recensées au large du Cap Corse et dans la baie située entre Ajaccio et Isolella.

A ces altérations observées *in situ* s'ajoutent les dispositifs de balisage en région Sud que nous n'avons pas ajouté au tableau précédent car leur localisation n'est pas issue d'observations *in situ* mais d'une analyse de diverses sources de données (arrêtés réglementaires, enquêtes, ...). À la vue du grand nombre de **dispositifs de balisage** représentant un total de 1 738 points d'altérations (dont 752 de type destruction et 986 de type inconnu) et de leur localisation dans une zone géographique limitée (région Sud – une étude est en cours pour l'OFB sur les régions Corse et Occitanie) il a été choisi de ne pas les faire apparaître sur les cartes de l'atlas ni dans les tableaux. Néanmoins, l'ensemble de cet inventaire est visible sur la plateforme **MEDTRIX** avec les données des autres altérations ainsi qu'en Annexe 4.

Pour chaque masse d'eau côtière nous avons identifié les altérations les plus présentes (Tableau 6). Les masses d'eau qui recensent le plus d'altérations (toutes catégories confondues or dispositifs de balisage) sont le **Golfe d'Ajaccio** (FRECo4b ; 421 altérations) et la **Plaine orientale** (FRECo2d ; 249 altérations) à cause de la présence d'algues filamenteuses, et de la **pointe de la Galère au Cap d'Antibes** (FRDCo8e ; 257 altérations) à cause des altérations physiques.

Tableau 6 : Altérations recensées par zone de masse d'eau côtière. Les cases en rose indiquent le type d'altération le plus recensé par masse d'eau côtière.

Code	Nom	Algues filamenteuses	EEE	Engins de pêche perdus	Altérations physiques	Macrodéchets	Rejets	Nécroses algues rouges encroûtantes	Sédimentation du coralligène	Nécroses autres	Total
FRDC01	Frontière espagnole – Racou Plage	37	0	2	0	2	6	0	1	0	48
FRDC02a	Racou Plage – Embouchure de l'Aude	1	0	0	0	0	4	0	0	0	5
FRDC02c	Cap d'Agde	5	0	5	0	0	0	0	0	0	10
FRDC02f	Frontignan – Pointe de l'Espiguette	10	0	0	0	0	2	1	1	0	14
FRDC04	Golfe de Fos	0	0	3	0	3	1	0	0	0	7
FRDC05	Côte Bleue	5	0	8	0	1	2	0	1	0	17
FRDC06a	Petite rade de Marseille	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
FRDC06b	Pointe d'Endoume – Cap Croisette et des îles du Frioul	8	1	26	0	0	1	0	0	0	36
FRDC07a	Iles de Marseille hors Frioul	11	0	16	0	1	1	3	0	0	32
FRDC07b	Cap Croisette – Bec de l'Aigle	14	0	32	0	1	2	2	0	0	51
FRDC07c	Bec de l'Aigle – Pointe de la Fauconnière	16	0	6	0	1	9	1	0	0	33
FRDC07d	Pointe de la Fauconnière – îlot Pierreplane	2	0	2	0	0	0	1	0	0	5
FRDC07e	Ilot Pierreplan – Pointe du Gaou	5	0	4	7	4	2	0	0	0	22
FRDC07f	Pointe du Gaou – Pointe Escampobariou	15	2	10	27	4	5	0	0	0	63
FRDC07g	Cap Cepet – Cap de Carqueiranne	7	13	2	2	3	27	1	0	0	55
FRDC07h	Iles du Soleil	48	55	14	37	14	1	2	2	0	173
FRDC07i	Cap de l'Esterel – Cap de Brégançon	1	65	0	16	19	1	0	0	0	102
FRDC07j	Cap Bénat – Pointe des Issambres	14	7	9	5	6	3	2	0	1	47
FRDC08a	Pointe des Issambres – Ouest Fréjus	14	7	11	3	4	5	1	1	1	47
FRDC08b	Golfe de St-Tropez	4	8	6	3	6	2	0	2	0	31
FRDC08c	Ouest Fréjus – St-Raphaël – Ouest St-Maxime	10	0	3	0	0	1	0	1	0	15
FRDC08d	Ouest Fréjus – Pointe de la Galère	35	2	15	7	15	3	2	1	1	81
FRDC08e	Pointe de la galère – Cap d'Antibes	37	60	29	89	29	10	1	2	0	257
FRDC09a	Cap d'Antibes – Sud port Antibes	7	6	3	5	6	0	0	0	0	27
FRDC09b	Port d'Antibes – Port de commerce de Nice	3	1	2	0	1	4	1	1	0	13
FRDC09c	Port de commerce de nice – Cap Ferrat	3	0	8	2	5	3	2	1	0	24



FRDC09d	Cap d'Antibes – Cap Ferrat	3	7	5	9	20	0	0	1	1	46
FRDC10a	Cap-Ferrat – Cap d'Ail	13	0	11	4	3	5	1	2	0	39
FRDC10b	Cap d'Ail – Monte-Carlo	8	0	4	0	0	1	1	2	1	17
FRDC10c	Monte-Carlo – frontière italienne	6	1	4	11	1	9	1	1	1	35
FRDT21	Delta du Rhône	0	0	1	0	1	1	0	0	0	3
FRDT21	Delta du Rhône	0	0	2	0	0	1	0	0	0	3
FREC01ab	Pointe Palazzu – Sud Nonza	53	8	5	0	1	6	3	0	1	77
FREC01c	Golfe de St-Florent	10	14	2	1	1	0	0	0	0	28
FREC01d	Canari	4	3	2	0	0	1	0	0	0	10
FREC01e	Cap Ouest	11	0	23	0	0	1	2	0	0	37
FREC02ab	Cap Est de la Corse	10	25	2	1	1	1	1	0	0	41
FREC02c	Littoral Bastiais	2	35	0	3	1	2	1	0	0	44
FREC02d	Plaine Orientale	194	40	3	1	0	9	2	0	0	249
FREC03ad	Littoral Sud Est de la Corse	14	36	4	2	1	0	0	0	0	57
FREC03b	Golfe de Porto-Vecchio	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
FREC03c	Golfe de Santa Amanza	0	7	1	0	1	0	0	0	0	9
FREC03eg	Littoral Sud Est de la Corse	14	5	2	0	0	2	0	0	0	23
FREC03f	Goulet de Bonifacio	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
FREC04ac	Pointe Senetosa – Pointe Palazzu	31	14	5	2	0	7	3	0	0	62
FREC04b	Golfe d'Ajaccio	297	111	4	0	2	3	4	0	0	421
Total général		981	536	297	237	162	145	39	20	7	2424

Région Occitanie :

De la frontière espagnole jusqu'à la plage de Racou située à Argelès-sur-Mer, les algues filamenteuses sont l'altération la plus présente avec 37 observations. La zone juxtaposée qui s'étend de la plage de Racou jusqu'à l'embouchure de l'Aude recense majoritairement des altérations de type rejets. Il n'y a aucune altération recensée entre l'embouchure de l'Aude jusqu'au Cap d'Agde. En revanche, des engins de pêche perdus sont identifiés dans la zone du littoral jusqu'au large du Cap d'Agde. Aucune altération n'a été inventoriée de la limite du Cap d'Agde jusqu'à la zone délimitée à l'Est par Frontignan. Puis des algues filamenteuses ont été identifiées comme type d'altération majoritaire jusqu'à la pointe de l'Espiguette.

Région Sud :

Le Golfe de Fos est une zone dans laquelle sont recensés des engins de pêche perdus et des macrodéchets. Concernant la zone de la Côte Bleue, on trouve des engins de pêche perdus et des algues filamenteuses. De même que de la pointe d'Endoume jusqu'au Cap Croisette, les îles du Frioul et jusqu'à la zone du Bec de l'Aigle où environ 26 engins de pêche perdus sont identifiés proches du littoral mais aussi au large des côtes vers les îles du Frioul. Également, plus de 47 engins de pêches perdus ont été identifiés jusqu'au Bec de l'Aigle. A partir de la fin de cette zone jusqu'à la pointe de la Fauconnière, la majorité des altérations recensées sont les algues filamenteuses avec une quinzaine d'observations et aussi quelques engins de pêche perdus. Plus à l'Ouest, de l'îlot de Pierreplane jusqu'à la pointe du Gaou, les altérations physiques deviennent la majorité des altérations présentes où l'on recense 7 points d'observations. Également, la zone située à l'Est comprise entre la pointe du Gaou et la pointe d'Escampobariou recense 27 altérations physiques ce qui est le type d'altération majoritaire. Autour des îles du Soleil comprenant l'île de Porquerolles, de Port-Cros et du Levant, de nombreuses altérations ont été relevées. Les Espèces Exotiques Envahissantes sont majoritaires avec plus d'une centaine d'observations, puis viennent les algues filamenteuses et les altérations physiques avec une cinquantaine d'observations pour chacun des deux types d'altérations. La zone comprise entre le Cap Bénat et la pointe des Issambres recense des algues filamenteuses et engins de pêche perdus. Ensuite jusqu'au Golfe de St-Tropez, des engins de pêche perdus ont été identifiés et l'on peut aussi noter la présence d'EEE (majoritaires dans le Golfe de St-Tropez). La zone comprise entre Fréjus, Saint-Raphaël, Sainte-Maxime jusqu'à la pointe de la Galère est une zone où les algues filamenteuses sont les altérations les plus recensées avec plus d'une trentaine d'observations. Les macrodéchets et les altérations physiques sont dominantes dans toute la zone côtière du Cap d'Antibes jusqu'au Cap Ferrat. Et ce dernier point jusqu'à la frontière italienne plus d'une dizaine altérations physiques ont été répertoriées mais aussi plus d'une vingtaine de points d'algues filamenteuses et plus de 20 engins de pêche perdus.

Région Corse :

Les algues filamenteuses et les EEE sont les altérations les plus présentes dans le Golfe d'Ajaccio avec respectivement 297 et 111 observations. Ce sont également les altérations le plus identifiées de la pointe de Senetosa à la pointe de Palazzu avec 31 observations d'algues filamenteuses et 14 observations d'EEE. La présence d'un point de rejet est la seule altération observée dans la petite masse d'eau du goulet de Bonifacio. Dans le littoral Sud-Ouest de la Corse, le Golfe de Santa Amanza, le Golfe de Porto-Vecchio et le littoral Sud-Est de la Corse, les EEE sont majoritairement présentes avec plus d'une quarantaine de recensements. Concernant la Plaine Orientale située entre Solenzara et Borgo, près de 200 observations d'algues filamenteuses ont été notées et plus d'une trentaine d'EEE. Le littoral Bastiais recense majoritairement des EEE avec environ une dizaine d'observation en mer mais également en lagune. De même qu'au Cap Est de la Corse, les altérations majoritaires sont les EEE avec plus de 20 observations. Au Cap Nord et Cap Ouest de la Corse, les engins de pêche perdus ainsi que les algues filamenteuses sont les plus recensés. De la zone proche de Canari, ainsi que le Golfe de Saint-Florent et la pointe de Palazzu jusqu'au Sud de Nonza, les EEE et les algues filamenteuses sont majoritairement recensées.

I.B. Consultation des acteurs locaux

Au cours de la phase de recensement des altérations, **190 structures** ont répondu au mail et/ou téléphone, soit un **taux de réponse d'environ 55 %**. Le tableau en Annexe 3 présente le nombre de réponses par type de structure. Une liste des personnes/structures ayant répondu durant la phase de contact est également disponible en Annexe 4.

Parmi les personnes ou structures ayant répondu, 61 n'avaient pas d'informations à transmettre. 129 personnes ont communiqué des informations sous la forme de cartes, de rapports, de revue, de données brutes d'observations avec points GPS mais aussi des observations *in situ*, dont plusieurs se recoupaient entre les acteurs.

I.C. Analyse des images aériennes

L'analyse d'images aériennes avec *Google earth* n'a pas permis d'obtenir des résultats concrets. Seuls des doutes ont été émis sur quelques points relevés, mais il serait nécessaire de mettre en place une étude plus approfondie, avec recherche par drone ou par caméra numérique embarquée dans un avion (ex : réseau [MEDOBS](#)).

II. Etude de cas : restauration de l'herbier de posidonie en France

II.A. Localisation des zones adaptées à la restauration de l'herbier de posidonie sur le littoral français

L'analyse surfacique des zones présentant un déclin des herbiers couplée à l'analyse du nombre de mouillages cumulés sur l'herbier avant 2022 et après 2022 a permis de produire une **cartographie montrant les zones très adaptées et moyennement adaptées à la restauration écologique**.

Compte-tenu de la méthodologie appliquée, les **zones très adaptées** à la restauration des herbiers de posidonie sont situées dans l'Anse de Paulilles (Banyuls sur Mer), dans le golfe de Fos (Fos-sur-Mer), dans l'Anse de l'Estaque (à l'Ouest du port de Marseille), dans l'Anse de la Grande Prise (Îles du Frioul – Marseille), dans la Baie de Cassis (Cassis), à l'Ouest de la Baie de la Ciotat (La Ciotat), dans la Baie de Sanary (Sanary-sur-Mer), au Lazaret (St-Mandrier-sur-Mer), dans la grande Rade de Toulon (Toulon), dans plusieurs secteurs au Nord de l'île de Porquerolles (Hyères), dans l'Anse de Cavalière (Cavalière-sur-Mer), dans la Baie de Pampelonne (Ramatuelle), dans plusieurs secteurs du golfe de St Tropez, au Sud du port de Théoule (Théoule-sur-Mer), face au port de Canne (Cannes), autour des îles de Lérins, dans le Golfe Juan (Antibes), dans la Rade de Villefranche-sur-Mer, dans la Rade de Beaulieu (Beaulieu-sur-Mer et St-Jean-Cap-Ferrat), dans la Baie de St Laurent (Cap d'Ail), dans la Baie de Roquebrune (Cap Martin), dans la Baie de Calvi, dans la Baie de Girolata (Girolata), Golfe de Sant'Amanza (Corse). Ces zones très adaptées, toutes tranches bathymétriques confondues, couvrent une surface totale de **317 ha**.

Une identification plus fine de ces zones très adaptées à la restauration des herbiers de posidonie est réalisée en sélectionnant celles situées entre 5 et 20 mètres de profondeur, cette tranche bathymétrique étant la plus adaptée aux repiquages d'herbier de posidonie d'après la littérature récente. Ainsi, les **zones très adaptées à la**

restauration des herbiers de posidonie et situées entre -5 et -20 m couvrent une surface de 129 ha. Elles seraient localisées dans les secteurs suivants :

- l'Anse de Paulilles (Banyuls-sur-Mer)
- dans le golfe de Fos (Fos-sur-Mer)
- dans la Baie de Sanary (Sanary-sur-Mer)
- au Lazaret (St-Mandrier-sur-Mer)
- dans la grande Rade de Toulon(Toulon)
- dans plusieurs secteurs au Nord de l'île de Porquerolles (Hyères)
- dans l'Anse de Cavalière (Cavalière-sur-Mer)
- dans la Baie de Pampelonne (Ramatuelle)
- dans plusieurs secteurs du golfe de St-Tropez
- au Sud du port de Théoule (Théoule-sur-Mer)
- face au port de Canne (Cannes)
- dans le Golfe Juan (Antibes)
- dans la Rade de Villefranche (Villefranche-sur-Mer)
- dans la Rade de Beaulieu (Beaulieu-sur-Mer et St-Jean-Cap-Ferrat)
- dans la Baie de Calvi (Corse)
- golfe de Sant'Amanza (Corse)

En combinant ces analyses aux cartes de localisation des altérations, il est d'autant plus facile d'identifier des zones prioritaires en termes de restauration écologique sur le littoral méditerranéen français. Il serait donc intéressant de développer une méthode similaire pour l'ensemble des altérations relevées.

II.B. Coûts de la restauration et bénéfices

La synthèse des solutions techniques et opérationnelles présentée dans l'axe 1 permet de porter à connaissance certains coûts de projets de restauration écologique. **Concernant la restauration de *Posidonia oceanica*, espèce protégée emblématique et endémique de la Méditerranée, les coûts relevés dans la littérature sont variables.**

Ainsi, le projet de restauration de Posidonie mené dans l'Aire Marine Protégé (AMP) de Capo Carbonara et sur l'île d'Elbe en Italie entre 2017 et 2019 sur une surface de 1 000 m² s'élève à 100 000 € (Fiche 24). Ces coûts comprennent 10 jours de travail, dont 35 000 € sont alloués aux coûts du matériels. Le coût de la collecte des boutures est estimé à 15 000 € et le coût du repiquage est estimé à 50 000€. Le coût total est similaire à celui du projet RenforC sur la transplantation de Posidonie, mené dans la baie de Balistra en Corse entre 2021 et 2023 (Fiche 36). Le montant total du projet est estimé à 80 000 € pour la restauration de la Posidonie d'une surface d'environ 900 m² (avec environ 20 € par bouture et 6,40 € par faisceau d'herbier de Posidonie transplanté). Concernant le projet réalisé dans l'AMP de Capo Carbonara (Fiche 24), la transplantation a été réalisée grâce à la récolte de boutures dans des herbiers naturels par des plongeurs. La même technique de prélèvement a été utilisée pour le projet mené dans la baie de Balistra en Corse pour le projet RenforC (Fiche 36). Les coûts du

projet REPIC mené sur Golfe Juan et Beaulieu-sur-Mer depuis 2019 à échéance en 2024 sont estimés entre 2 000 et 2 500 € pour la restauration d'une surface de 12 m² soit entre 167 000 € et 208 000 € pour 1 000 m² (Fiche 31). Pour ce dernier projet, les coûts sont plus élevés car la recherche en plongée de fragments flottants (en épave) est plus longue que la récolte de fragments dans l'herbier naturel. En effet, il est nécessaire de chercher des zones d'ancrage (analyse en temps réel de données AIS (système d'identification automatique)). Ainsi, entre 2019 et 2022, 174 heures de plongée ont été dédiées uniquement à la récolte des fragments dans le cadre de REPIC. Tous ces coûts pour chacun des projets ne comprennent pas les coûts attribués au suivi scientifique après la transplantation.

Ces projets de restauration de l'herbier participent à la **séquestration du carbone**, une fonction importante dans un contexte de changement climatique. A ce jour, il n'existe pas de consensus sur une valeur précise de la séquestration du carbone par unité de surface de Posidonie. Les valeurs recensées dans la littérature entre 1994 et 2021 pour certains pays de Méditerranée comme la France, l'Espagne et l'Italie varient entre 0,19 et 1,91 tC/ha/an (Romero *et al.*, 1994 ; Gacia *et al.*, 2002 ; Kennedy *et al.*, 2010 ; Monnier *et al.*, 2020 ; Pergent-Martini *et al.*, 2021). Les différences de valeur de séquestration du carbone par *Posidonia oceanica* s'expliquent par la prise en compte ou non de plusieurs facteurs environnementaux. En effet, la valeur de séquestration du carbone est influencée par (i) des facteurs abiotiques, principalement la profondeur, l'hydrodynamisme, la concentration et composition des particules en suspension (Macreadie *et al.*, 2014), et (ii) des facteurs biotiques comme la densité des herbiers, la communauté associée à l'herbier (épiphytes) et l'herbivorie.

En attendant qu'une valeur de séquestration du carbone par *Posidonia oceanica* soit approuvée par un label, nous pouvons estimer le carbone séquestré chaque année par les projets de restauration en utilisant la valeur de séquestration de carbone de **1,82 tC/ha/an** (Gacia *et al.*, 2002), valeur la plus précise et adaptée aux projets autour d'une quinzaine de mètres de profondeur. Cela représente 3 à 5 fois plus que les forêts tropicales et jusqu'à 7 fois plus qu'une forêt de feuillus française sur des millions d'hectares et sur des centaines d'années⁵. La sauvegarde et la restauration de ces herbiers est alors d'une grande importance car ce stock est libéré lorsque les herbiers sont altérés. En sachant que 129 ha ont été identifiés comme des zones adaptées à la restauration, leur restauration représenterait à terme **235 tonnes de carbone séquestrés par an** supplémentaires.

Par ailleurs, l'herbier de Posidonie représente **l'une des sources d'oxygène les plus importantes**. Selon l'Institut méditerranéen de recherche avancée (IMEDEA) et la Fondation BBVA, les herbiers de posidonie de Méditerranée produisent de **14 à 20 tO₂/m²/j**. Ce qui représente environ 73 à 104 tO₂/ha/an. En comparaison, la plupart des mangroves sont neutres ou négatives en O₂ car elles produisent autant ou moins que ce qu'elles consomment et les forêts produisent entre 15 à 16 tO₂/ha/an. En sachant que 129 ha ont été identifiés comme des zones adaptées à la restauration cela représenterait une **production comprise entre 9 400 et 13 400 tonnes d'oxygène supplémentaires par an**.

Les nombreux services fournis par les régions côtières peu profondes dépendent du maintien et de la préservation des écosystèmes concernés et de leur biodiversité. Concernant les herbiers, la **valeur économique des services rendus par les herbiers de Posidonie** en France a été estimée par plusieurs études. Le coût des services rendus se situerait entre 284 €/ha/an (Campagne *et al.*, 2015), 22 000 €/ha/an (Costanza *et al.*, 1997) et 1 720 000€/ha/an (Vassello *et al.*, 2013) au minimum. La valeur moyenne est évaluée à **580 928 €/ha/an**. Soit plus de 46 milliards d'euros par an au minimum pour l'herbier vivant qui représente une surface de 79 852 ha en France. Quand on connaît le coût de certaines actions de protection des herbiers de Posidonie le long du littoral français comme la mise en place de mouillages organisés ou de campagnes de sensibilisations estimé à 4,8 millions d'euros par an, ce coût est 3/10 000 moins important que la valeur économique des services rendus par cet habitat (Boissery, données non publiées, dans Campagne *et al.*, 2015).

La mise en place de projets de restauration des herbiers de Posidonie reste faible comparé aux 8 580 ha d'herbiers à Posidonie morts qui ont été cartographiés en 2022 par le long les côtes françaises (chiffre de décembre 2022), soit une perte évaluée à 4,5 milliards d'euros chaque année. De plus, une étude publiée en 2014 par Marbà *et al.*, montrait déjà que quasiment tous les herbiers de Posidonie de Méditerranée subissaient des impacts physiques de diverses origines (aménagements côtiers, chalutage, mouillage, turbidité, érosion, rechargement de plages, etc.). En effet, des surfaces couvertes ont déjà été perdues en Méditerranée.

⁵ D'après les données de l'outil ALDO de l'ADEME (<https://aldo-carbone.ademe.fr/>).

En sachant que des zones ont été identifiées comme potentiellement très adaptées à la restauration d'herbiers de Posidonie entre -5 et -20 mètres de profondeur, on peut estimer le coût en fonction des projets de restauration. Par exemple, si l'on prend le coût du projet mené dans l'AMP de Capo Carbonara, la restauration de 129 ha aurait un coût estimé à 12 900 000 € (pour rappel 1 000 m² pour un coût de 100 000 €). Avec les coûts du projets RenforC, la restauration de 129 ha aurait un coût estimé à 11 466 666 € (pour rappel 900 m² pour un coût de 80 000 €). Enfin, la restauration de 129 ha avec les coûts estimés du projet REPIC (pour rappel 2 000 € à 2 500 € pour 12 m²) s'élèveraient entre 21 500 000 € et 26 875 000 €.

Si l'on restaurait 129 ha (surface identifiée comme adaptée à la restauration des herbiers de Posidonie en France) cela coûterait en moyenne 17 080 555 € et cela permettrait de stocker 235 tonnes de carbone par an supplémentaires et de produire entre 9 400 et 13 400 tonnes d'oxygène supplémentaires par an. Les services écosystémiques rendus par ces herbiers restaurés seraient de 74 939 712 € par an soit 15,6 fois plus élevés par rapport aux coûts des actions de protection évalués à 4,8 millions d'euros par an.

Malgré son statut d'espèce protégée et une dynamique forte initiée depuis 2019 à sa préservation grâce à un renforcement des mesures réglementaires par la Préfecture maritime de Méditerranée (arrêté n°123/2019), la mobilisation par des projets de restauration et le financement de solutions apparaissent comme un enjeu clé afin d'assurer une protection effective.

III. Etude de cas : restauration des récifs coralligènes en France

Concernant la restauration des récifs coralligènes, deuxième écosystème-clé de Méditerranée après les herbiers de posidonie, aucune méthode de restauration des récifs coralligènes ensevelis par des sédiments n'a été trouvée dans la littérature dans l'état des connaissances actuelles. Seules des transplantations d'espèces associées au coralligène comme les éponges, les gorgones ou encore le corail rouge ont été réalisées (voir axe 1).

Le projet **RESCOR** (fiche 38 et page suivante) porté par Andromède Océanologie entre 2018 et 2023 a permis le **retrait** de sédiment et **nettoyage** d'un récif coralligène enseveli par la formation d'un talus sédimentaire provenant d'opérations de forage.

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

Le système innovant par jet d'eau a permis le **retrait de 50 m³ de sédiments, la mise à jour de 150 m² de substrat dur et le nettoyage de 500 m² de récif coralligène.** Cette méthode de restauration des récifs coralligènes est efficace puisqu'elle a permis de rétablir la biodiversité, la structure et la dynamique de l'écosystème préexistant avant destruction. Son coût total a été évalué à **275 000 euros** (nettoyage et suivi scientifique pendant cinq ans).

Restauration de récifs coralligènes - Projet RESCOR

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

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

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

Période : 2018 - 2022

Espèce/habitat ciblé : Récifs coralligènes

Localisation : St-Jean-Cap-Ferrat, France

Site internet :

https://medtrix.fr/portfolio_page/restau-med/

Objectifs du projet

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

Suivi scientifique

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

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

Description de l'opération

Le projet RESCOR s'est déroulé en trois étapes :

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

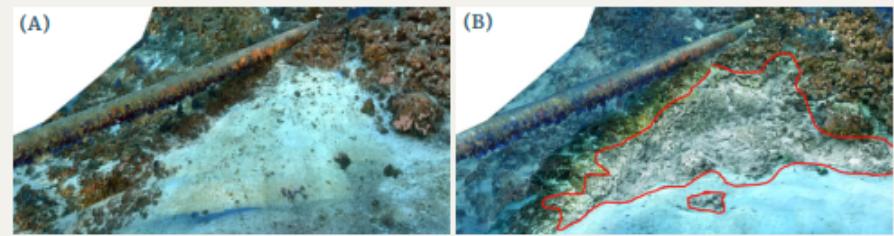


Méthode par jet d'eau permettant de nettoyer le récif © Andromède Océanologie.

Résultats obtenus

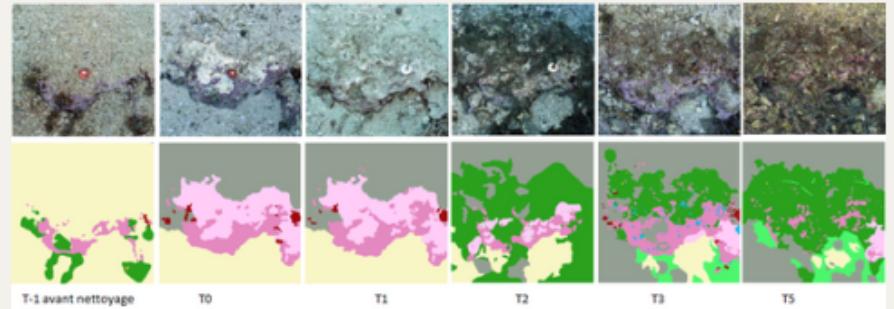
La caractérisation de la zone du projet n'a montré aucune contre-indication à la réalisation des opérations de désensevelissement et nettoyage. Une zone de 500 m² comprise entre -45 et -50 m, avec une faible sensibilité écologique, a été choisie pour être la zone de dépôt des sédiments (non pollués).

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



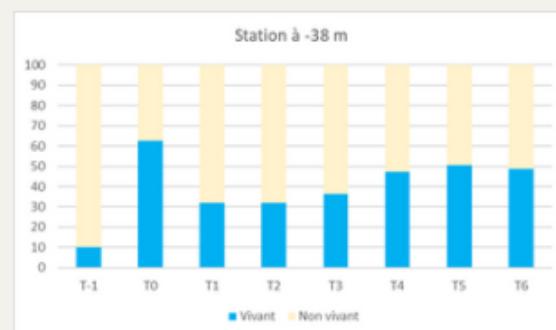
(A) Modèle 3D avant les opérations de désensevellement et de nettoyage; (B) Modèle 3D après les opérations © Andromède Océanologie.

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



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

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



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

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

IV. Atlas cartographique

L'ensemble des altérations recensées est localisé sur **19 cartes**, toutes présentées ci-après, qui permettent d'identifier les zones exposées qui concentrent plusieurs types d'altérations.

L'ensemble de ces résultats est disponible et consultable gratuitement sur la plateforme **MEDTRIX**, dans le projet **RESTAU-MED** (https://medtrix.fr/portfolio_page/restau-med/): chaque point est cliquable et permet de visualiser une popup détaillée des colonnes présentées dans le tableau 2.

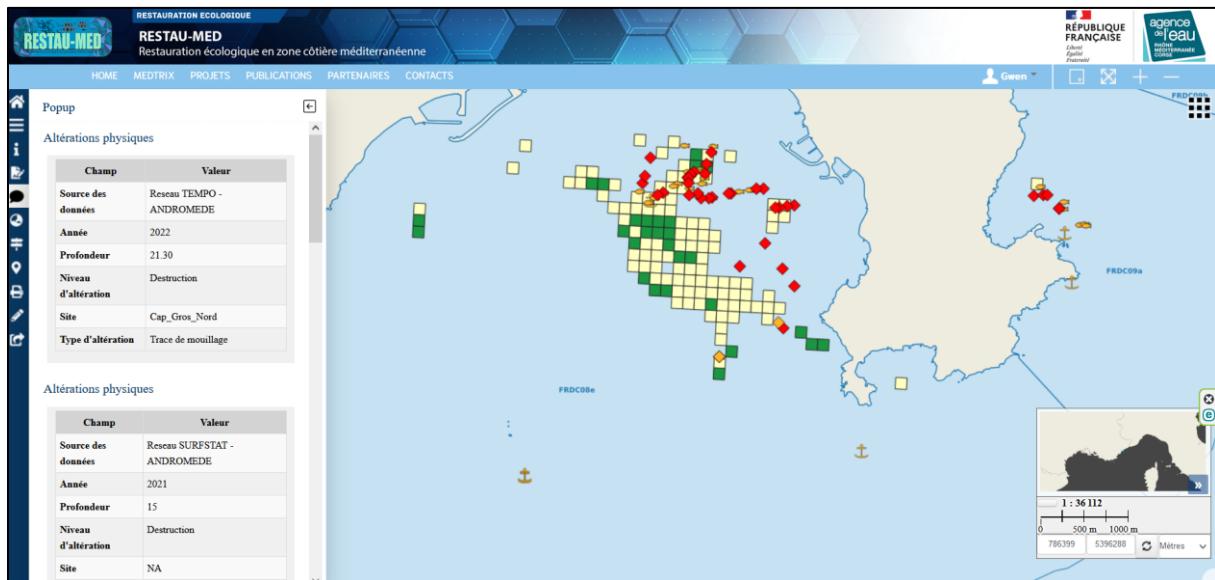
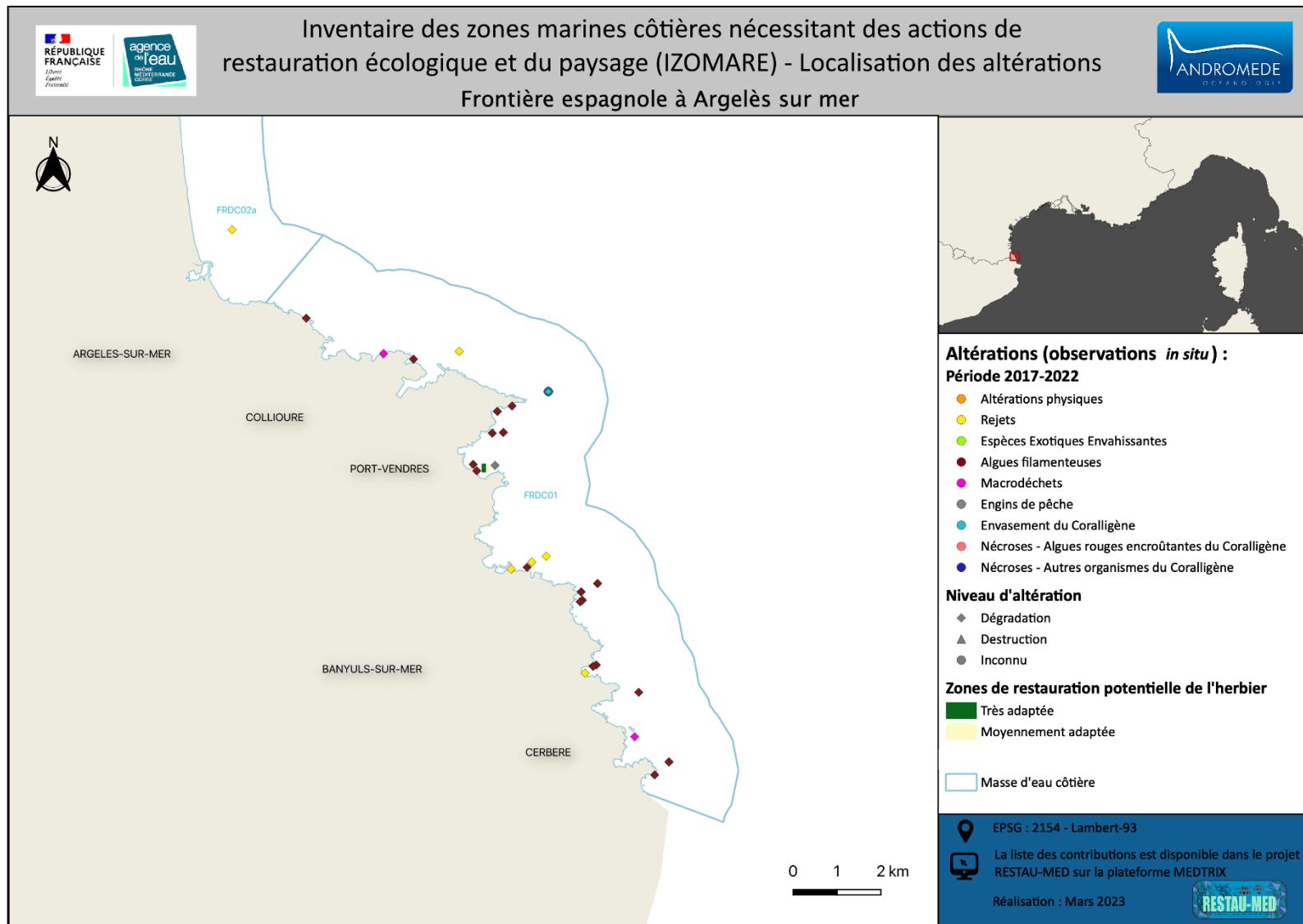
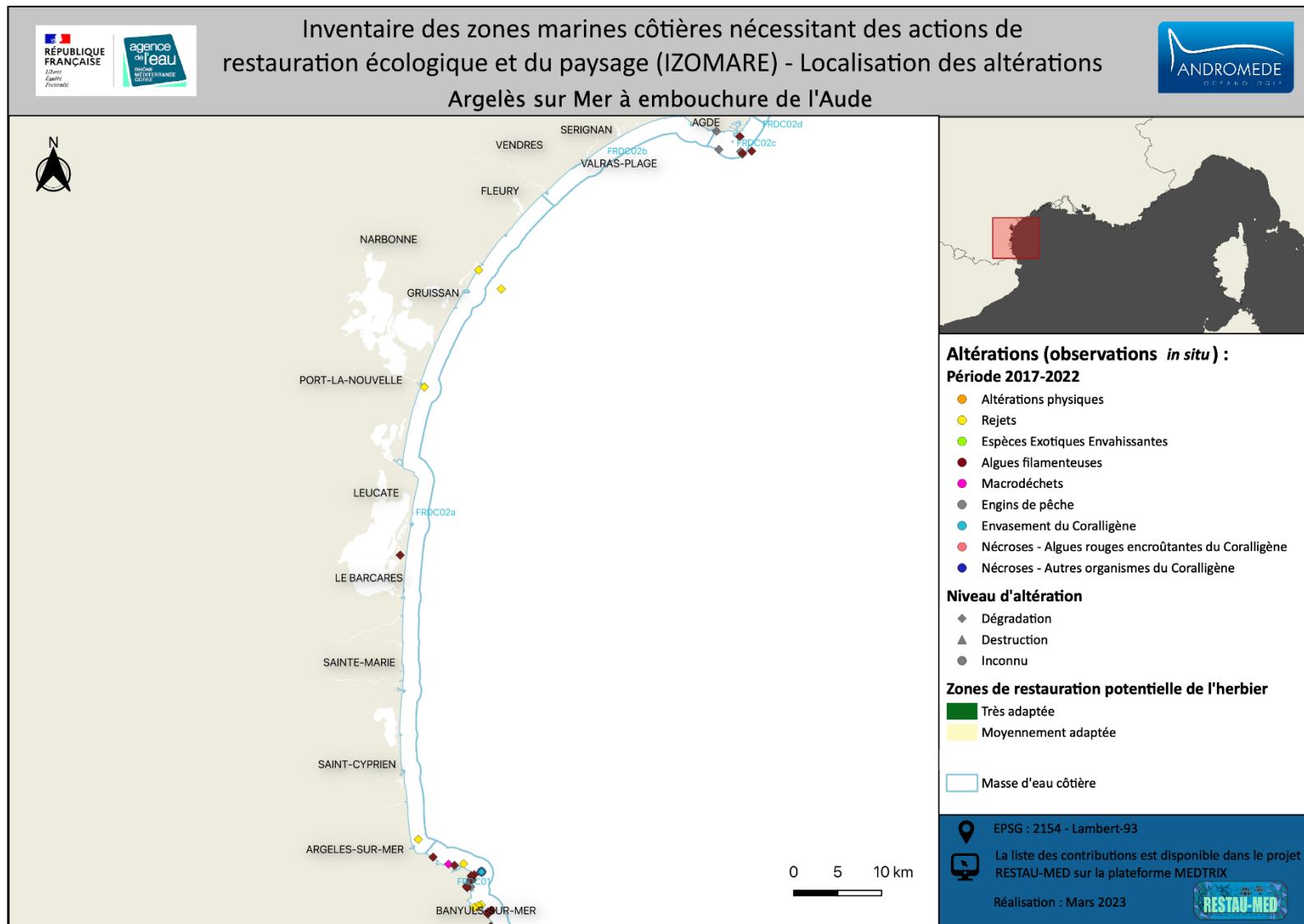
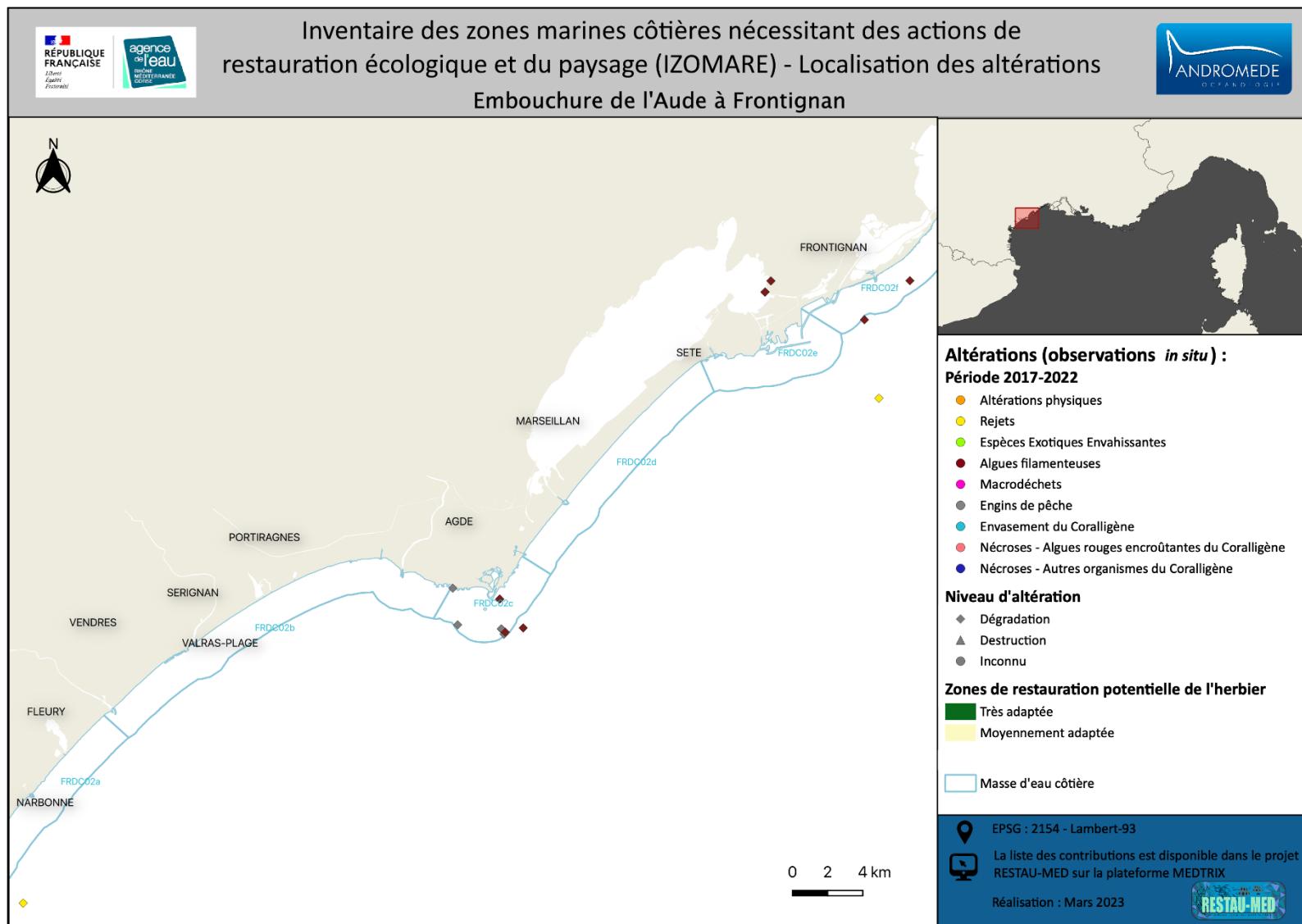
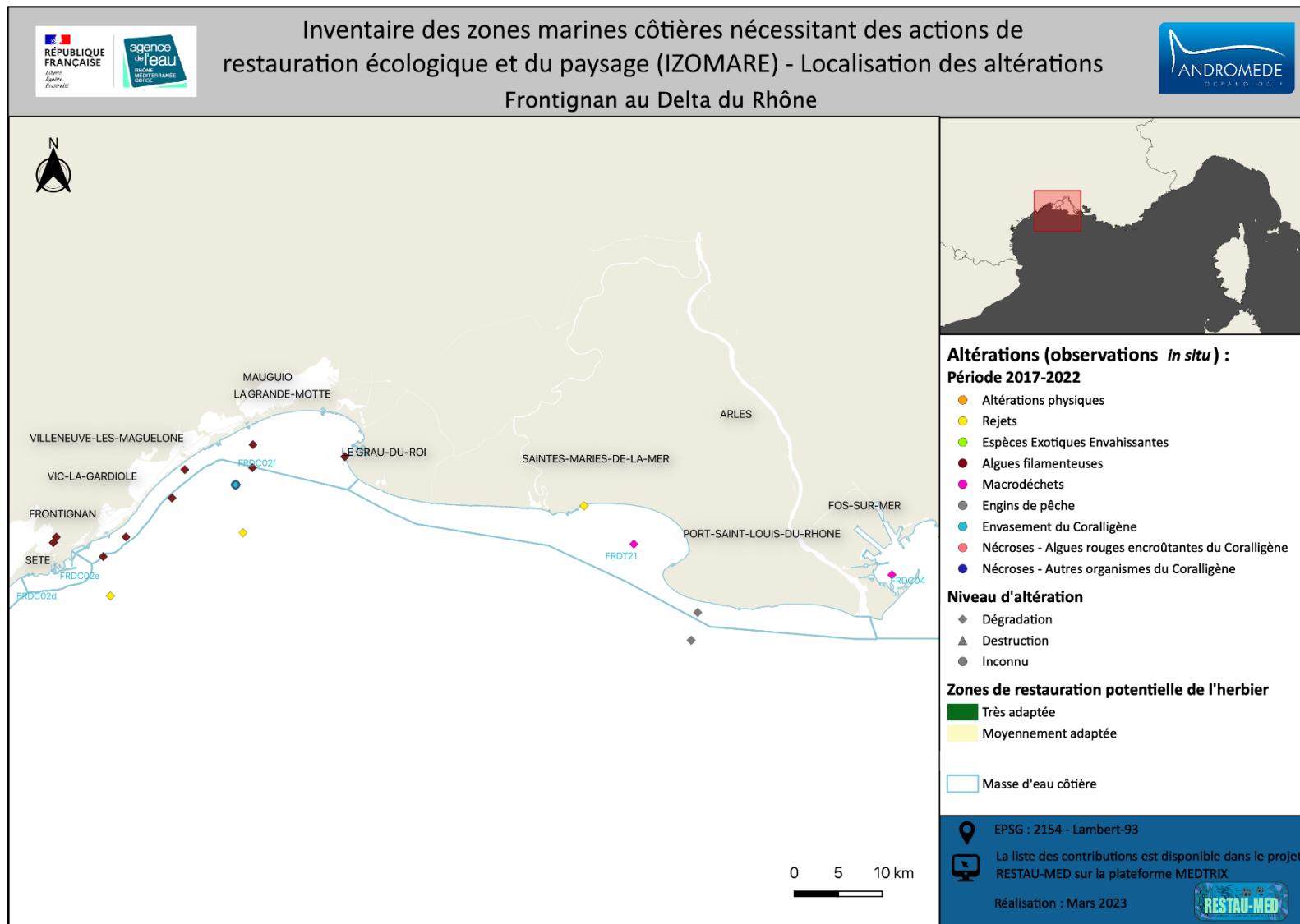


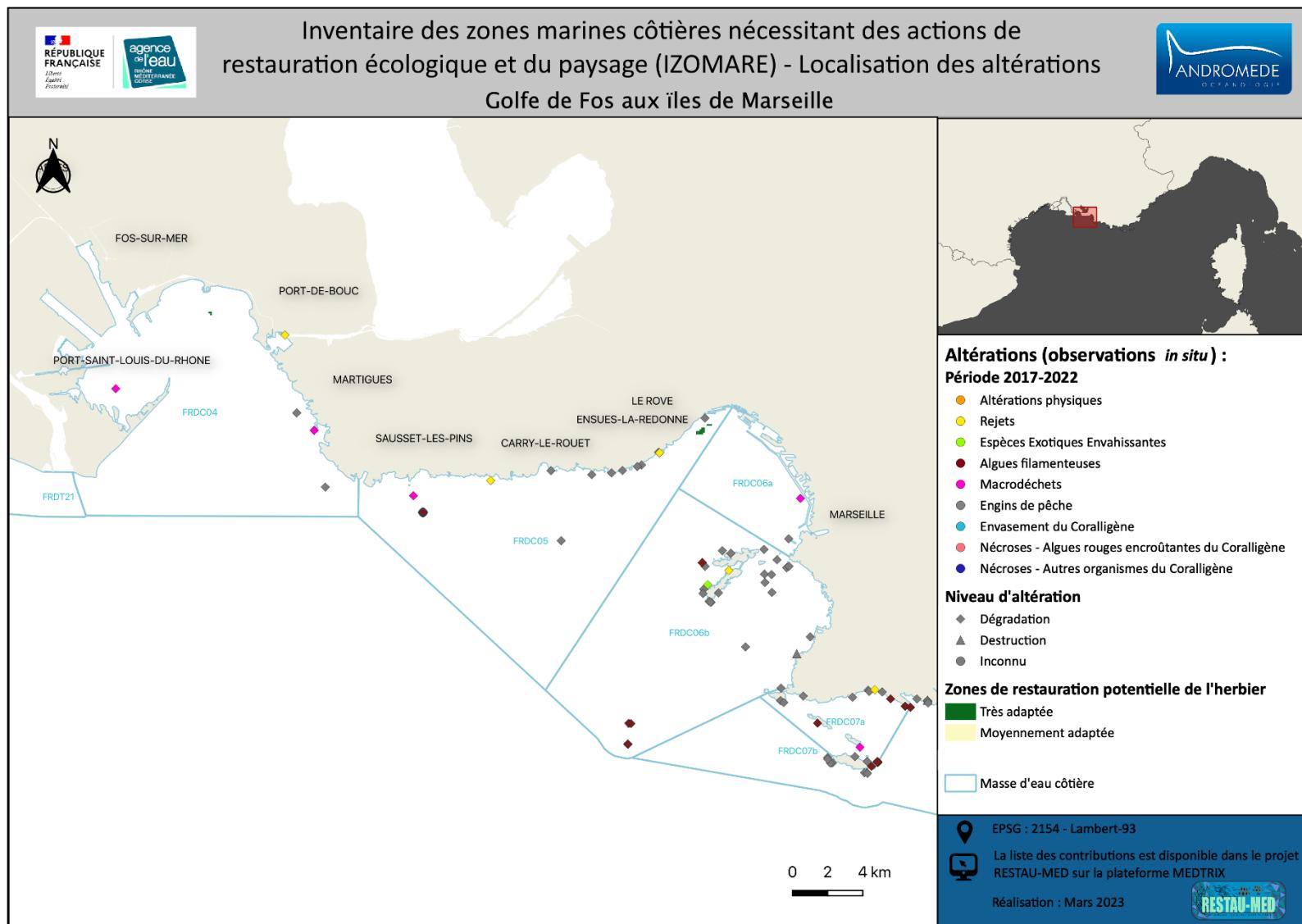
Figure 9 : Visuel issu du projet RESTAU-MED sur MEDTRIX montrant la cartographie d'altérations et un exemple de popup d'altération physique.

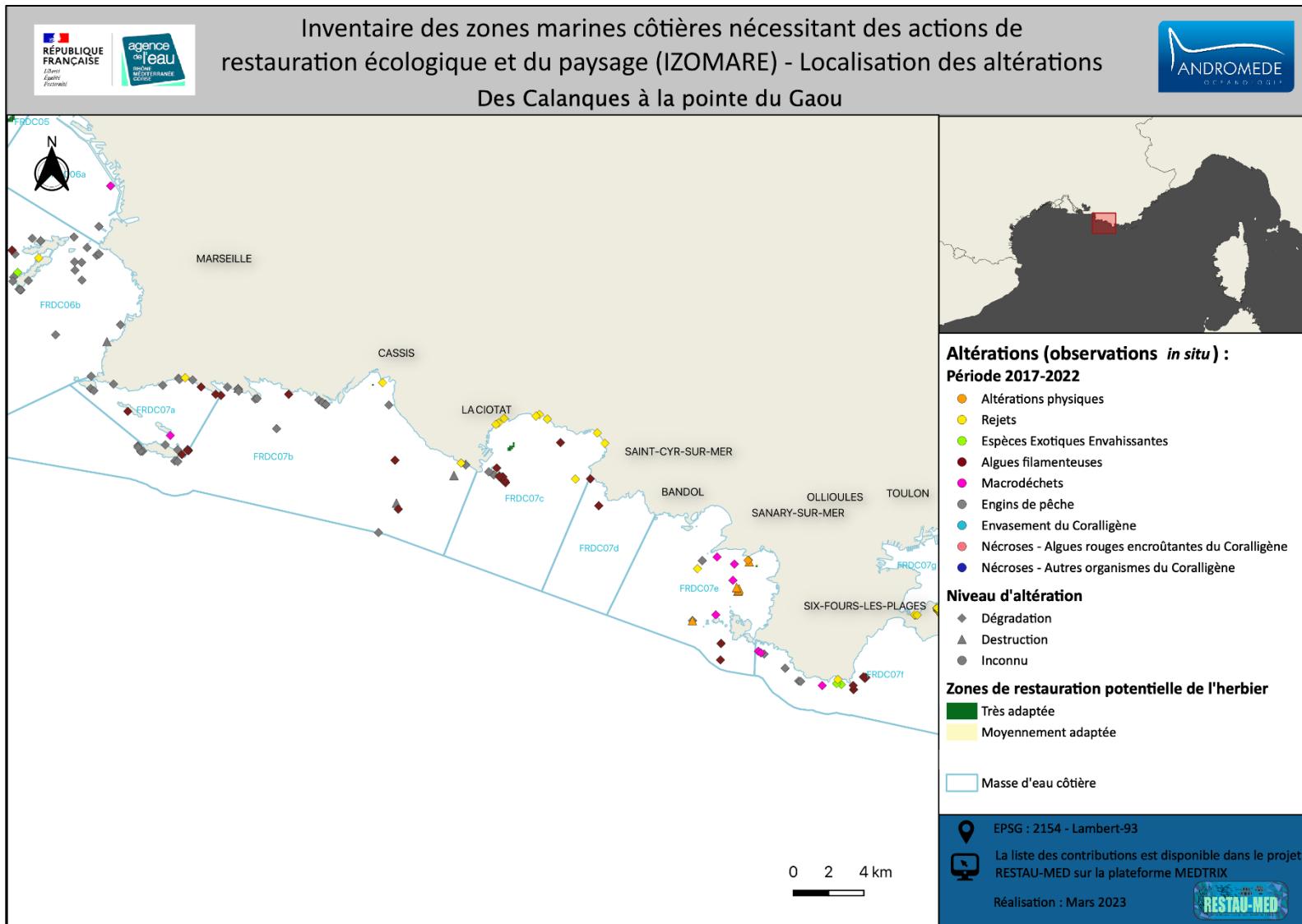


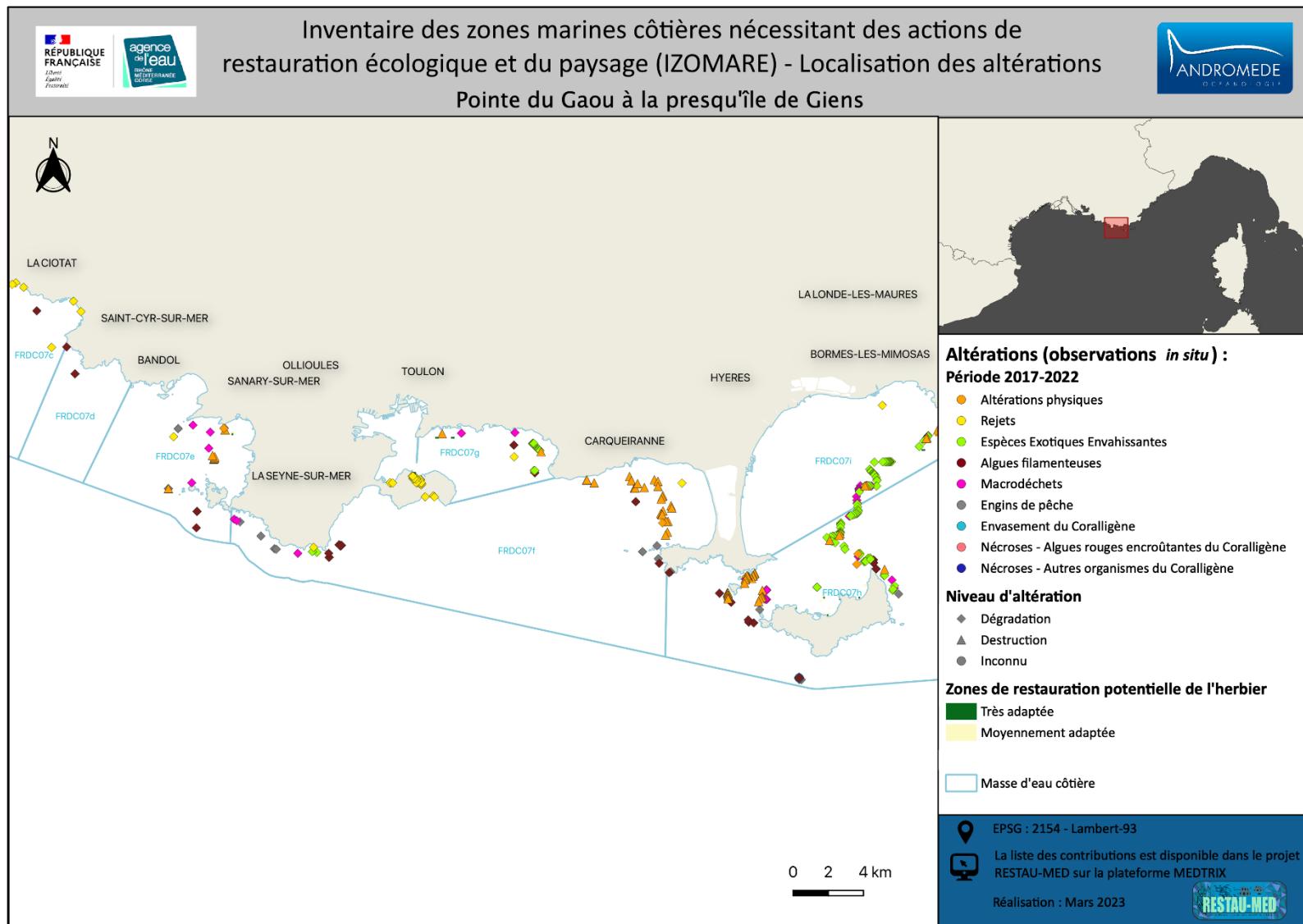


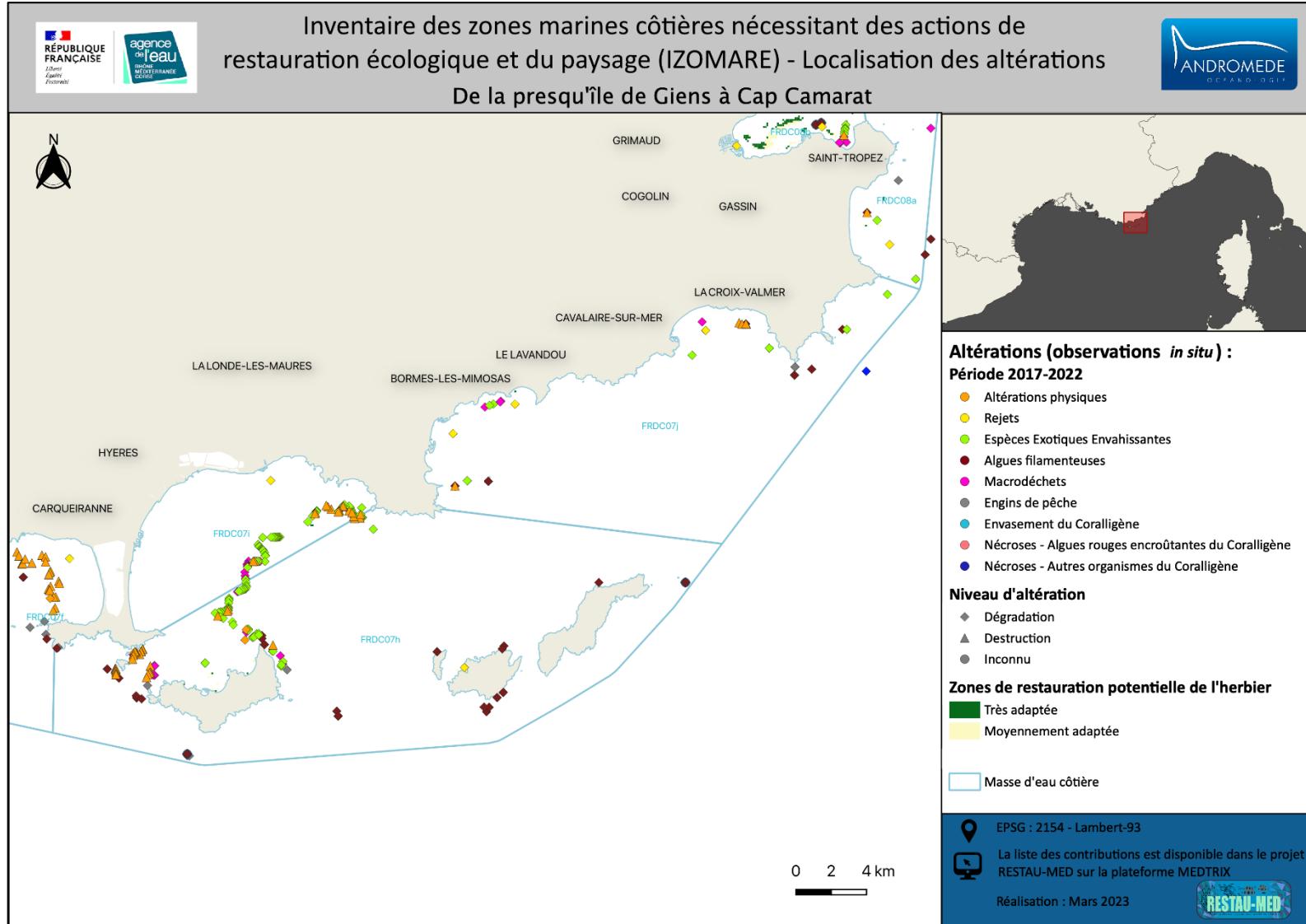


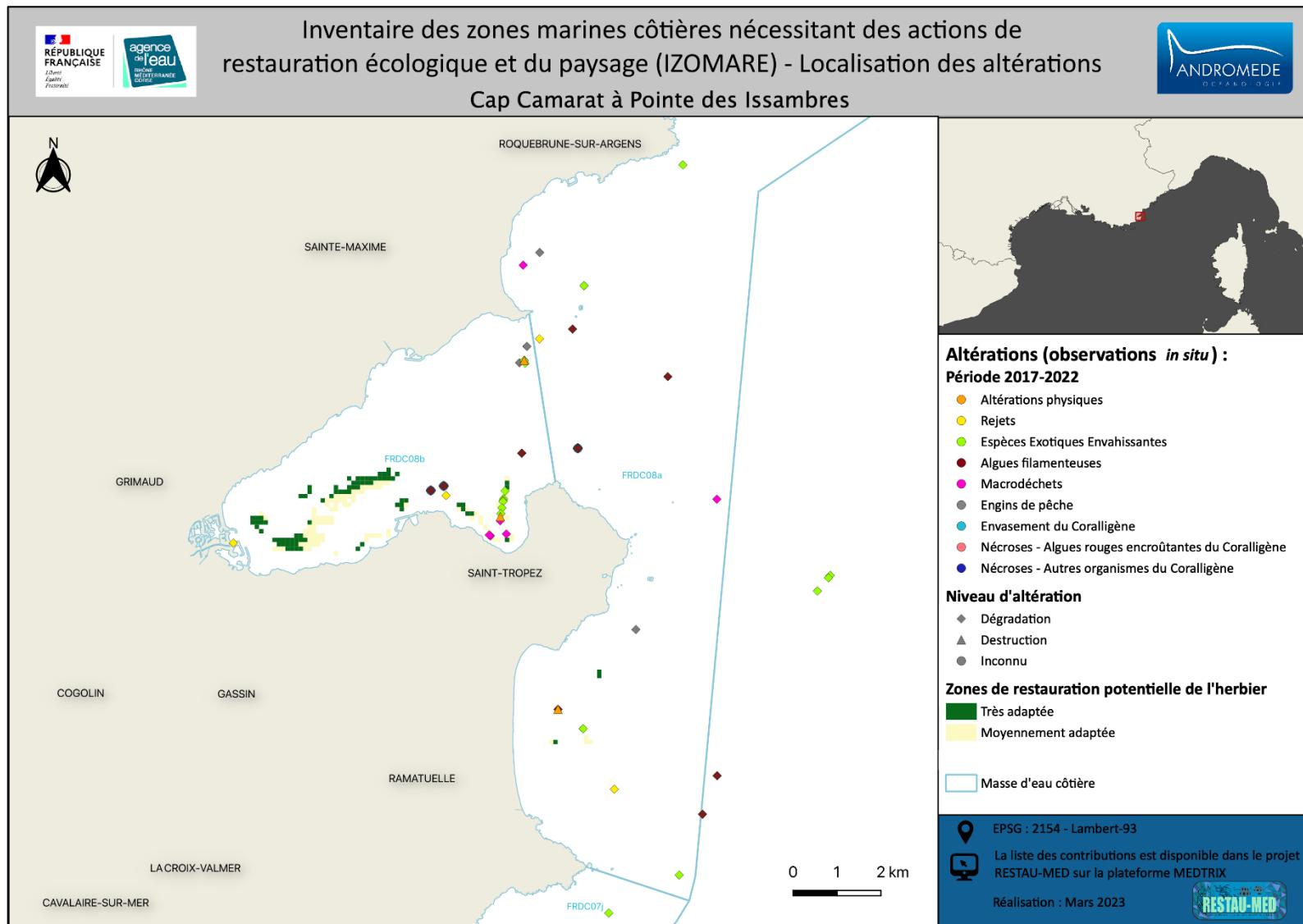


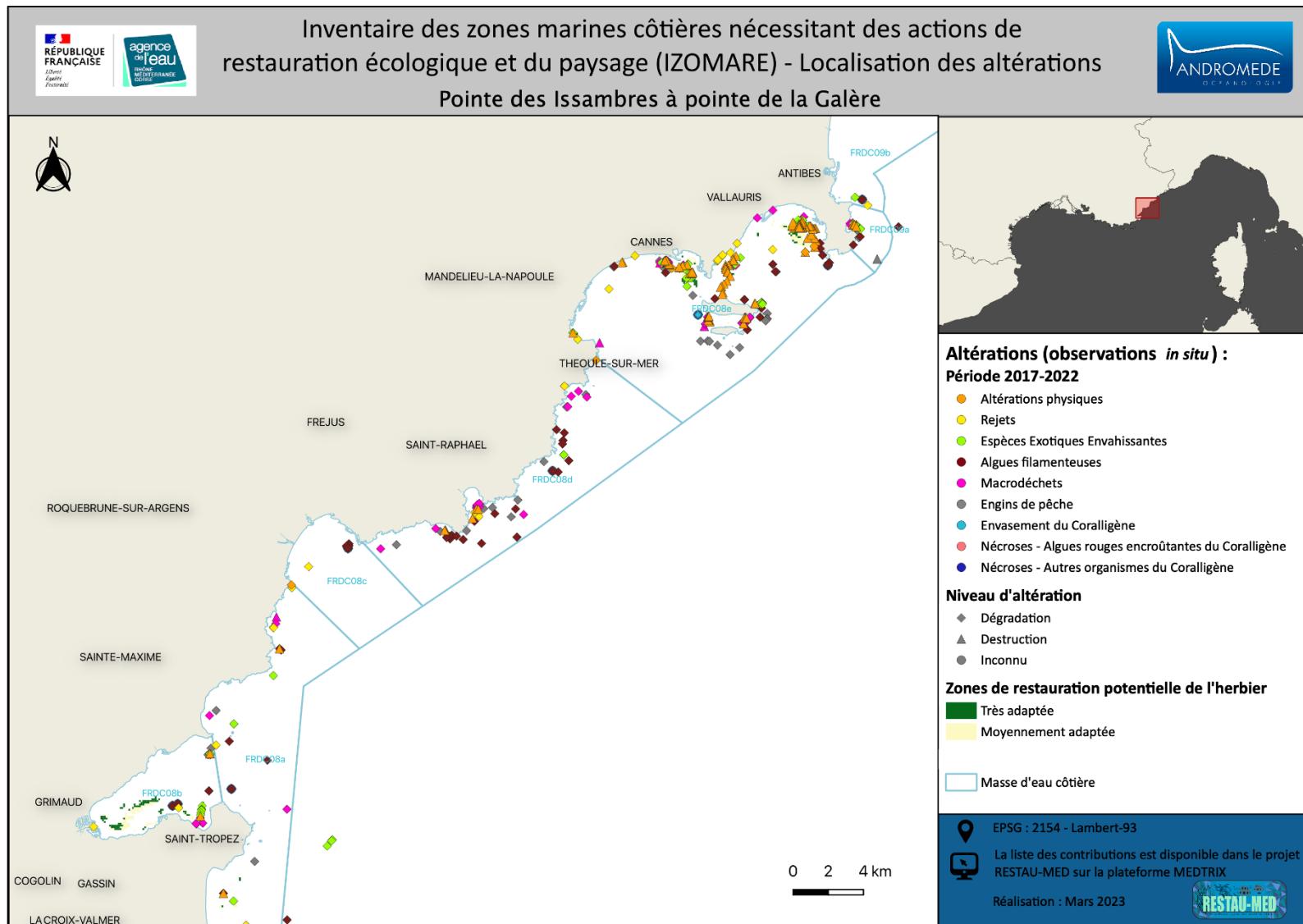


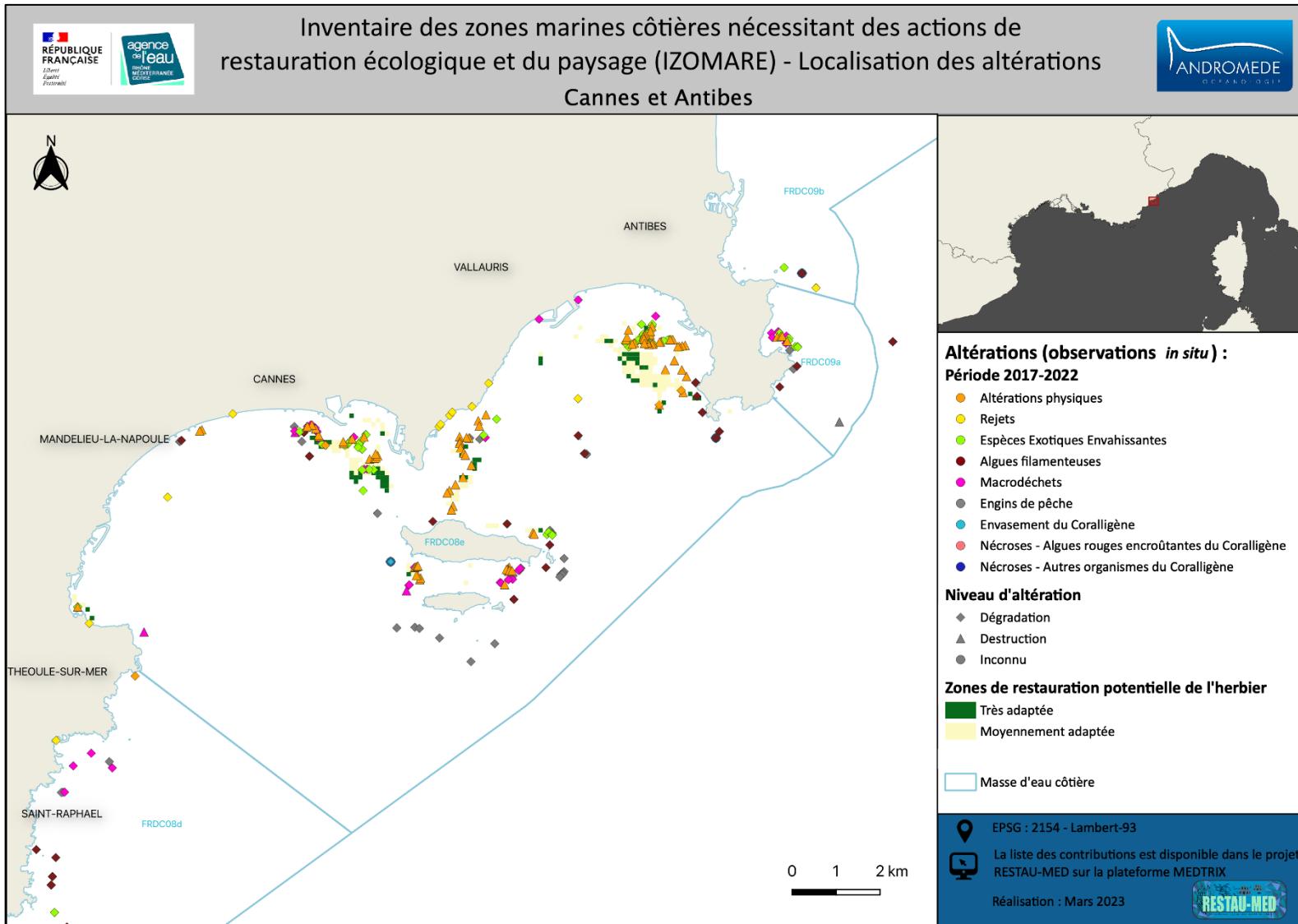


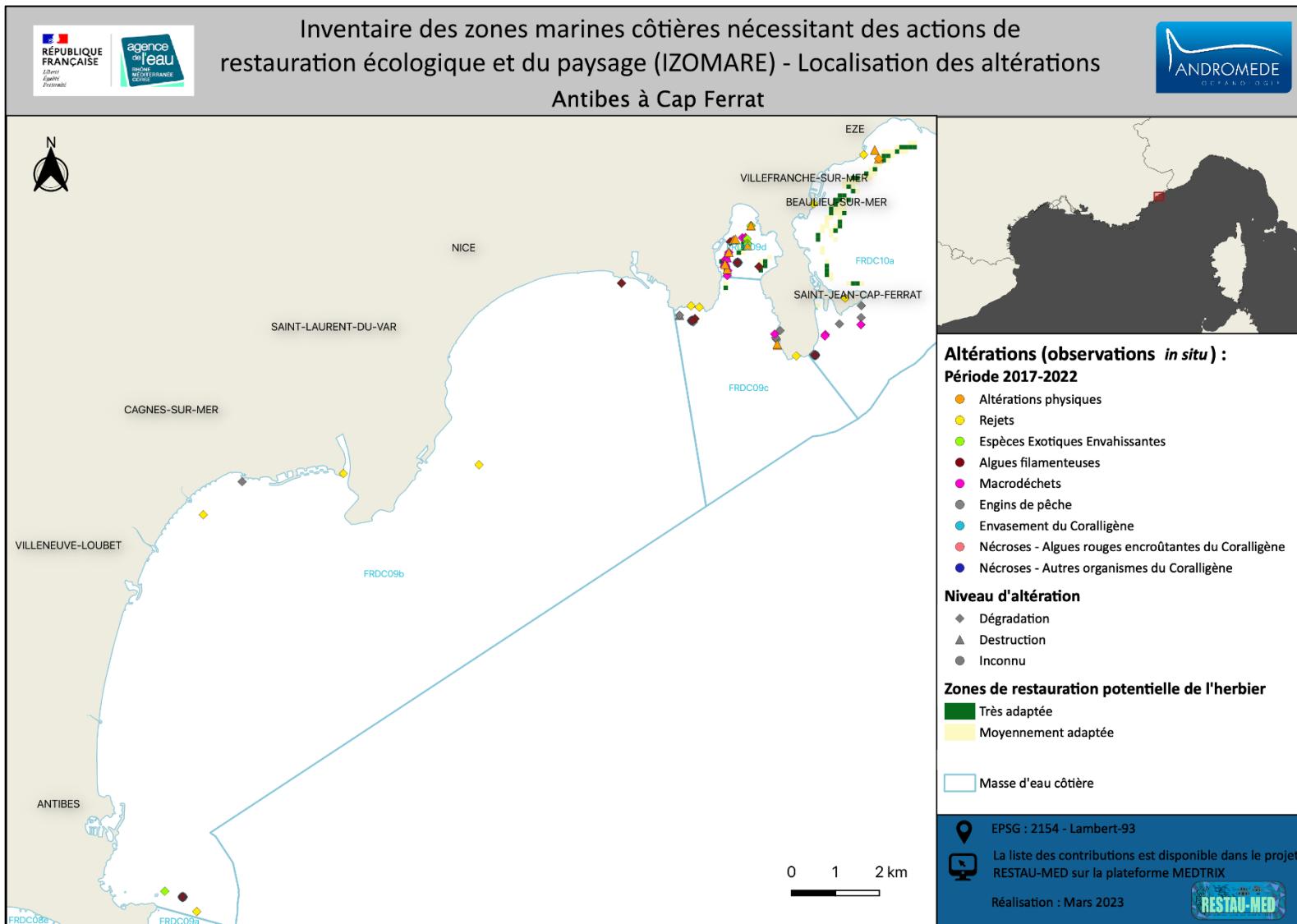


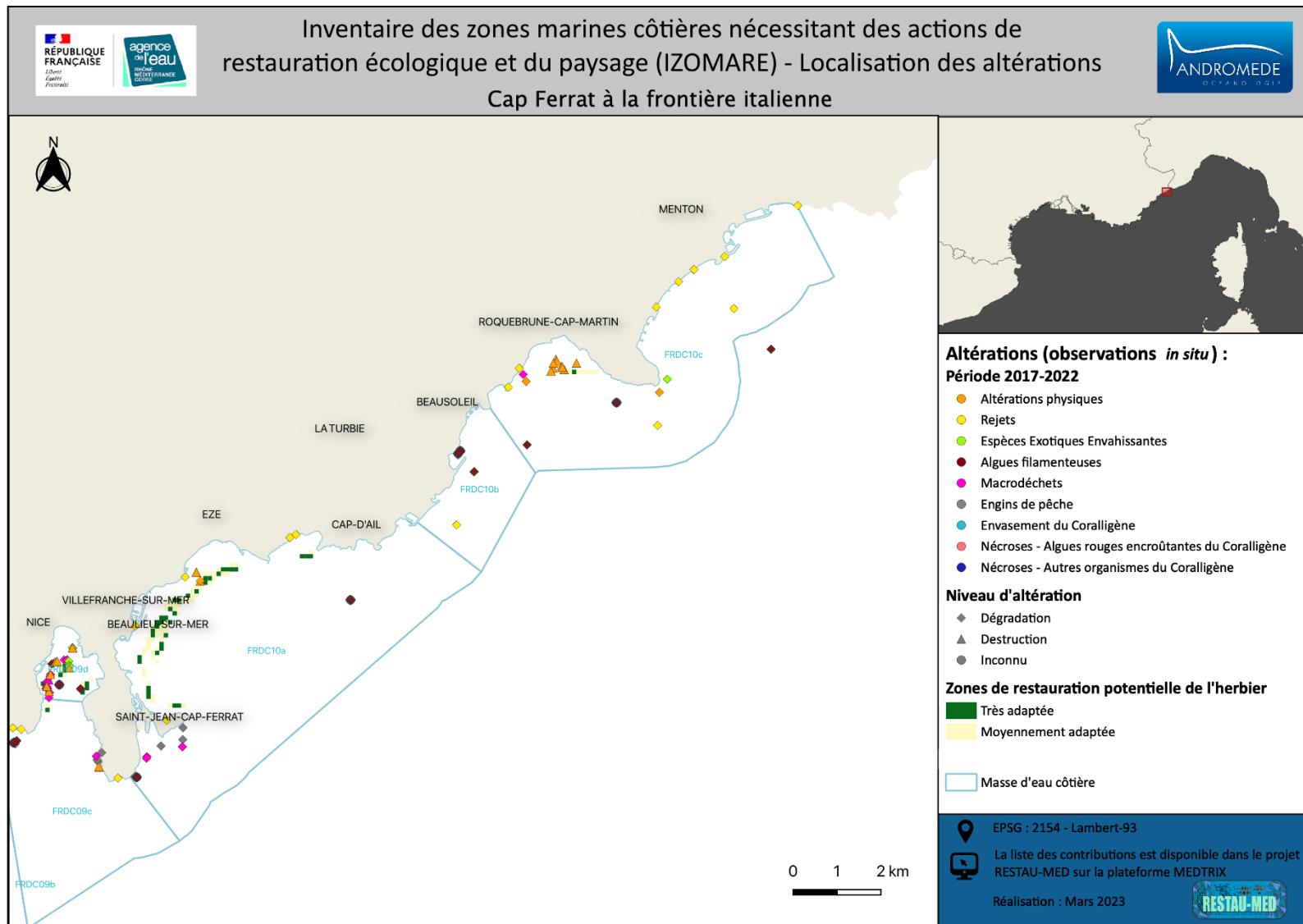


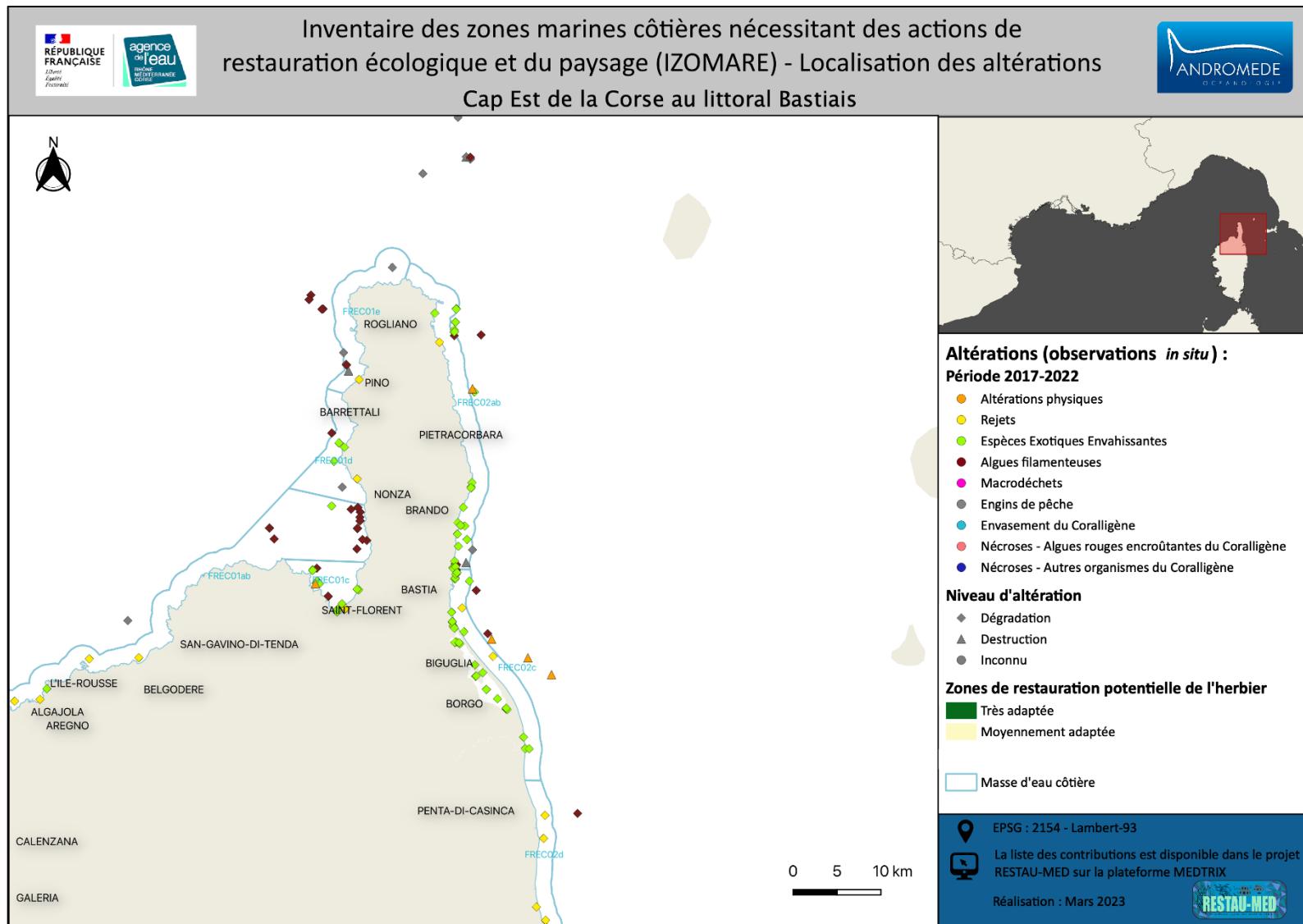


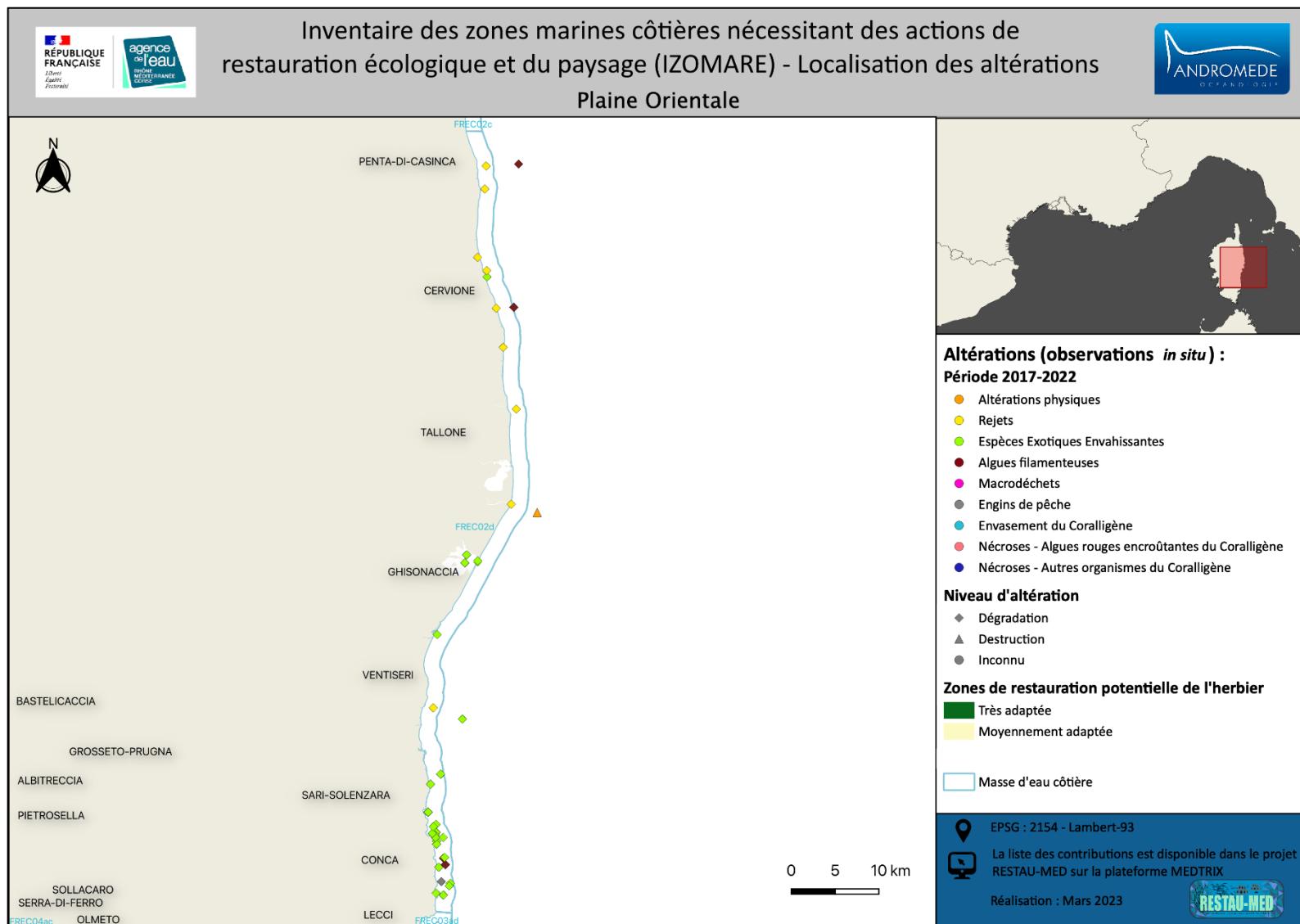


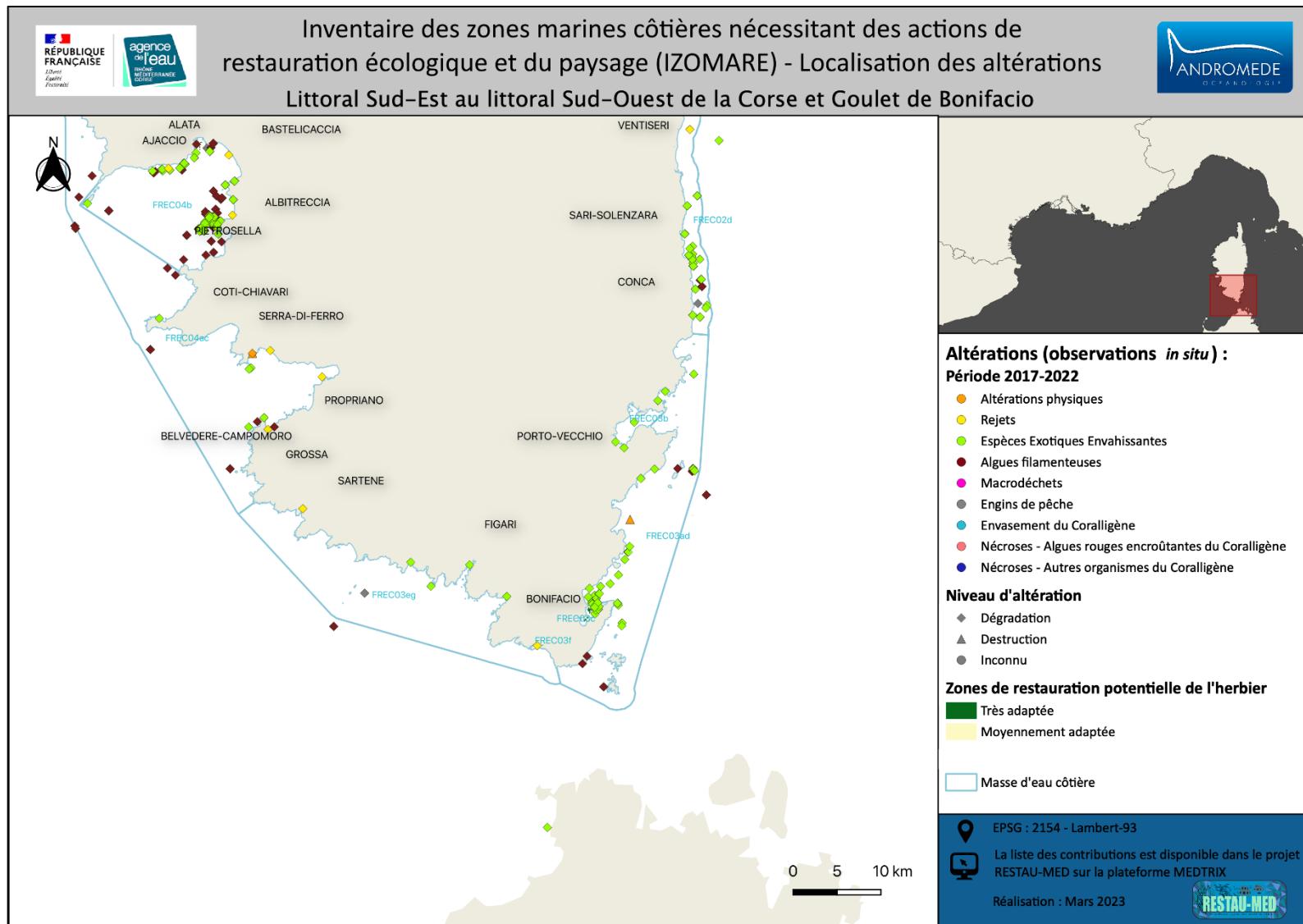


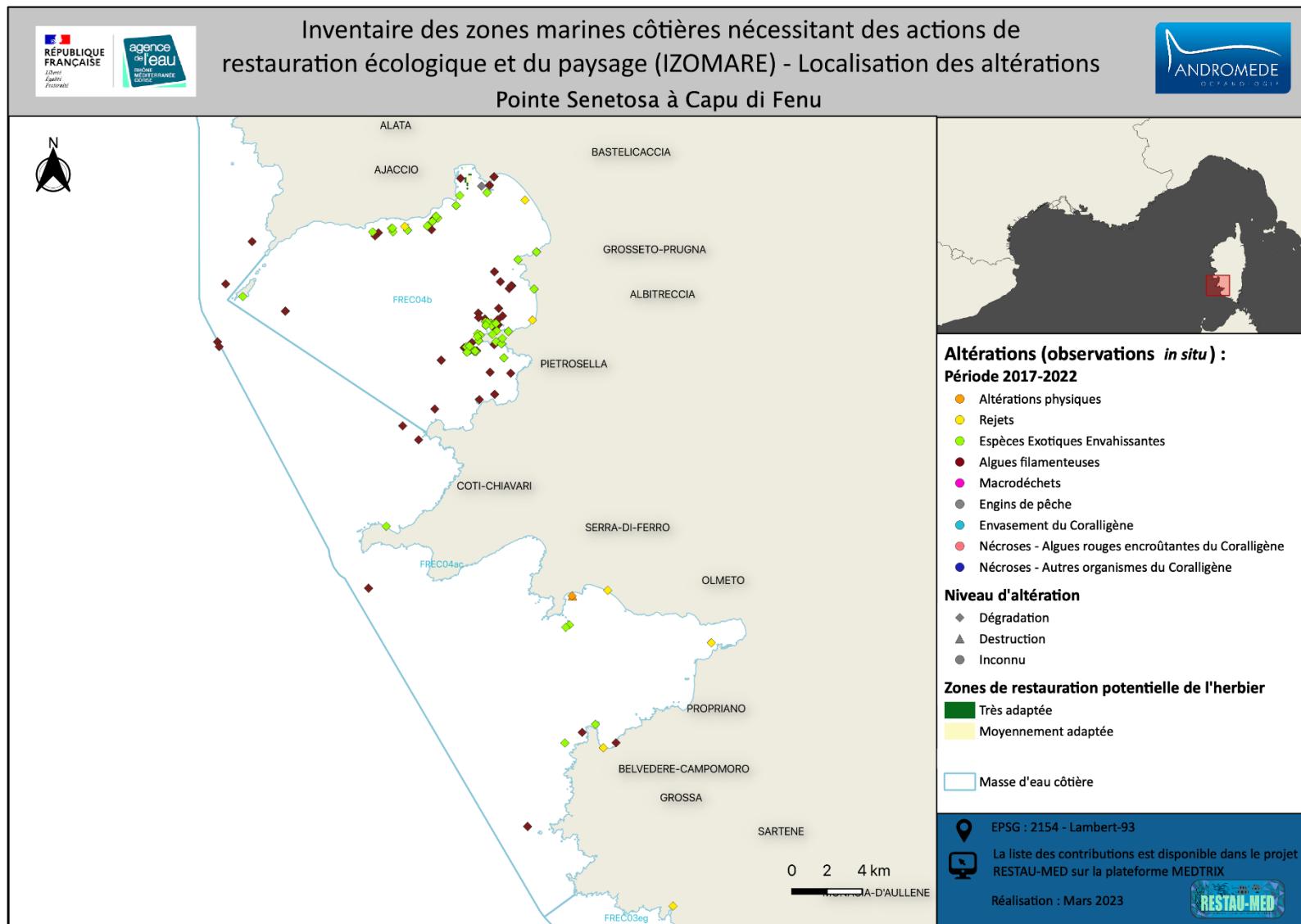


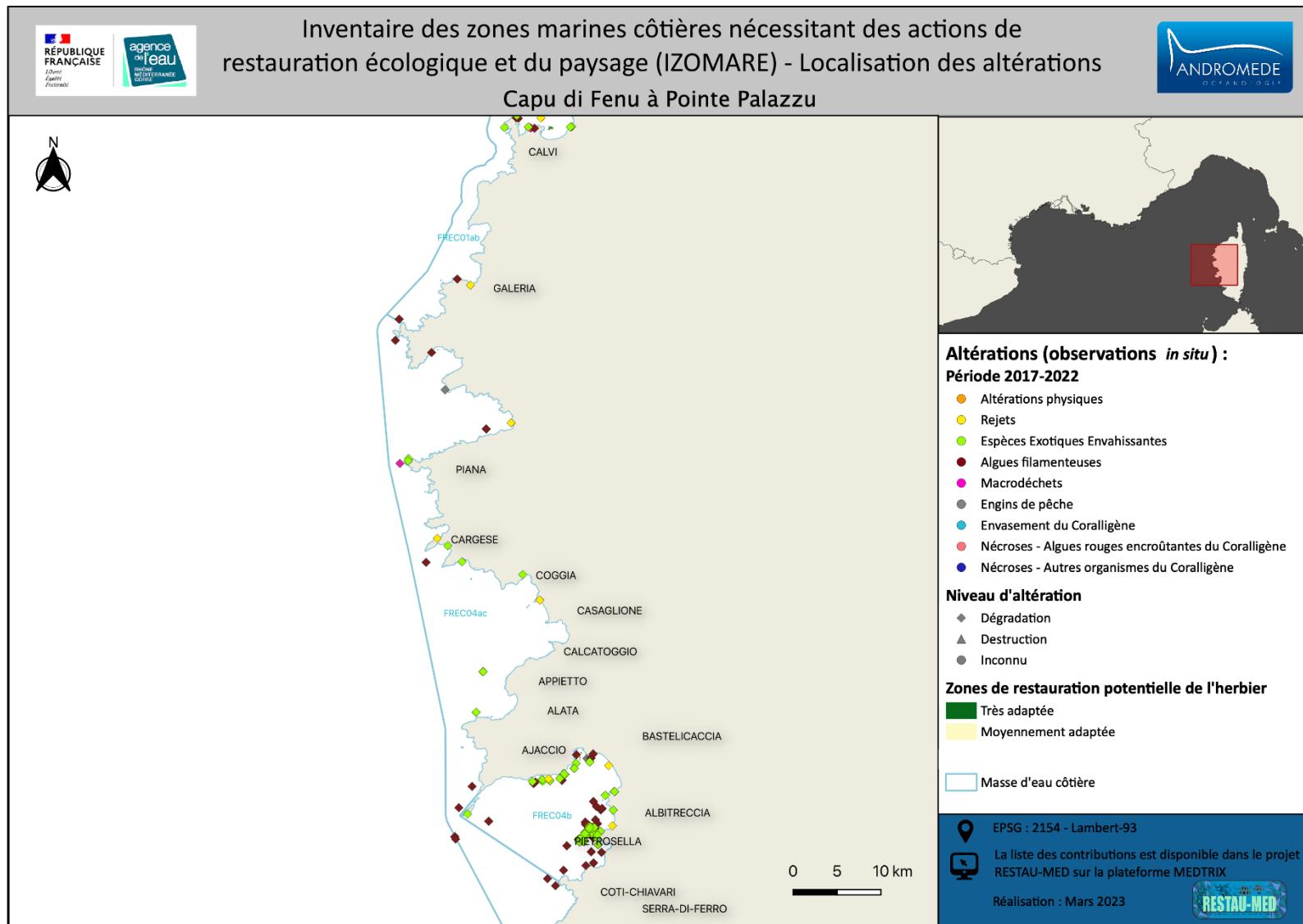


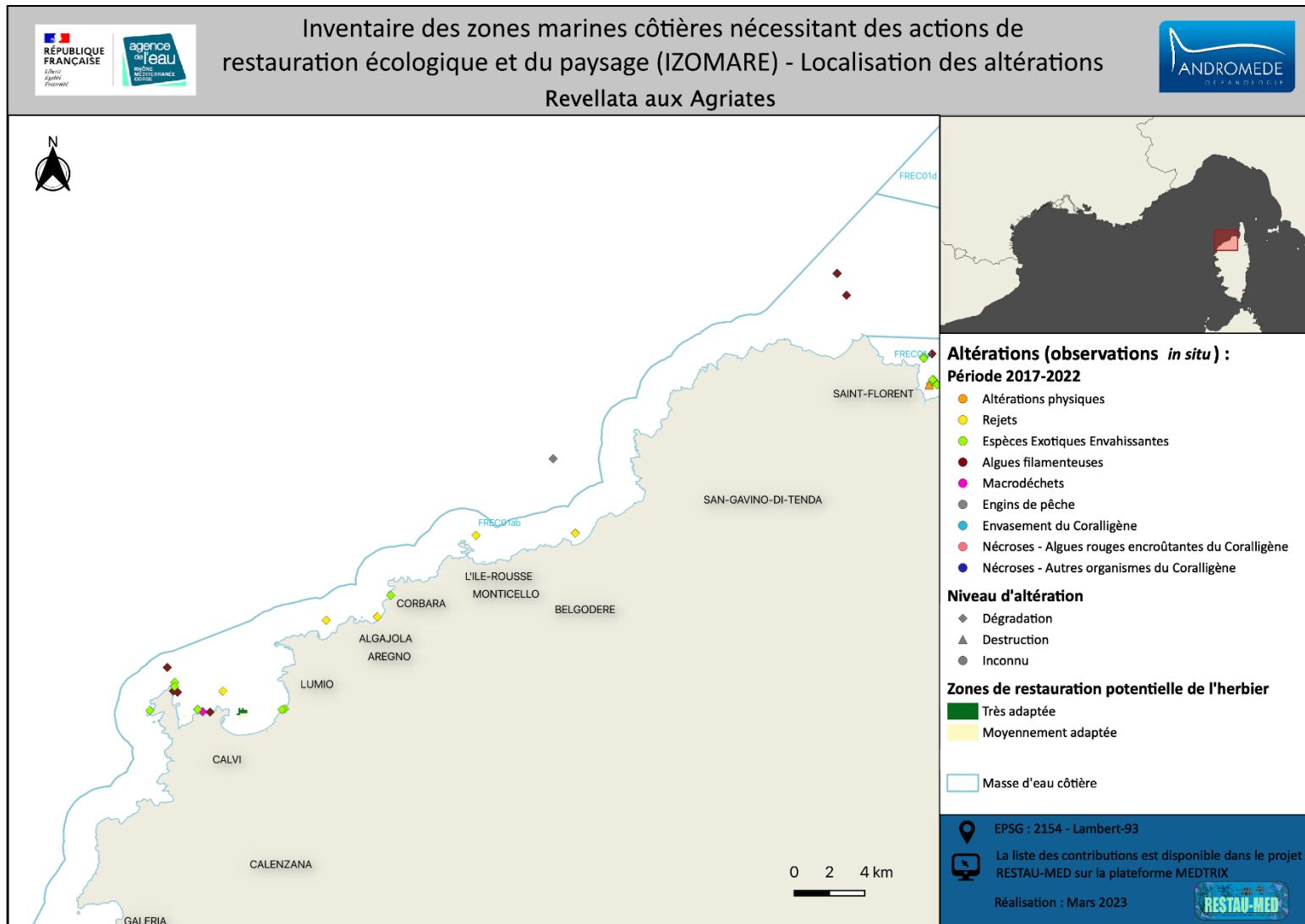












V. Propositions d'aides au rétablissement des écosystèmes altérés

Pour chaque altération, les **impacts/problèmes** qui en découlent pour les écosystèmes ont été énumérés (liste non exhaustive) dans le tableau suivant. Des propositions **d'actions** sont ensuite proposées pour remédier à ces problèmes. Les actions concernant **l'amélioration des connaissances** (travail de surveillance et remontée d'informations), la **prévention / sensibilisation** aux usagers, et la **lutte contre la pollution** ne sont pas intégrées dans ce tableau. Puis des **solutions** d'aide au rétablissement des écosystèmes sont présentées. Lorsque cela était possible, la **faisabilité** (technique et économique) a été qualifiée en l'état de nos connaissances actuelles. Pour chaque solution de restauration, des **exemples de projets identifiés dans l'axe 1** ont été ajoutés (numéro de la fiche de référence).

La **faisabilité technique** peut être qualifiée de différentes manières en fonction du contexte et des critères spécifiques pris en compte, comme par exemple l'étendue de la zone ciblée. Trois classes ont été définies :

Inconnue : une faisabilité technique inconnue indique que les résultats de la solution ne sont pas encore connus à ce jour mais que ceux-ci tendent à être évalués.

Moyenne : une faisabilité technique moyenne indique que la solution est susceptible de ne pas apporter les résultats de manière fiable dans des conditions difficiles ou avec des contraintes spécifiques.

Bonne : une faisabilité technique bonne indique que la solution est envisageable à court terme, que les résultats escomptés sont stables et efficaces en tenant compte néanmoins des différentes évolutions possibles en fonction des contraintes.

La faisabilité technique des solutions de restauration écologiques portant sur le repiquage d'herbier de posidonie peut être illustrée à travers les fiches-projets 7, 23, 24, 25, 27, 31, 36, 39, 40, 41, 42. Les résultats des actions comme la transplantation d'espèces érigées sont représentés dans les fiches-projets concernant la transplantation de gorgones ou corail rouge : fiches 13, 18, 19, 33 et 34 pour le corail rouge et fiches 1, 14, 15, 20, 35 et 37 pour les gorgones. Le nettoyage ou le désensevelissement présenté comme solution dans le cas d'altérations physiques ou de rejets est présenté à travers le projet RESCOR qui fait l'objet de la fiche 38. La faisabilité technique de solution comme la stabilisation et la restauration de sillons sableux peut être encore inconnue et faisant l'objet d'un projet en cours comme c'est le cas pour le projet REPAIR présenté dans la fiche 7.

La faisabilité économique des solutions de restauration écologique est difficile à évaluer et peut varier en fonction de la taille du projet, mais également de la localisation, des objectifs et des contraintes contextuelles. Ici, la faisabilité économique des solutions peut être qualifiée de trois manières différentes :

- € : L'action de restauration écologique varie de l'ordre de mille à quelques milliers d'euros par an
- €€ : L'action de restauration écologique varie de l'ordre de quelques milliers à quelques centaines de milliers d'euros par an
- €€€ : L'action de restauration écologique varie de l'ordre de quelques centaines de milliers d'euros à quelques millions d'euros par an

Tableau 7: Propositions d'actions d'aide au rétablissement des écosystèmes dégradés

Altérations recensées	Impacts/Problèmes qui en découlent pour les écosystèmes	Actions proposées pour remédier à ces problèmes	Solutions de restauration écologique existantes	Faisabilité technique	Faisabilité économique	Exemple de fiches projet (axe 1)
Altérations physiques	Arrachage de faisceaux/mottes d'herbiers (posidonie, cymodocées, zostères) (traces de mouillage) et espèces érigées (gorgones, bryozoaires...)	Mise à jour des données réglementaires et accessibilité pour les usagers (via DONIA, MEDTRIX par exemple)	Restauration active des herbiers endommagés ou recolonisation assistée	Bonne	€€ - €€€	[23], [24], [25], [27], [31], [36], [39], [40], [41], [42]
	Réduction de la surface d'habitats (structures artificielles - câble, canalisation, ...)	Augmentation du nombre et de la surface des Aires Marines Protégées (AMPs)	Stabilisation et restauration des sillons sableux	Inconnue	€€ - €€€	[7]
	Destruction directe d'habitats sensibles (herbiers marins (zostères, cymodocées, posidonie), récifs coralligènes, matte morte) (structures artificielles - câble, canalisation, ...)	Gestion du mouillage de la petite plaisance	Écoconception des structures artificielles et/ou habillage améliorant l'intégration paysagère et écologique	Bonne	€€ - €€€	
	Désolidarisation de la matte de posidonie	Études et création de nouvelles zones de mouillages réglementées (ZMEL, ZIEM)	Transplantation d'espèces érigées (gorgones, corail rouge) si structure artificielle enlevée	Bonne	€€ - €€€	[1], [14], [15], [13], [18], [19], [20], [28], [33], [34], [35], [37]
	Dégénération de l'état des habitats sensibles (enfouissement, arrachage d'espèces, blessures)	Contrôle des lieux de chalutage et de mouillage de la grande plaisance (>24 m)	Nettoyage et/ou désenfouissement	Bonne	€€	[38]
		Enlèvement des structures artificielles (câble, canalisation, conduite, ...)	Installation de récifs/nurseries pour retrouver les fonctions d'habitats			
Rejets	Destruction d'habitats et de fonction écologique au droit des rejets	Restauration écologique	Transplantation d'espèces (gorgones, corail rouge, cystoseires) si la pression a été maîtrisée (qualité de l'eau bonne)	Bonne	€€ - €€€	[1], [14], [15], [20], [35], [37], [13], [18], [19], [28], [33], [34]
	Modification du milieu pouvant entraîner la destruction de l'habitat, une altération de sa complexité structurale et/ou de sa biodiversité associée (modification de la salinité, pH, matière en suspension, sédimentation, pollution biologique, pollution chimique)		Nettoyage (désensevelissement), enlèvement éventuel de la couche polluée	Bonne	€€	[38]
	Destruction ou déplacement de la biocénose/espèces associées et/ou remise en		Repiquage d'herbiers si la pression a été maîtrisée (qualité de l'eau bonne)	Bonne	€€ - €€€	[23], [24], [25], [27], [31], [36], [39], [40], [41], [42]

	suspension de sédiments lors des travaux de pose de la conduite					
Espèces Exotiques Envahissantes (EEE)	Modification du fonctionnement des écosystèmes	Gestion du mouillage de la petite plaisance	Installation de récifs/nurseries pour retrouver les fonctions d'habitats	Bonne	€€ - €€€	
	Compétition avec les espèces indigènes	Mise en place de mesures de protection pour rétablir l'équilibre écosystémique (restauration passive)	Éradication manuelle (arrachage ou recouvrement)	Moyenne	€	
	Homogénéisation des fonds	Restauration écologique	Repiquage éventuel d'herbier	Bonne	€€ - €€€	[23], [24], [25], [27], [31], [36], [39], [40], [41], [42]
	Déséquilibre faunistique et floristique		Chasse ciblée si l'espèce le permet (exemple : poissons lions)	Inconnue		
	Surmortalité de certaines espèces (prédation, maladie)		Transplantation d'espèces (une fois la menace éradiquée)	Bonne	€€ - €€€	[1], [14], [15], [13], [18], [19], [20], [28], [33], [34], [35], [37]
Algues filamentueuses	Recouvrement des fonds, de la faune et la flore benthique	Restauration écologique	Enlèvement ciblé éventuel (si zone prioritaire et sensible)	Moyenne	€€	
	Nécrose ou mort d'espèces	Réduction des sources de fertilisants et des pollutions organiques à la mer	Repiquage et/ou ensemencement d'espèces à recrutement difficile (faible distance) et/ou longévives	Moyenne	€€ - €€€	[1], [14], [15], [13], [18], [19], [20], [28], [33], [34], [35], [37]
	Augmentation de la sédimentation					
	Réduction des surfaces de vie disponibles					
	Déséquilibre faunistique et floristique					
	Modification ou perte de la fonction d'habitat (zone de recrutement, nutrition, ...)					
Envasement du coralligène	Recouvrement des espèces pouvant entraîner nécroses et/ou mort	Restauration écologique et suivi temporel des communautés	Nettoyage/désensevelissement des récifs coralligènes	Bonne	€€	[38]
	Réduction des surfaces de vie disponibles		Transplantation d'espèces (gorgones, corail rouge, cystoseires) si la pression a été maîtrisée	Bonne	€€ - €€€	[1], [14], [15], [13], [18], [19], [20], [28], [33], [34], [35], [37]

	Modification ou perte de la fonction d'habitat (zone de recrutement, nutrition, ...)		Installation de récifs/nurseries pour retrouver les fonctions d'habitats	Bonne	€€ -€€€	[5]
Nécrose du coralligène (algues rouges encroûtantes et autres organismes)	Morbidité et mortalité d'espèces	Moyens de lutte contre les altérations physiques qui peuvent favoriser les nécroses	Transplantation d'espèces si la pression a été maîtrisée	Bonne	€€ -€€€	[1], [14], [15], [13], [18], [19], [20], [28], [33], [34], [35], [37]
	Modification ou perte de la fonction d'habitat (zone de recrutement, nutrition, ...)	Restauration écologique				
Macrodéchets	Destruction directe d'habitats sensibles (herbiers marins (zostères, cymodocées, posidonie), récifs coralligènes, matte morte) par les gros macrodéchets	Installation de filets anti macrodéchets aux sorties d'émissaires, buses, canalisations et avaloirs	Repiquage éventuel d'herbier sur la zone impactée par le macrodéchet	Bonne	€€ - €€€	[23], [24], [25], [27], [31], [36], [39], [40], [41], [42]
	Ragage et/ou recouvrement du fond par les gros macrodéchets, entraînant la destruction d'espèces	Enlèvement du macrodéchet et mise en centre de valorisation (utilisation d'engins de nettoyage non mécanisés)	Transplantation d'espèces	Bonne	€€ -€€€	[1], [14], [15], [13], [18], [19], [20], [28], [33], [34], [35], [37]
	Fragmentation des macrodéchets (pollution invisible, contamination de sédiments, individus, chaîne alimentaire)	Amélioration de la gestion des déchets	Nettoyage/désensevelissement si besoin	Bonne	€€	[38]
	Réduction significative des échanges gazeux à l'interface eau/sédiment	Restauration écologique				
	Transformations de paramètres physiques (interception lumineuse, modification micro-courants des fonds, création de substrats artificiels)					
	Ingestion des macrodéchets entraînant des dommages physiques au tube digestif et un dysfonctionnement de la digestion					
	Vecteurs d'introduction et d'impacts d'espèces non indigènes en permettant à des organismes d'atteindre des régions d'où ils ne sont pas autochtones.					
Engins de pêche perdus	Mortalité de la faune vagile, benthique et pélagique (pêche fantôme)	Enlèvement de l'engin de pêche	Nettoyage/désensevelissement d'herbiers ou de récifs coralligènes	Bonne	€€	[38]

	Mortalité et morbidité d'espèces érigées entraînant la réduction de la complexité des habitats et de la capacité d'accueil des écosystèmes	Gestion de la pêche (méthodes et zones)	Repiquage d'herbier sur la zone impactée par l'engin de pêche	Bonne	€€ - €€€	[23], [24], [25], [27], [31], [36], [39], [40], [41], [42]
	Déplacement du substrat, remise en suspension de sédiments pouvant provoquer des recouvrements d'espèces	Restauration écologique	Reconstitution de la strate haute par transplantation de grandes espèces érigées (éponges, grandes nacres, gorgones, bryozoaires, corail rouge) sur la zone impactée	Bonne	€€ - €€€	[1], [14], [15], [13], [18], [19], [20], [28], [33], [34], [35], [37]
	Nécrose d'espèces (faune et flore)		Repiquage d'espèces à recrutement difficile (faible distance) et/ou longévives	Bonne	€€ - €€€	[23], [24], [25], [27], [31], [36], [39], [40], [41], [42]
	Modification des conditions d'éclairement					
	Contamination du sédiment et de la chaîne alimentaire (plomb, microplastique)					
Déclin surfacique d'Herbiers de Posidonie	Réduction et fragmentation de la surface d'habitats	Contrôle du respect de la réglementation	Repiquage d'herbier sur les zones impactées	Bonne	€€ - €€€	[23], [24], [25], [27], [31], [36], [39], [40], [41], [42]
	Perte d'habitat et dégradation des fonctions (nurserie, nourriture, ...)	Restauration écologique	Restauration de certaines fonctions (nurserie, habitat)	Bonne	€€ - €€€	[5]
	Perte de la complexité des habitats (uniformisation des fonds)					
Barren grounds (zone surpâturées par les oursins)	Uniformisation des fonds	Mise en place de mesures de protection pour rétablir l'équilibre écosystémique (restauration passive)	Éradication manuelle (déplacement et/ou enlèvement) par des plongeurs	Moyenne	€€ - €€€	[12]
	Perte de la complexité des habitats	Restauration écologique	Repiquage éventuel d'herbier une fois que la pression a été diminuée	Bonne	€€ - €€€	[23], [24], [25], [27], [31], [36], [39], [40], [41], [42]
	Réduction des possibilités de recrutement (surpâturage)		Ensemencement et amélioration du recrutement (macro-algues)	Bonne	€€ - €€€	[3], [4], [5], [11], [32]
			Réintroduction d'espèces (prédateurs) si disparus	Moyenne	€€ - €€€	

VI. Conclusion

Perte d'habitats et des fonctions écologiques qu'ils assurent, déclin de la biodiversité par destruction des espèces et disparition de leurs habitats, changements climatiques alimentant et alimentés par la perte de fonctionnalité des écosystèmes... Les activités humaines provoquent un effondrement de la biodiversité sans précédent, renforcé par les bouleversements climatiques dont elles sont aussi la cause. La dégradation des équilibres écologiques et climatiques convertit des cycles de rétroactions positives en cercle vicieux accélérant ces phénomènes. Le maintien ou le rétablissement d'écosystèmes intègres et fonctionnels est un enjeu majeur, non seulement au regard de la valeur intrinsèque de la biodiversité mais également pour le maintien des services écosystémiques rendus par les écosystèmes. Ainsi, la restauration est considérée comme une stratégie efficace pour compléter les actions actuelles de conservation et de gestion, lorsque le rétablissement naturel des écosystèmes est peu probable ou trop lent.

La restauration écologique a été définie par la SER (Society of Ecological Restoration) en 2004, comme étant le processus d'aide au rétablissement d'un écosystème ayant été dégradé, endommagé ou détruit. Elle peut également être définie comme « une action sur l'habitat marin, la faune ou la flore permettant d'améliorer l'état ou bien le fonctionnement écologique, dans une zone littorale où la qualité de l'eau est bonne et où les pressions à l'origine de la dégradation ont disparu ou sont maîtrisées » (Agence de l'eau, 2014).

La première étape est toujours de diminuer les pressions à l'origine de la dégradation afin de limiter les impacts/problèmes identifiés pouvant entraîner plusieurs altérations différentes. Pour ce faire, une bonne connaissance des écosystèmes marins et leur observation constante apparaît comme un besoin grandissant dans une stratégie de recherche sur les processus engendrant ces déclins. Le retour à l'état initial après l'altération, d'un habitat ou d'une espèce de manière naturelle n'est pas toujours facile. C'est pourquoi, une adaptation des méthodes de gestion et de conservation couplée à la mise en place d'outils pour la restauration écologique paraît comme une solution de résilience.

Le projet IZOMARE a permis de dresser un état des lieux très complet en termes de restauration écologique et du paysage. Grâce à une importante recherche bibliographique, des fiches synthétiques présentant **42 projets** de restauration ciblant dix espèces / habitats différents principalement localisés en Méditerranée ont été créées. Tous ces projets ont montré que des **solutions opérationnelles existent avec des résultats prometteurs**.

Dans un second temps, le projet IZOMARE a permis **d'identifier les zones marines côtières nécessitant des actions de restauration écologique et du paysage à travers un atlas localisant une dizaine d'altérations sur la façade méditerranéenne française**. Ce bilan, issu de la consultation d'acteurs du littoral, d'analyse de bases de données internes à Andromède Océanologie et de bases de données externes permettra de cibler les priorités en termes de restauration écologique et du paysage sur le littoral français mais aussi d'avoir une visibilité sur les besoins concernant les états de santé de certains milieux ou espèces. Les masses d'eau qui recensent le plus d'altérations sont ainsi le Golfe d'Ajaccio et la Plaine orientale à cause de la présence d'algues filamentueuses, et la pointe de la Galère au Cap d'Antibes à cause des altérations physiques.

Le projet IZOMARE a permis **l'identification de zones adaptées pour répondre à la nécessité de restaurer des herbiers de posidonie**. Cette analyse spatiale pourrait servir aux services de l'État, gestionnaires, financeurs et porteurs de projets pour orienter leurs actions dans certaines zones adaptées concernées par un réel gain écologique. En effet, les pratiques de restauration écologique sont de plus en plus envisagées pour aider à la récupération des écosystèmes endommagés. **La mise en perspective des coûts de restauration des herbiers de posidonie dans ces zones adaptées et des bénéfices financiers qui en découlent est un parfait exemple pour encourager et faciliter la mise en œuvre de projets de restauration sur le territoire**. Une seconde étude de cas a permis d'affiner les coûts et faisabilité autour de la restauration des récifs coralligènes.

Enfin, la proposition d'actions d'aide au rétablissement des écosystèmes a permis de porter à connaissance les outils existants en termes de solutions possibles aux problèmes engendrés par les altérations recensées dans l'axe 1.

Toutes ces données sont actuellement disponibles dans le projet RESTAU-MED sur la plateforme MEDTRIX et seront présentées en 2023 lors de réunions de façade organisées par les acteurs du littoral méditerranéen, ainsi

que lors de colloques sur la restauration écologique, tels que DRIVER. Elles pourront aussi servir à atteindre les résultats visés par le **Règlement pour la Restauration de la nature** (ou « Nature Restoration Law ») qui est en cours d'élaboration. L'ambition de ce Règlement est de restaurer le bon état des habitats et habitats d'espèces à l'échelle de l'ensemble des Etats Membres de l'Union Européenne. Pour réaliser cet objectif, ce texte imposera notamment d'ici 2050 la mise en œuvre de mesures de Restauration écologique sur la quasi-totalité des surfaces évaluées en mauvais état pour les habitats listés par le Règlement en Annexes I et II. Les Etats Membres devront justifier de l'efficacité de ces mesures pour amener ces surfaces vers le bon état. Ce Règlement vise également la non-dégradation des surfaces couvertes par les habitats listés, ainsi que l'atteinte d'une « qualité/quantité » suffisante pour les habitats des espèces listées dans la Directive Habitat Faune Flore (directive 92/43/CEE, « DHFF »), la Directive Oiseaux (directive 2009/147/CE, « DO ») et l'Annexe III du Règlement.

Afin qu'IZOMARE encourage et facilite la mise en œuvre de projets de restauration écologique et du paysage sur le littoral méditerranéen français, il serait intéressant d'illustrer la restauration d'écosystèmes dans une zone test, à l'échelle d'une baie ou d'un golfe par exemple. Ce travail consisterait à analyser toutes les altérations observées, à lister les actions de restauration possible pour chaque altération en lien avec les projets de l'axe 1 et à chiffrer ces actions et leur suivi scientifique.

VII. Bibliographie

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

Andromède Océanologie. 2022. Analyse environnementale des dispositifs de balisage réglementaires côtiers de la région Sud (phase 1). Contrat Andromède Océanologie / OFB. 54 pages.

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

Boissery, 2014. Restauration du milieu marin méditerranéen, état des travaux en cours et perspectives. Rapport Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 59 pages

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

Butchart, Stuart H. M., Matt Walpole, Ben Collen, Arco van Strien, Jörn P. W. Scharlemann, Rosamunde E. A. Almond, Jonathan E. M. Baillie, et al. 2010. « Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines ». *Science* 328 (5982): 1164-68. <https://doi.org/10.1126/science.1187512>.

Campagne, C. S., Salles, J. M., Boissery, P., & Deter, J. 2014. The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1–2), 391–400. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.061>

Cardinale, Bradley J., J. Emmett Duffy, Andrew Gonzalez, David U. Hooper, Charles Perrings, Patrick Venail, Anita Narwani, et al. 2012. « Biodiversity Loss and Its Impact on Humanity ». *Nature* 486 (7401): 59-67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>.

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

Direction interrégionale de la mer Méditerranée. 2019. Document stratégique pour la restauration écologique en Méditerranée. PAMM Méditerranée Occidentale. 56 pages.

Dobson, Andy P., A. D. Bradshaw, et A. J. M. Baker. 1997. « Hopes for the Future: Restoration Ecology and Conservation Biology ». *Science* 277 (5325): 515-22. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.515>.

Duarte, Carlos M., Angel Borja, Jacob Carstensen, Michael Elliott, Dorte Krause-Jensen, et Núria Marbà. 2015. « Paradigms in the Recovery of Estuarine and Coastal Ecosystems ». *Estuaries and Coasts* 38 (4): 1202-12. <https://doi.org/10.1007/s12237-013-9750-9>.

Elliott, Michael, Daryl Burdon, Krystal L. Hemingway, et Sabine E. Apitz. 2007. « Estuarine, Coastal and Marine Ecosystem Restoration: Confusing Management and Science – A Revision of Concepts ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 74 (3): 349-66. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.05.034>.

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



Gacia, Esperança, Carlos M. Duarte, et Jack J. Middelburg. 2002. « Carbon and Nutrient Deposition in a Mediterranean Seagrass (*Posidonia Oceanica*) Meadow ». *Limnology and Oceanography* 47 (1): 23-32. <https://doi.org/10.4319/lo.2002.47.1.0023>

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

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

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

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

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

Kennedy, Hilary, Jeff Beggins, Carlos M. Duarte, James W. Fourqurean, Marianne Holmer, Núria Marbà, et Jack J. Middelburg. 2010. « Seagrass Sediments as a Global Carbon Sink: Isotopic Constraints ». *Global Biogeochemical Cycles* 24 (4). <https://doi.org/10.1029/2010GB003848>.

Lenfant P., Gudefin A., Fonbonne S., Lecaillon G., Aronson J., Blin E., Lourie S.M., Boissery P., Loeuillard J.-L., Palmaro A., Herrouin G., Person J., 2015. Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée. Orientations et principes.

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

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

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

Monnier B., Pergent G., Mateo M.Á., Clabaut P., Pergent-Martini C. 2022. Quantification of blue carbon stocks associated with *Posidonia oceanica* seagrass meadows in Corsica (NW Mediterranean). *Science of The Total Environment*, 155864. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155864.

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



Pergent-Martini, Christine, Gérard Pergent, Briac Monnier, Charles-François Boudouresque, Christophe Mori, et Audrey Valette-Sansevin. 2021. « Contribution of Posidonia Oceanica Meadows in the Context of Climate Change Mitigation in the Mediterranean Sea ». *Marine Environmental Research* 165 (mars): 105236. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105236>.

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

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

Romero, J., M. Pérez, M. A. Mateo, et E. Sala. 1994. « The Belowground Organs of the Mediterranean Seagrass Posidonia Oceanica as a Biogeochemical Sink ». *Aquatic Botany* 47 (1): 13-19. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(94\)90044-2](https://doi.org/10.1016/0304-3770(94)90044-2).

Saunders, Megan I., Christopher Doropoulos, Elisa Bayraktarov, Russell C. Babcock, Daniel Gorman, Aaron M. Eger, Maria L. Vozzo, et al. 2020. « Bright Spots in Coastal Marine Ecosystem Restoration ». *Current Biology* 30 (24): R1500-1510. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.10.056>.

Stocker, Thomas F, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M B Tignor, Simon K Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, et Pauline M Midgley. s. d. « Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change », 109.

Suding, Katharine N. 2011. « Toward an Era of Restoration in Ecology: Successes, Failures, and Opportunities Ahead ». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 42 (1): 465-87. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145115>.

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



VIII. Annexes

I. Annexe 1 : Calcul des évolutions annuelles de la sédimentation et des nécroses du coralligène.

L'évolution annuelle de la sédimentation s'échelonne entre -19,1 et 9,6 %. Compte tenu de la forme de l'histogramme, nous avons considéré que les stations dont la valeur dépassait 2 % de sédimentation annuelle subissaient une forte pression de sédimentation (voir

Figure 10). Cela correspond à 20 stations dont le dernier suivi a été réalisé entre 2016 et 2022.

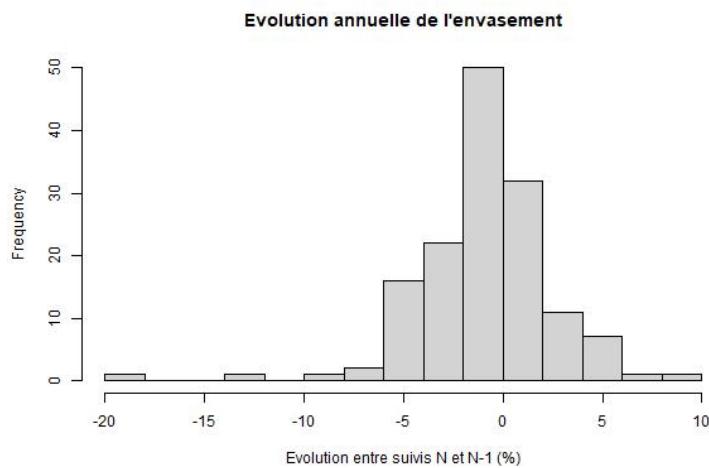


Figure 10 : Evolution annuelle de l'envasement entre les deux derniers suivis

L'évolution annuelle des nécroses des algues rouges encroûtantes s'échelonne entre -1,6 et 4,1 %. Compte tenu de la forme de l'histogramme, nous avons considéré que les stations dont la valeur dépassait 1 % d'augmentation annuelle subissaient une forte pression (voir



Figure 11). Cela correspond à 39 stations dont le dernier suivi a été réalisé entre 2018 et 2022.

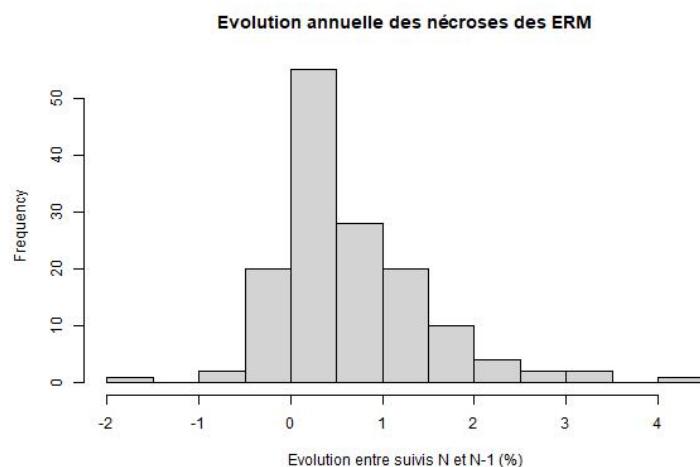


Figure 11 : Evolution annuelle des nécroses des algues rouges encroûtantes entre les deux derniers suivis

L'évolution annuelle des nécroses des autres organismes s'échelonne entre -0,52 et 0,35 %. Compte tenu de la forme de l'histogramme, nous avons considéré que les stations dont la valeur dépassait 0,05 % d'augmentation annuelle subissaient une forte pression (voir

Figure 12). Cela correspond à 7 stations dont le dernier suivi a été réalisé entre 2019 et 2022.

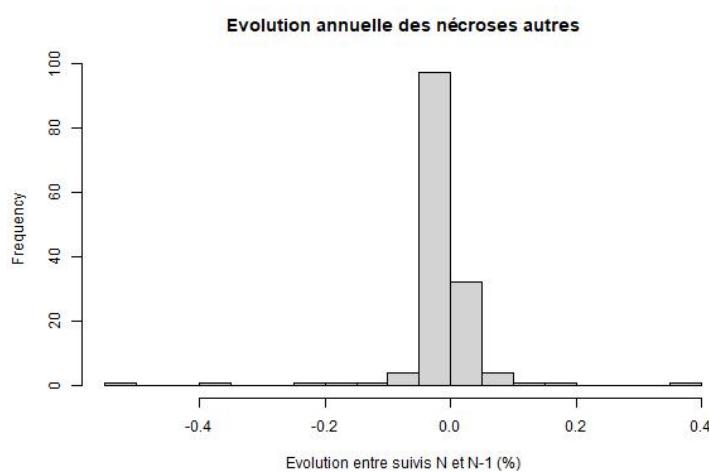


Figure 12 : Evolution annuelle des nécroses des autres organismes entre les deux derniers suivis

II. Annexe 2 : Tableau synthétique des fiches projets.

N° fiche	Titre fiche	Nom projet	Sous-titre	Espèce/habitat ciblé
1	Restauration de Gorgones	NA	Restaurer des gorgones arrachées	<i>Eunicella cavolini</i> <i>Eunicella singularis</i> <i>Paramuricea clavata</i>
2	Restauration de Cymodocées	NA	Transplantation mécanique de mottes	<i>Cymodocea nodosa</i>
3	Restauration de Cystoseires	Projet ReCyst	Ensemencement de bouquets de rameaux fertiles	<i>Erica amentacea</i>
4	Restauration de Cystoseires	Projet CYSTORE®	Ensemencement de bouquets de rameaux fertiles	<i>Erica amentacea</i>
5	Restauration de Cystoseires	Projet CIRCE (Conception et Immersion de Récifs artificiels pour la restauration des habitats à Cystoseires)	Conception de récifs artificiels et transplantation de cystoseires	<i>Erica amentacea</i>
6	Transplantation de Grandes Nacres	NA	La transplantation : une action de conservation de l'espèce ?	<i>Pinna nobilis</i>
7	Restauration de Posidonie	Projet REPAIR (REstoration of Anthropogenic PAtches in Posidonia oceanica meadows)	Restaurer des sillons d'herbier à partir de substrats artificiels biodégradables	<i>Posidonia oceanica</i>
8	Restauration d'herbiers	NA	Réimplantation de mottes et de rhizomes dans des étangs	<i>Ruppia cirrhosa</i> <i>Zostera noltii</i>
9	Restauration de Zostères	NA	Transplantation de mottes et de boutures de Zostères dans un étang	<i>Zostera noltii</i> <i>Zostera marina</i>
10	Transplantation de Grandes Nacres	NA	Déplacer des individus d'une zone impactée vers une zone protégée	<i>Pinna nobilis</i>
11	Transplantation de Cystoseires	Projet MERCES (Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas)	Végétalisation de barren grounds	<i>Gongolaria elegans</i>



12	Restauration de macroalgues	NA	Réduire la pression d'herbivorie par éradication manuelle	<i>Arbacia lixula</i> <i>Paracentrotus lividus</i>
13	Transplantation de Corail Rouge	Projet MESOMED	Transplantation des colonies dans une grotte sur des tuiles en PVC	<i>Corallium rubrum</i>
14	Transplantation de Gorgones Blanches	Projet MERCES (Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas)	Transplantation par la technique de la double branche	<i>Eunicella singularis</i>
15	Transplantation de Gorgones Rouges	Projet MERCES (Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas)	Restaurer des populations naturelles dégradées	<i>Paramuricea clavata</i>
16	Restauration de Grandes Nacres	Projet MERCES (Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas)	Translocation comme mesure de préservation	<i>Pinna nobilis</i>
17	Transplantation de Cymodocées	Projet MERCES (Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas)	Transplantation d'herbiers en pots	<i>Cymodocea nodosa</i>
18	Transplantation de Corail Rouge	NA	Test d'adaptation du Corail Rouge	<i>Corallium rubrum</i>
19	Restauration de Corail Rouge	NA	Évaluer le potentiel reproductif du corail rouge	<i>Corallium rubrum</i>
20	Restauration de Gorgones Jaunes	NA	Restauration d'une population de Gorgones jaunes	<i>Eunicella cavolini</i>
21	Transplantation de Grandes Nacres	NA	Replantation d'individus arrachés	<i>Pinna nobilis</i>
22	Restauration de Gorgones	NA	Restaurer des gorgones par élageage	<i>Ellisella paraplexauroides</i>
23	Transplantation de Posidonie	NA	Transplantation sur substrats rocheux	<i>Posidonia oceanica</i>
24	Restauration de Posidonie	NA	Transplantation sur des géomatelas	<i>Posidonia oceanica</i>
25	Transplantation de Posidonie	NA	Transplantation sur des grilles de bambou	<i>Posidonia oceanica</i>



26	Restauration de laminaires	Projet MERCES (Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas)	Lutter contre les pertes des forêts de laminaires liées au surpâturage	<i>Laminaria hyperborea</i> <i>Saccharina latissima</i>
27	Transplantation de Posidonie	NA	Restaurer un herbier endommagé	<i>Posidonia oceanica</i>
28	Transplantation de Corail Rouge	NA	Transplantation de fragments en position dressée ou renversée	<i>Corallium rubrum</i>
29	Restauration de Zostères	NA	Dissémination de graines germées de Zostères à grande échelle	<i>Zostera marina</i>
30	Restauration de Zostères	NA	Transplantation de Zostères à l'aide d'agrafes	<i>Zostera marina</i>
31	Transplantation de Posidonie	Projet REPIC (Restaurer la Posidonie Impactée par les anCres)	Restaurer des zones impactées par l'ancre	<i>Posidonia oceanica</i>
33	Restauration de Corail Rouge et de Gorgone	Projet TRANSCOR	Transplantation in situ sur leur habitat initial	<i>Corallium rubrum</i> <i>Paramuricea clavata</i>
32	Restauration de Cystoseires	NA	Récolte de rameaux fertiles	<i>Gongolaria barbata</i>
34	Restauration de Corail Rouge et de Gorgone	TRANSCOR	Transplantations à profondeurs croisées	<i>Corallium rubrum</i> <i>Paramuricea clavata</i>
35	Restauration de Corail Rouge et de Gorgone	TRANSCOR	Transplantations inter-sites à profondeur constante	<i>Paramuricea clavata</i>
36	Transplantation de Posidonie	Projet RenforC	Renforcement des puits de carbone en milieu marin	<i>Posidonia oceanica</i>
37	Restauration de Gorgones	NA	Transplantation de quatre espèces de gorgones sur des cadres	<i>Paramuricea clavata</i> <i>Eunicella cavolini</i> <i>Eunicella singularis</i> <i>Eunicella verrucosa</i>
38	Restauration de récifs coralligènes	Projet RESCOR	Nettoyage par jet d'eau	Récifs coralligènes
39	Restauration de Posidonie	Projet MARINE HAZARD	Évaluation sur le long terme d'une transplantation de boutures	<i>Posidonia oceanica</i>



40	Restauration de Posidonie	NA	Germination de graines en laboratoire et transplantation de plantules	<i>Posidonia oceanica</i>
41	Transplantation de Posidonie	Projet LIFE SEPOSSO	Déplacement de mottes comme action de conservation	<i>Posidonia oceanica</i>
42	Restauration de Posidonie	Projet LIFE SEPOSSO	Évaluation sur le long terme d'une transplantation de boutures	<i>Posidonia oceanica</i>



III. Annexe 3 : Nombre total de structures contactées et ayant répondu en fonction de leur type.

Type de structure	Nombre contactées	Nombre de réponses
Commune	202	111
Communauté de commune	3	3
Communauté d'agglomération	20	9
Métropole	7	3
Département	6	4
Région	1	1
Services de l'État	27	13
Établissements publics	14	10
Gestionnaires d'espaces naturels	38	22
Unités de recherche	10	8
Associations	8	3
Entreprises	6	3
Total	342	190



IV. Annexe 4 : Liste des personnes et/ou structures ayant répondu à nos sollicitations dans le cadre de l'axe 2.

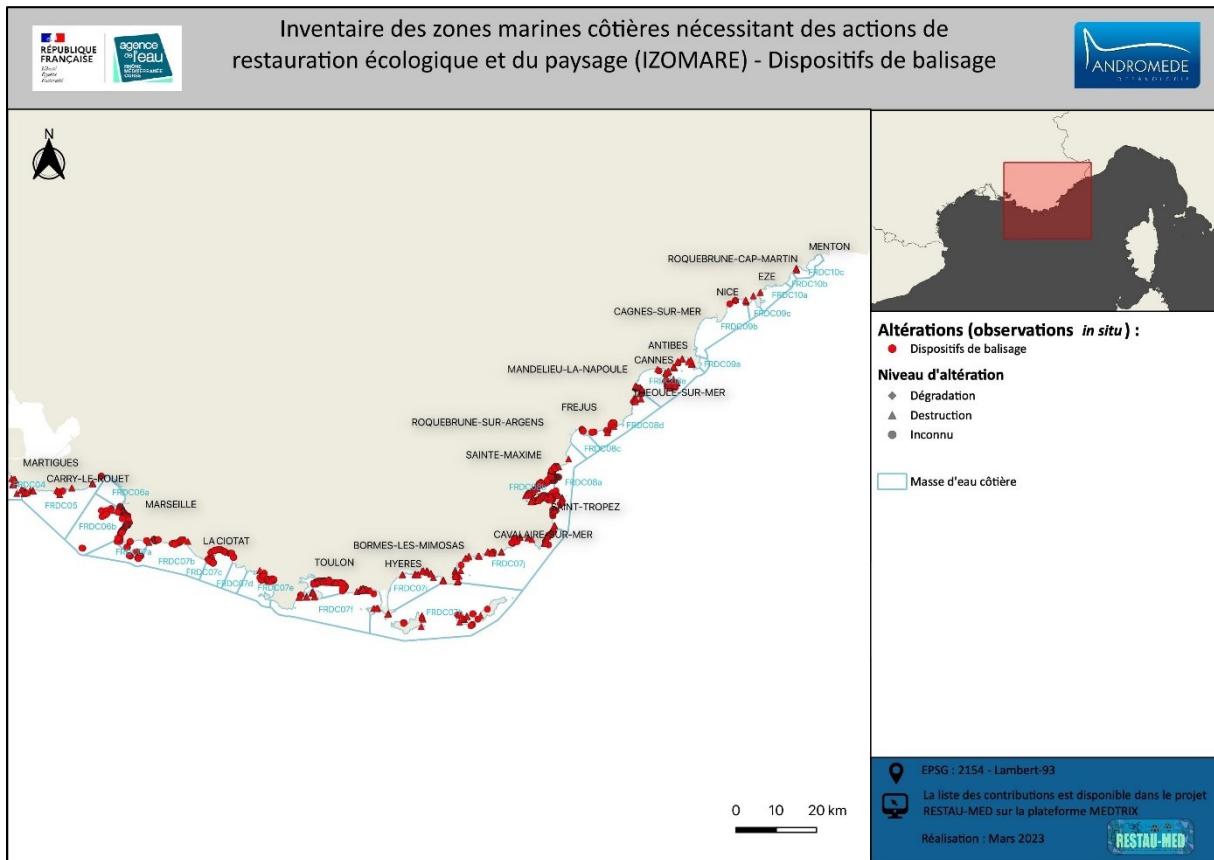
Personnes	Structures
Thierry THIBAUT	Institut Méditerranéen d'Océanologie
Pascal BIETTA	Parc Maritime Départemental de Théoule-sur-Mer
Michael HEBERT	Commune de Villeneuve-Loubet
Gaelle BERTHAUD	CEREMA
Jean-Philippe MORIN	Communauté de commune du Golfe de Saint-Tropez
Benjamin CADVILLE	Parc Naturel Marin de la Côte Bleue
Benjamin CADVILLE	Commune de Carry-le-Rouet
Benjamin CADVILLE	Commune de Ensues-la-Redonne
Benjamin CADVILLE	Commune du Rove
Benjamin CADVILLE	Commune de Martigues
Laurent LOUBRIEU	Commune de Saint-Cyr-sur-Mer
Frédéric GERBIER	Commune de Valras-Plage
Emmanuelle JEAN	Parc Naturel Marin du Golfe du Lion
Fabrice JAVEL	SUEZ
Sandrine RUITTON	Institut Méditerranéen d'Océanologie
Lucas BERENGER	BIOTOPE
Christine PERGENT	Università di Corsica Pasquale Paoli
Philippe LENFANT	Université de Perpignan
Virginie HARTMANN	Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls
Kevin PEACOCK	CASA
Hélène BILL	Commune de La Garde
Michel DELAUGERRE	Conservatoire du littoral Corse
Jean-Christophe MARTIN	CARF
Delphine MAROBIN	Parc Naturel Régional de Camargue
Esther EMMANUELLI	CPIE Bassin de Thau
Lisa DOSSMANN	Communauté d'agglomération du Pays de l'Or
Ryan AUBARD	Commune de Saint-Mandrier-sur-Mer
Sophie SEJALON	Conservatoire du littoral PACA
Fabrice GARCIA	Commune de Marseillan
Marianne GARDE	CCI Var
Alain BERGE	Réserve Naturelle Nationale Sainte-Lucie
Alexandra AGOSTINI	Office de l'Environnement Corse (OEC)
Alexandra AGOSTINI	Collectivité de Corse
Julia TOSCANO	Communauté d'agglomération Estérel Côte d'Azur
Coralie MEINESZ	Métropole Nice Côte d'Azur
Renaud DUPUY	Commune d'Agde
Renaud DUPUY	Réserve Marine du Roc de Brescou
Mélissa TROUGAN	Commune d'Agde
Cécile MARGAIL	Commune de Torreilles
Ronan RIVOAL	Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls
Laëtitia DELSEMME	Commune de Grimaud
Rémy SIMIDE	Institut Océanographique Paul Ricard
Robert BUNET	Institut Océanographique Paul Ricard
Sylvain PIOCH	Institut Océanographique Paul Ricard
Ingrid PICARD	P2A
Philippe MANNY	Commune de La Ciotat
Charles-Henri BIANCONI	Commune de Pianottoli-Caldarello
Jean-Baptiste GAUBERT	Commune de Gruissan
Sylvie DUMONT	Commune de Sérignan
Valérie EMPHOUX	CASA
Camille MARCELLIN	Commune de Vallauris
Mairie	Commune de Venzolasca
Service des ports	Commune de Vallauris
Mairie	Penta-di-Casinca
Laure VERNEYRE	OFB (DFM)



Mireille BONCOMPAGNI	Commune d'Olmeta-di-Capocorso
Marine NIRONI	Commune du Pradet
Anne-Marie MARC	DREAL Corse
Peggy SARGIAN	OFB (DFM)
Frédéric CADENE	Conseil départemental 66
Carole LEMARCIS	Commune de Port-Vendres
Gérard CARRODANO	Prud'homie de La Ciotat
Laurent BENAU	Parc Naturel Régional de la Narbonnaise
Isabelle MONVILLE	SMIAGE Maralpin
Isabelle CAMBIEN	Commune de Menton
Isabelle CAMBIEN	Commune de Roquebrune-Cap-Martin
Christophe DUFAUR	Commune de La Ciotat
Céline MOQUET	Commune de Toulon
Mairie	Commune de Villanova
Mairie	Commune de Palasca
Christelle CAZENAVE	Commune de Menton
Gilles GARIN	Commune de Sainte-Maxime
Alexis VILLEMIN	Métropole Toulon Provence Méditerranée
Franck ALARY	Parc National de Port-Cros
Mairie	Commune de Farinole
Brigitte FAURE	Commune de la Seyne-sur-Mer
Magali DUPETIT	Communauté d'Agglomération Cannes Pays de Lérins
Nathalie BEAU	Métropole Nice Côte d'Azur
Valérie LE BRAS	Métropole Nice Côte d'Azur
Yann STREBLER	Département 06
Florence AYMARD	Commune de Gassin
Thomas HINDERYCKX	Association Pontos Marine
Pauline HEROUD	Métropole Nice Côte d'Azur
Serge LOTTO	CASA
Laetitia BOUZER	DMLC/DIR
Mondy LAIGLE	Association Gestion RCMP (34)
Arnaud BOULENGER	STARESO
Elodie PELISSIER	Commune de La-Croix-Valmer
Mairie	Commune de San Gavino di Tenda
Marion BRICHET	DIRM MED
Sophie CAPLANNE	DREAL PACA
Lorène LAVABRE	DDTM 06
Pierre Yves HARDY	WWF
Emeline VANPEPERSTRAEDE	Région Occitanie
Nathalie PAOLI-LECA	OEC
Camille CAMPEON	DREAL PACA
Frédéric VILLERS	OFB
Camille PFLEGER	Syndicat Mixte du Bassin de Thau
Alice GOZERH	Conservatoire du littoral
Alexis ULRICH	Région Sud
Marie LAMAZE-GALLO	Commune de Saint-Cyr-sur-Mer
Mairie	Commune d'Alata
Mairie	Commune Banyuls-sur-Mer
Laboratoire Arago	Observatoire Océanologique de Banyuls-sur-Mer
Mairie	Commune de Zonza
Paule ZUCCONI	Commune de Six-Fours-les-Plages
Olivier TAVAGNUTTI	Commune de Narbonne
Mairie	Commune de Villeneuve-lès-Maguelone
Mairie	Commune de Ville-di-Pietrabugno
Port	Commune de Canet-en-Roussillon



V. Annexe 5 : Carte des dispositifs de balisage



Contact

7, place Cassan – Carnon Plage

34 130 Mauguio - France

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

www.andromede-ocean.com

