



HAL
open science

Guide d'ingénierie écologique : la réparation des récifs coralliens et des écosystèmes associés

Aurore Léocadie, Sylvain Pioch, Mathieu Pinault

► To cite this version:

Aurore Léocadie, Sylvain Pioch, Mathieu Pinault. Guide d'ingénierie écologique : la réparation des récifs coralliens et des écosystèmes associés. 2019, 978-2-11-155884-7. hal-04382268

HAL Id: hal-04382268

<https://hal.science/hal-04382268>

Submitted on 9 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IFRECOR

INITIATIVE FRANÇAISE
POUR LES RÉCIFS CORALLIENS

GUIDE D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE

LA RÉPARATION DES RÉCIFS CORALLIENS ET DES ÉCOSYSTÈMES ASSOCIÉS

Aurore LÉOCADIE
Sylvain PIOCH
Mathieu PINAULT

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ensemble des personnes ayant participé à la relecture et à l'amélioration de ce guide. Merci notamment à :

Catherine Gabrié

IFRECOR

c.gabrie@free.fr

Fanny Kerninon

Univ Brest, CNRS, IRD, Ifremer, LEMAR IUEM

fanny.kerninon@univ-brest.fr

Francis Staub

Biodiversité Conseil

fstaub@biodiv-conseil.fr

Rachel Bitoun

CREOCEAN

bitoun.rachel@hotmail.fr

Olivier Le Brun

CREOCEAN

lebrun@creocean.fr

Jimmy Le Bec

DEAL Guadeloupe

jimmy.le-bec@developpement-durable.gouv.fr

Bernard Salvat

Université de Perpignan

bsalvat@univ-perp.fr

Mélanie Herteman

Nature et Développement

mherteman.ecopro@gmail.com

Merci également à l'ensemble de l'équipe Écologie des Systèmes Anthropisés (ESA-CEFE), à Adrien Gallinaro, Julien Richard, Marie Zion, Laura Massinelli, Mathieu de Langlard.

Merci à la longue liste de personnes qui ont contribué à la relecture de cet ouvrage.

AUTEURS

Aurore Léocadie

(Université Paul Valéry- UMR CEFE)

auroreleocadie@gmail.com

Sylvain Pioch

Université Paul Valéry- UMR CEFE

sylvain.pioch@univ-montp3.fr

Mathieu Pinault

MAREX, Université de la Réunion - UMR ENTROPY

math.pinault@gmail.com

ÉDITION

©IFRECOR-Novembre 2019

N°ISBN 978-2-11-155884-7

MAQUETTAGE ET CRÉATION GRAPHIQUE

© Anastasia PRADARELLI

anastasia.pradarelli@gmail.com

À CITER SOUS LA FORME

LÉOCADIE, A., PIOCH, S., PINAULT, M. (2020). Guide d'Ingénierie Écologique : La réparation des récifs coralliens et des écosystèmes associés. Édition IFRECOR. 114p

TABLE DES MATIÈRES

P. 4 - 9	1 OBJECTIFS DU GUIDE
P. 6 - 7	Définitions de l'Ingénierie Écologique et de la réparation écologique
P. 8 - 9	Pourquoi réparer ? Comment ?
P. 10 - 13	2 CADRE RÉGLEMENTAIRE LIÉ À LA COMPENSATION DES IMPACTS MARINS
P. 14 - 53	3 LES RÉCIFS CORALLIENS
P. 16 - 18	Les grands enjeux de la conservation des récifs coralliens
P. 19	Les rôles des récifs coralliens
P. 20	Quelles sont les menaces ?
P. 21 - 23	Quelles en sont les conséquences ?
P. 24 - 27	Les techniques de réparation écologique
P. 28 - 51	Fiches pratiques
P. 52	Conclusion sur les récifs coralliens
P. 54 - 69	4 LES HERBIERS
P. 56 - 57	Les grands enjeux de la conservation des herbiers
P. 58	Les rôles des herbiers
P. 59	Quelles sont les menaces ?
P. 60 - 64	Les techniques de réparation écologique
P. 66 - 68	Fiches pratiques
P. 69	Conclusion sur les herbiers
P. 70 - 97	5 LES MANGROVES
P. 72 - 73	Les grands enjeux de la conservation des mangroves
P. 74	Les rôles des mangroves
P. 75	Quelles sont les menaces ?
P. 76 - 80	Les techniques de réparation écologique
P. 81 - 95	Fiches pratiques
P. 96	Conclusion mangroves
P. 98 - 103	6 COÛT ET EFFICACITÉ DES TECHNIQUES D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE
P. 100	Coût et efficacité des techniques d'Ingénierie Écologique
P. 101	Récifs coralliens
P. 102	Herbiers
P. 103	Mangroves
P. 104 - 107	7 CONCLUSION
P. 108 - 112	Bibliographie
P. 113	Glossaire
P. 114	Acronymes



1

OBJECTIFS DU GUIDE

Cet ouvrage propose un inventaire des techniques d'Ingénierie Écologique (IE) déployées principalement en France, mais également à l'échelle mondiale. Il est consacré à la réparation des récifs coralliens et des écosystèmes qui leur sont associés : les herbiers et les mangroves. Il s'inscrit dans la continuité de deux précédents ouvrages IFRECOR : « La restauration récifale : guide pratique à l'usage des décideurs et aménageurs »¹ de Michel Porcher, Sandrine Job et Muriel Schrimm, publié en 2003, et « Restauration récifale : concepts et recommandations »² de Alasdair Edwards et Edgardo Gomez, publié en 2007. Cette actualisation a pour objectif d'aider les services instructeurs, les gestionnaires de milieux naturels, les maîtres d'ouvrages et les bureaux d'études à connaître les techniques et s'appuyer sur des données synthétiques pour proposer des solutions adaptées aux objectifs de réparation, des habitats ou des fonctions écologiques souhaitées.

DÉFINITION DE L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE ET DE LA RÉPARATION ÉCOLOGIQUE

L'IFRECOR³ (Initiative Française pour les Récifs CORalliens), créée en 1999, a pour but de gérer et protéger durablement les récifs coralliens et les écosystèmes qui leurs sont associés (herbiers marins et mangroves). Au fil des années, avec l'appui du ministère de l'écologie et du ministère chargé de l'Outre-mer, l'IFRECOR a su développer un véritable réseau au sein des collectivités territoriales. Afin de mener à bien ce projet, plusieurs partenariats ont vu le jour. Aujourd'hui, ils regroupent à la fois des bureaux d'études, des agences d'expertises, des gestionnaires d'Aires Marines Protégées (AMP), mais aussi des universitaires, des maîtres d'ouvrage, etc. **L'IFRECOR est devenue le premier réseau d'échanges entre les acteurs de l'environnement des Outre-mer français possédant des récifs coralliens.**

Les groupes de travail de l'IFRECOR ont développé plusieurs axes afin d'atteindre leurs objectifs

de préservation et de gestion de ces écosystèmes. Ils souhaitent notamment induire auprès des élus, des administrations, des entreprises et de l'opinion publique une prise de conscience des enjeux socio-économiques et écologiques que procurent ces écosystèmes. Ils veulent aussi établir un réseau de surveillance de l'état des récifs coralliens français. Enfin, ils souhaitent contribuer à réduire les menaces liées à l'anthropisation.

Pour cela, ils ont développé l'outil **MERCI-Cor⁴** (Méthode pour Eviter, Réduire et Compenser les Impacts en zones Coralliennes), une méthode expérimentale de dimensionnement des mesures **Eviter, Réduire, Compenser (ERC)**. Celle-ci a pour objectif de dimensionner les pertes et les gains écologiques attendus sur les récifs coralliens, suite à la mise en œuvre de projets d'aménagement et des mesures compensatoires associées. **En complément de cette méthode un guide ad hoc relatif aux techniques d'Ingénierie Écologique (IE) était nécessaire.**

Ce guide est le fruit du travail collaboratif d'une communauté d'acteurs très actif dont l'objectif est le partage d'outils communs et actualisés autour de l'IE en milieu récifal afin de capitaliser les retours d'expérience (via la plateforme web : www.ifreco.com).

L'IE regroupe l'ensemble des techniques et des processus pour résoudre un problème socio-économique et/ou environnemental via l'utilisation d'organismes vivants ou d'autres matériaux d'origine biologique ou non (Moreno-Mateos et al., 2015 ; Pioch et al., 2018). **Quatre approches techniques peuvent être mobilisées : la restauration écologique, l'amélioration ou la réhabilitation écologique, la création et la protection (figure 1).**

Figure 1 Les différentes techniques d'ingénierie écologique



¹ Guide en ligne : <http://ifreco-doc.fr/items/show/1367>

² Guide en ligne : http://ccres.net/images/uploads/publications/5/reef_restoration_concepts_guidelines_french.pdf

³ Pour plus d'information : ifreco.com

⁴ Guide en ligne : <http://www.ifreco-doc.fr/items/show/1743>

⁵ Attention dans cet exemple de création, le milieu naturel d'accueil n'est pas dégradé, mais il ne présente que peu d'originalité/ de sensibilité/ d'intérêt patrimonial et écologique.

POURQUOI RÉPARER ?

Afin que ces techniques d'IE s'intègrent dans une démarche plus globale de réparation des écosystèmes dégradés, il est prioritaire d'agir en amont d'actions d'IE sur les sources des pressions entraînant des dégradations, directes ou indirectes. Sans cela l'efficacité des mesures mises en œuvre ne pourra être maintenue à long terme. D'après Elliott *et al.* (2007), cette approche définie comme « passive » doit être réalisée en amont des actions d'IE, dites « actives ». Cette approche « active » sera l'objet principal de ce guide. Signalons que dans le cadre des mesures de compensation, la réglementation impose une approche de restauration pour atteindre une équivalence avec le milieu détruit (« like for like »). En pratique cette équivalence « stricte » est très rarement atteinte (exactement toutes les espèces, tous les habitats et toutes les fonctions restaurés), ce qui n'empêche pas que la proximité écologique soit l'objectif du « nouvel écosystème » (figure 2). En général, seule une réparation partielle des écosystèmes dégradés est possible (Aronson et Morenos-Mateos, 2015). Ainsi, les utilisateurs de ce guide doivent prendre conscience que ces actions permettent d'aboutir à un nouvel écosystème, plus ou moins proche de l'état initial et non à un retour à l'écosystème de référence, en équivalence stricte (figure 2). Dans certains cas, la réalisation d'actions d'ingénierie écologique « bénéfiques » peut être instrumentalisée, afin de justifier de futures dégradations. Par exemple, si lors de travaux maritimes on réalise dans de mauvaises conditions une transplantation corallienne, les résultats attendus ne seront pas ceux espérés. En effet, ceci diminuerait l'intérêt écologique des récifs de la zone considérée et cela pourrait devenir une raison d'autorisation de destruction future (ou d'une faible réparation écologique) lors de nouveaux travaux d'extensions des ouvrages. D'où la nécessité de réaliser ces actions dans un cadre contrôlé : suivi, respect de la réglementation, évaluation de la performance *ex-ante* et *ex-post*, actions ou sanctions en cas d'échec (Boudouresque, 2001).

Les écosystèmes contribuent au bien-être de l'Homme, services écosystémiques (SE) (TEEB, 2010). Bien qu'anthropocentrés, les SE sont un excellent vecteur de communication vers les décideurs politiques et les citoyens. Les SE peuvent être rangés dans différentes catégories : les

services d'approvisionnement (la pêche), les services de régulation (les mangroves et les herbiers à magnétophytes marines participent à la séquestration du CO₂ atmosphérique) ou encore les services aux caractères culturels et sociaux (l'éco-tourisme)(TEEB, 2010 ; Pascal *et al.*, 2016).

C'est dans les milieux naturels marins côtiers que le rapport coût-bénéfice de la démarche de « réparer » la nature présente les plus grands intérêts (figure 3). En effet, dans le cas des écosystèmes côtiers, les bénéfices nets, estimés sur 40 ans après la réparation, sont cinq fois plus élevés que le coût initialement engendré (TEEB, 2009).

COMMENT ?

La réparation des écosystèmes est complexe et risquée, voire même difficilement prévisible sur le long terme (Chipeaux *et al.*, 2016). D'après Clewell et Aronson (2013), c'est une tâche qui demande de la patience et même une forme de dévouement de la part des opérateurs et des gestionnaires. Planifier un projet de réparation nécessite la prise en compte de plusieurs facteurs. **Tout d'abord, il s'agit d'énoncer précisément les objectifs du projet de réparation, puis d'évaluer leur faisabilité technique et les moyens humains et budgétaires nécessaires à leur mise en place.** Afin d'obtenir une gestion efficace à long terme du site réparé, les différentes stratégies pour y parvenir doivent être discutées et communiquées avec l'ensemble des acteurs des territoires concernés (SER, 2004). **Dans ce secteur, comme dans de nombreux autres liés à la gestion de l'environnement, la concertation et l'empathie sont les clés de la réussite, mais sont souvent négligées.**



Figure 2 De la lutte passive contre les pressions à la réparation active des écosystèmes, les deux temps hiérarchisés visant la réparation des écosystèmes. *NB* : schéma d'un point de vue anthropocentré, ne considère pas les pressions naturelles qui peuvent s'exercer sur le milieu (D'après Léocadie et Pioch, 2017)

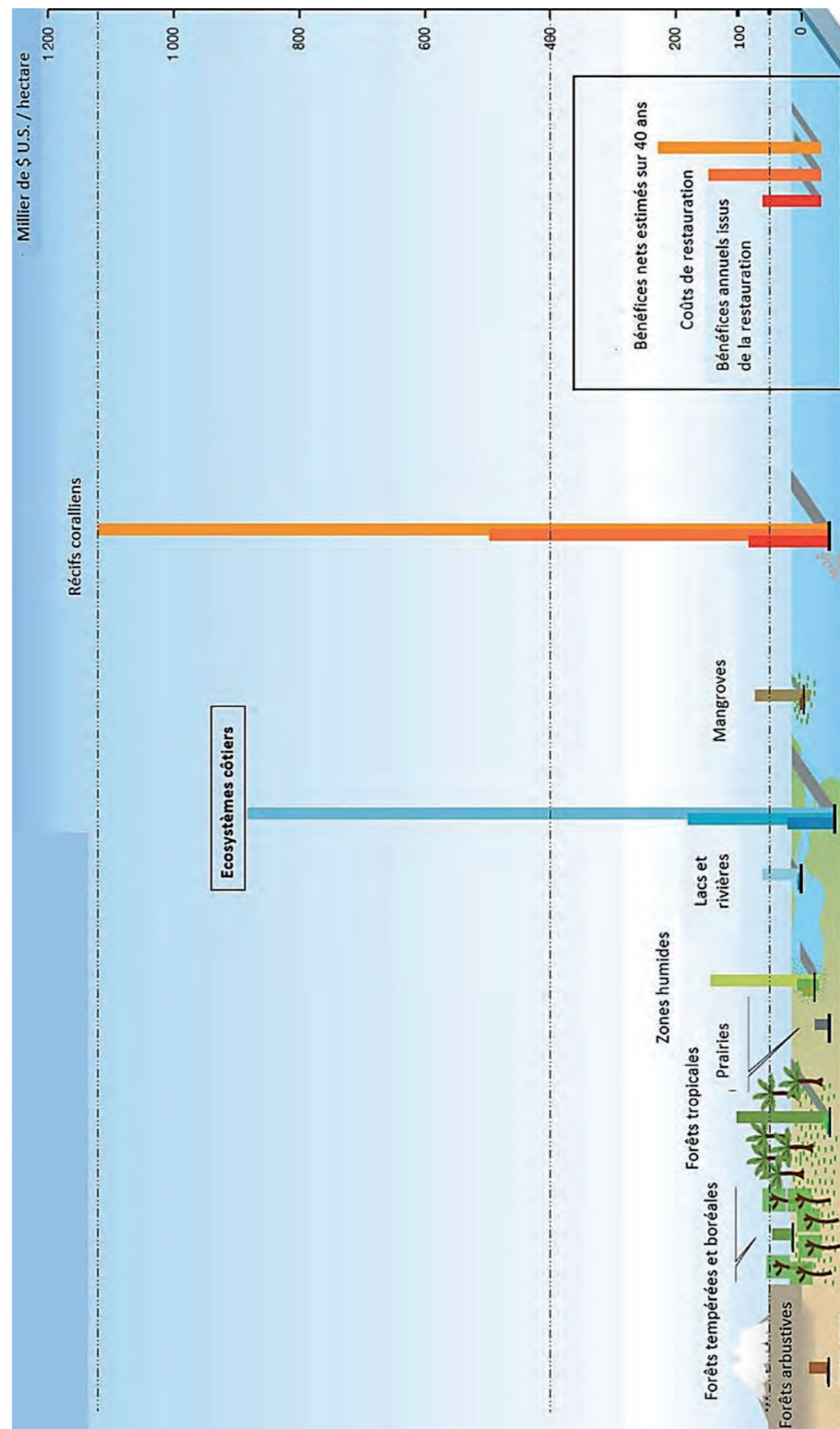


Figure 3 Évaluation des coûts et bénéfices monétarisés de la restauration écologique des écosystèmes terrestres et côtiers (Pioch - adapté du TEEB, 2009)



2

CADRE RÉGLEMENTAIRE LIÉ À LA COMPENSATION DES IMPACTS EN MILIEU MARIN

Depuis les années 2010, l'État manifeste une volonté politique d'imposer la compensation écologique des impacts anthropiques. La Loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (n°2016-1087 du 8 août 2016) ou encore le Décret n°2016-1110 (11 août 2016) modifiant l'évaluation d'impact environnemental, réaffirment cette volonté. L'atteinte d'un objectif d'absence de perte de biodiversité sur les espèces, les habitats et les fonctions écologiques se traduit par une recherche d'équivalence entre pertes et gains issus de projets d'aménagements. Cette notion de compensation écologique suscite aussi un intérêt de la part de la communauté scientifique. D'après Dupont et Lucas (2017) elle soulève « des défis juridiques, scientifiques et pratiques ».

CADRE RÉGLEMENTAIRE LIÉ À LA COMPENSATION DES IMPACTS EN MILIEU MARIN

L'IE a connu un essor ces 20 dernières années avec l'augmentation des exigences vis-à-vis des mesures dites de compensation. La notion de compensation apparaît en France avec la Loi n° 76-629 du 10 juillet 1976, relative à la protection de la nature. Elle officialise trois étapes, « Éviter, Réduire, Compenser » (ERC), à appliquer pour tout projet pouvant avoir un impact néfaste sur l'environnement (Morandeau et Villaysack, 2012 ; Pioch, 2013). Cependant, ce n'est qu'à partir de 2005 que l'IE marine suscite un véritablement engouement, avec le renforcement de la réglementation relative à l'évaluation environnementale : l'extension des sites Natura 2000 en mer en 2005, la refonte du régime de déclaration et d'autorisation relatif

à la Loi sur l'eau n°2006-1772 en 2006 et le régime propre aux espèces protégées en 2007. Les Lois Grenelle I et II en 2009 et 2010, ainsi que la Loi de 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (Loi RBNP), ont permis de renforcer l'obligation d'appliquer la séquence ERC et de compenser les impacts résiduels significatifs¹. La Loi RBNP fixe l'objectif « d'absence de perte nette » en biodiversité (figure 4). À cela s'ajoutent les directives européennes (DCE et DCSMM²) de « Bon État Écologique » et de « réparation en mer » ainsi que la mise en place de financements publics importants³.

D'après le code de l'environnement Art. R. 122-13.-I. « Les mesures compensatoires ont pour objet d'apporter une contrepartie aux incidences négatives notables, directes ou indirectes, du projet sur l'environnement qui n'ont pu être évitées ou suffisamment réduites. Elles sont mises en œuvre en priorité sur le site affecté ou à proximité de celui-ci afin de garantir sa fonctionnalité de manière pérenne. Elles doivent permettre de conserver globalement et, si possible, d'améliorer la qualité environnementale des milieux ». Ces mesures interviennent lors de la réalisation de plans, de programmes et de projets ayant potentiellement des effets néfastes sur la nature (Borderon, 2014). Ces mesures s'inscrivent dans une approche de développement durable ayant un intérêt environnemental, social et écologique (MEDDTL, 2012). Il s'agit d'une action préventive qui évalue l'impact d'un projet sur l'environnement. À l'évidence, le niveau d'exigence de compensation est proportionnel aux impacts résiduels (i.e. après mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction).

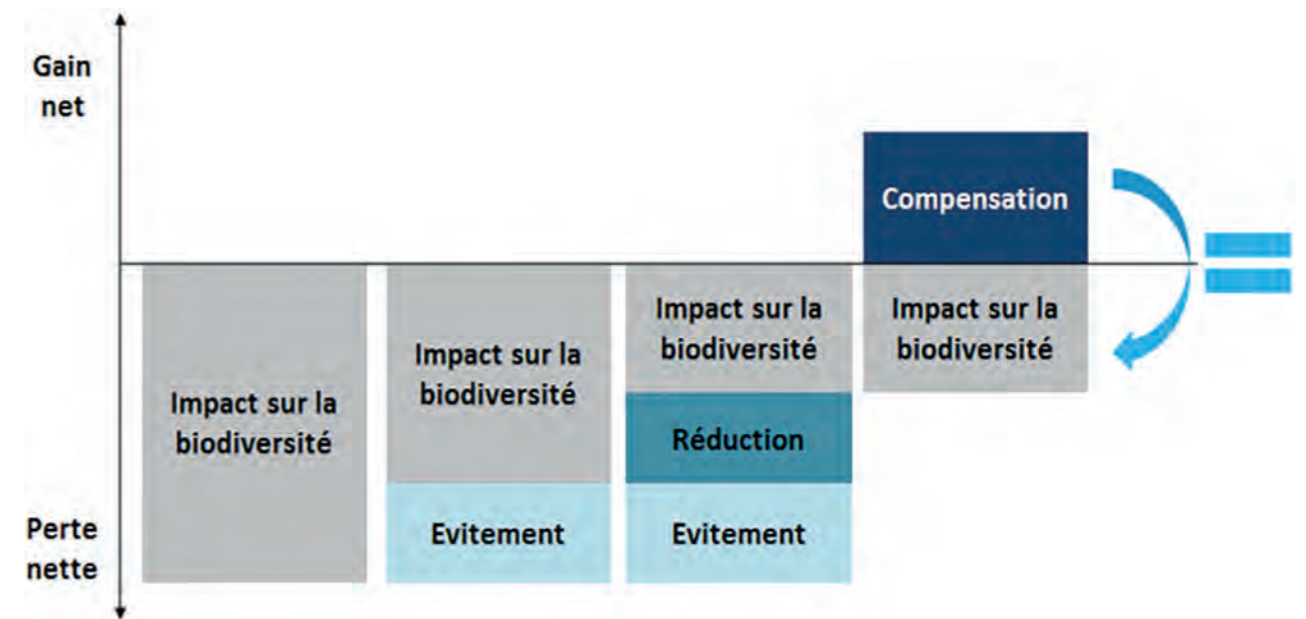


Figure 4 Schéma de la séquence Éviter, Réduire, Compenser les impacts sur la biodiversité (d'après A. Buffard, 2015)

Il existe trois catégories de dégradations pouvant nécessiter une action de réparation du milieu marin :

- ❶ Les dégradations autorisées, dont l'évaluation est dite « ex-ante »,
- ❷ Les dégradations non autorisées « avec auteur » identifiable,
- ❸ Les dégradations non autorisées « sans auteur » identifiable.

L'évaluation de ces deux dernières dégradations est considérée par la suite comme « ex-post ». On aura donc deux types de réparations :

- ❶ La réparation ex-ante, dans le cas d'une dégradation autorisée (soumise à autorisation au titre du code de l'environnement) au titre des mesures compensatoires dans le cadre de la séquence ERC (Lois n° 76-629 du 10 juillet 1976 et n° 2016-1087 du 8 août 2016 aux articles L. 110-1 et L. 163-1 du Code de l'environnement)
- ❷ La réparation ex-post, faisant l'objet d'une réparation au titre de la Loi sur la Responsabilité Environnementale (Loi LRE 2008-757)

L'objectif est de compenser les pertes biophysiques occasionnées à travers le respect de l'équivalence écologique (qualitative et quantitative). Le site de compensation doit donc être en proximité fonctionnelle, c'est à dire présentant les mêmes caractéristiques écologiques (ayant les mêmes fonctions, structures, compositions, etc.) que celui du site dégradé (Jacob et al., 2015).

¹ D'après la Loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages n°2016-1087 : « Ce principe implique d'éviter les atteintes à la biodiversité et aux services qu'elle fournit ; à défaut, d'en réduire la portée ; enfin, en dernier lieu, de compenser les atteintes qui n'ont pu être évitées ni réduites, en tenant compte des espèces, des habitats naturels et des fonctions écologiques affectées. »

² Les agences de l'eau ont inscrit dans leurs objectifs opérationnels et financiers la réparation comme une priorité des SDAGE/SAGE

³ Des financements publics ont été débloqués pour des projets de restauration des « zones noires », à savoir les ports et les exutoires de stations d'épuration des eaux usées.

An underwater photograph of a coral reef. In the foreground, there is a large, vibrant orange sea anemone with many tentacles. A small, reddish-brown fish is partially visible within the anemone's tentacles. In the background, there are various types of coral, including some branching and some more rounded forms. The water is clear and blue, with many small, dark fish swimming around. The overall scene is a healthy and diverse coral reef ecosystem.

3

LES RÉCIFS CORALLIENS

Les récifs coralliens présentent une grande diversité d'espèces, jusqu'à 600 espèces de coraux (*i.e.* Le triangle de corail), plus de 2 000 espèces de poissons, 3 000 espèces de mollusques, etc. Couvrant seulement 0,2 % des surfaces marines mondiales, les récifs coralliens abritent un tiers de la faune et de la flore marine de la planète. Cet écosystème complexe est très vulnérable, de nombreuses pressions peuvent modifier son état écologique de manière plus ou moins irréversible : remblaiement, surexploitation de ses ressources, dégradation de la qualité de l'eau, acidification des océans, augmentation de la température, événements climatiques extrêmes de plus ou moins fortes intensités.

LES GRANDS ENJEUX DE LA CONSERVATION DES RÉCIFS CORALLIENS

Les récifs coralliens sont des **structures calcaires rigides composées d'une multitude de petits animaux primitifs : les polypes**. Ces derniers, organisés en colonies, **vivent en symbiose avec des microalgues : les zooxanthelles** (figure 5). Cette symbiose est essentielle pour la vie des coraux. En effet, les zooxanthelles produisent des molécules organiques qui vont nourrir le corail à environ 80 %, le reste est puisé directement par le polype dans le milieu. Les microalgues produisent de l'oxygène, favorisant ainsi la respiration du polype. Parallèlement, le prélèvement du CO₂ par les zooxanthelles favorise la précipitation du carbonate de calcium et donc l'élaboration du squelette du corail. Réciproquement, les zooxanthelles trouvent au sein du polype un milieu stable, à l'abri des variations des conditions du milieu, de la sédimentation et des prédateurs. Elles utilisent également les déchets azotés et phosphatés du polype comme source d'éléments minéraux, localement plus concentrés que dans le milieu ex-

térieur. **C'est cette association polype-zooxanthelles qui est à l'origine de la formation des récifs coralliens.**

Néanmoins, cet équilibre symbiotique est extrêmement fragile et cette association n'est pas suffisante au bon développement et à la survie des récifs coralliens. D'autres paramètres sont tout aussi importants : la température, la salinité, la profondeur, le pH ou encore le substrat. Si l'un de ces facteurs vient à changer, c'est l'ensemble de la colonie qui sera déstabilisée et la construction corallienne sera perturbée.

À l'échelle mondiale, les récifs coralliens sont répartis sur 280 000 km² (Burke et al., 2011) soit moins de 0,2 % de la superficie des océans (figure 6). Pourtant, ils abritent un tiers de la biodiversité marine, soit environ 100 000 espèces connues à ce jour.

La France dispose de récifs coralliens dans les trois océans (figure 7). Avec 60 000 km² de domaine récifal total, comprenant les surfaces récifales construites et non-construites (lagons et terrasses sédimentaires), la France figure en 4^{ème} position mondiale, en terme de surface récifale. Le projet millenium coral reef mapping project¹ a permis de calculer la **surface récifale française : soit 8 778 km², tout océan confondu, dont 4 570 km² en Nouvelle-Calédonie, 3 000 km² en Polynésie Française, 546 km² pour la zone Océan Indien et 230 km² pour la zone caraïbes. (Andréfouët et al., 2008). **L'état des récifs coralliens d'outre-mer est très contrasté** : ils se portent plutôt bien en Nouvelle-Calédonie, en Polynésie ou encore à Wallis, contrairement à ceux de la Réunion, des Antilles, de Mayotte et de Futuna. Le schéma page 18 résume l'état de santé des récifs ultramarins français en 2015.**

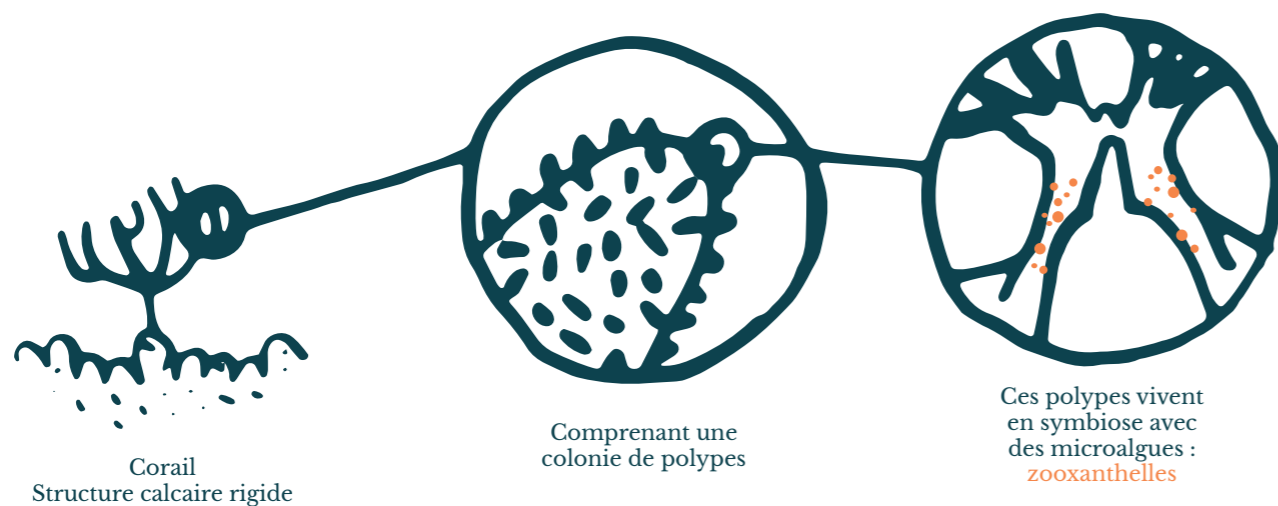


Figure 5 Schématisation de l'interaction polype-zooxanthelle

¹ Pour plus d'information : <http://imars.marine.usf.edu/MC/>

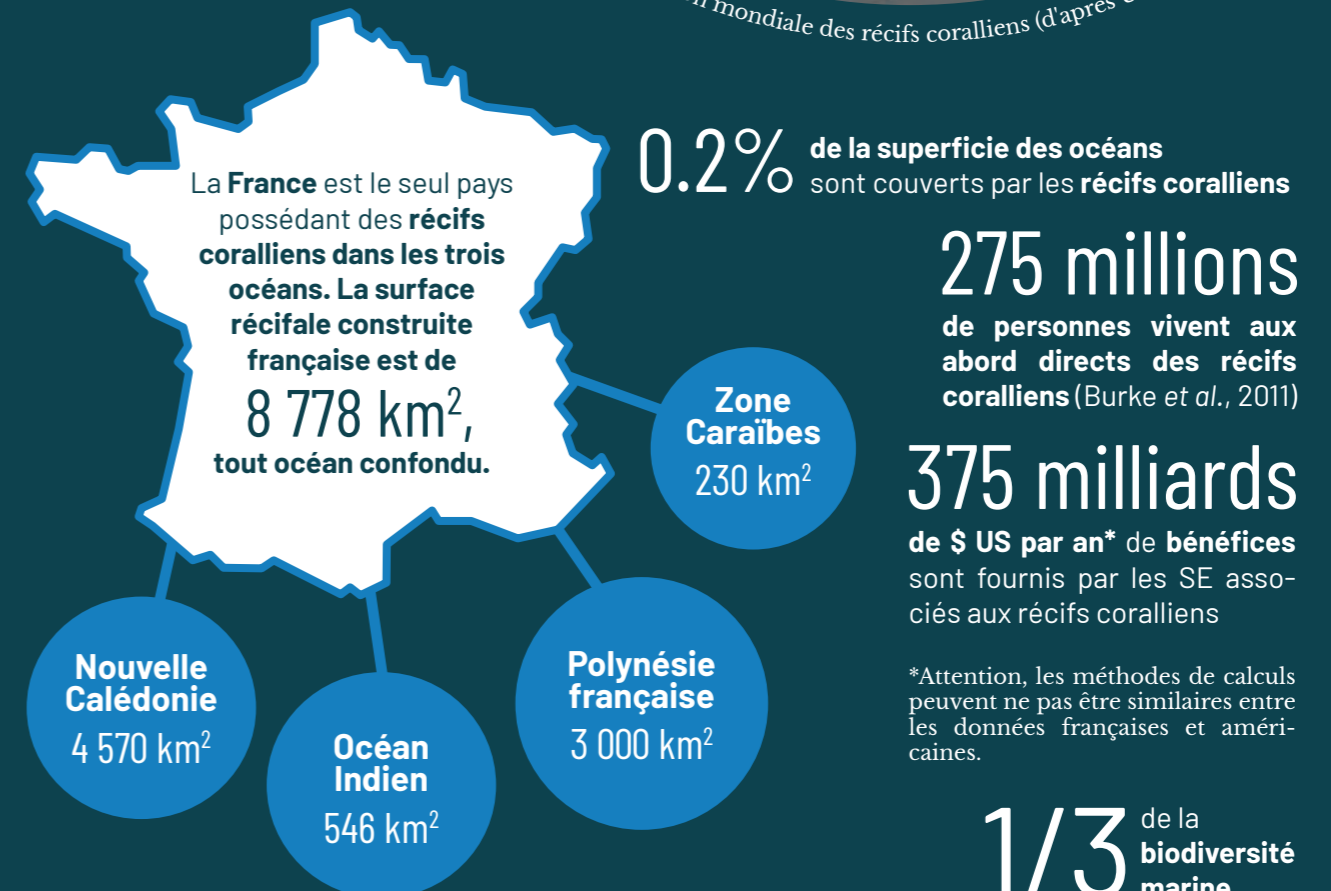
QUELQUES CHIFFRES



Figure 7 Répartition des récifs coralliens français. (Programme d'action 2016-2020 de l'IFRECOR).



Figure 6 Répartition mondiale des récifs coralliens (d'après UNEP-WCMC 2010)



Récapitulatif de l'état de santé des récifs coralliens français en 2015 ¹ (d'après Quod J.P. et Malfait G., 2016)



Guadeloupe

À partir de 2002, une diminution du recouvrement corallien est observée, accentuée par un épisode de blanchissement massif en 2005.



Saint Barthélemy et Saint Martin

En 2005 une élévation de la température des océans a engendré un blanchissement massif des coraux sachant que le recouvrement corallien de ces îles n'a jamais excédé 26 %.

Note : En 2017, l'ouragan Irma a engendré des dégâts importants sur les récifs coralliens de ces îles.



Nouvelle-Calédonie

80 % des récifs étudiés sont dans un état de santé « bon à satisfaisant », *a contrario* seulement 7 % sont en mauvais état de conservation.



Martinique

Une diminution générale du recouvrement corallien a été observée, accompagnée d'une augmentation du recouvrement en macroalgues. Mais une stabilisation du recouvrement à 20 % est observée sur certains sites. Un site présente même 60 % de recouvrement.



Îles Éparses

Les îles ont une biodiversité importante et des récifs coralliens en bonne santé.



Polynésie française

Bon état de santé à l'échelle du pays bien que le recouvrement corallien soit très variable selon la localisation.



Mayotte

L'évolution des récifs est marquée par des tendances variables, avec une forte diminution des taux de recouvrement corallien entre 1989 et 2004, puis une augmentation depuis 2004.



Réunion

Depuis 2003, une nette diminution du recouvrement corallien au profit d'algues opportunistes est observée.



Wallis

Bon état de santé des récifs malgré un important épisode de blanchissement observé en 2015.



Futuna

Mauvais état de santé car, en l'absence de lagon, l'île est soumise aux pressions naturelles et anthropiques.

● Indice de santé bon

● Indice de santé mauvais

● Indice de santé très mauvais

LES RÔLES DES RÉCIFS CORALLIENS ?

Les récifs remplissent une multitude de fonctions. Constructeurs d'habitats, ils ont une fonction de refuge, abritent une forte biodiversité, servent de nurserie aux juvéniles et de nourriture à de nombreuses espèces. Ils procurent de nombreux bénéfices auprès d'un milliard de personnes. Les services écosystémiques rendus peuvent être différents :



La pêche

Les récifs coralliens fournissent une source de revenus liée à la production de biomasse qui leur est associée. Ainsi, l'activité de pêche, qu'elle soit commerciale ou récréative, est très fortement liée à la présence de ces récifs. Les récifs coralliens participent fortement à l'économie de subsistance de ces régions.



Le tourisme

La beauté luxuriante de ces récifs et la diversité des organismes récifaux attirent **plus d'un million de personnes pour l'outre-mer français** (Quod et Malfait, 2016).



La protection

La présence des récifs, à proximité des côtes, permet de réduire les dommages sur les aménagements littoraux, suite à l'action répétée des vagues ou des événements cycloniques. On estime que **les récifs absorbent jusqu'à 97 % de l'énergie de la houle** (Ferrario *et al.*, 2014). Ces récifs ont aussi une action contre l'érosion du littoral (Wells et Ravillious, 2006).



La culture et les croyances traditionnelles

Les coraux font partie intégrante de nombreuses cultures. Dans le sud du Kenya par exemple, les récifs coralliens sont utilisés dans des rites religieux afin d'apaiser les esprits (Moberg et Folke, 1999).



La pharmacologie

Les composés chimiques des coraux et autres organismes récifaux ont un potentiel pharmacologique dans les traitements **anticancéreux**² ou dans les maladies cardio vasculaires par exemple. Leur squelette calcaire peut aussi servir de matériau pour les **greffes osseuses**³ en raison de sa composition proche du squelette humain.

Les récifs coralliens présentent donc un incontestable intérêt pour le maintien des équilibres écologiques marins et à ce titre du bien être de l'Homme.

¹ Etabli à dire d'experts d'après l'article : Jean-Pascal QUOD, Guillaume MALFAIT, et Secrétariat national de l'IFRECOR, 2015 "Etat des récifs coralliens et des écosystèmes associés des outre-mer français en 2015," Documentation Ifrecor <http://www.ifrecor-doc.fr/items/show/1670>

² <http://www.coralbiome.com/fr/>

³ <https://www.inserm.fr/thematiques/technologies-pour-la-sante/dossiers-d-information/biomateriaux/repaper-l-os>

QUELLES SONT LES MENACES ?

Si les récifs coralliens sont encore étendus sur la planète, leur survie est fonction d'un équilibre fragile. Ils font désormais partie des écosystèmes les plus menacés. En 2008, le bilan de l'état de santé des récifs coralliens mondiaux (Wilkinson, 2011) montre que :

- 20 % des récifs coralliens sont déjà irrémédiablement détruits ou présentent peu de chance de récupération
- 25 % sont dans un état critique
- 25 % sont menacés
- 30 % demeurent dans un état satisfaisant

Selon des études récentes (Burke *et al.*, 2011), 90 % de l'ensemble des récifs coralliens mondiaux seront menacés d'extinction d'ici 2030. L'Homme est directement ou indirectement lié à l'état de santé des écosystèmes récifaux. Ces menaces peuvent avoir différentes origines : une origine anthropique directe, mais aussi une origine naturelle (dont les événements climatiques extrêmes, l'élévation de la température et l'acidification des océans). L'impact des activités humaines joue sur l'intensité des menaces d'origine naturelle, notamment par l'accélération et l'augmentation des changements climatiques.

EXEMPLES DE DÉGRADATIONS D'ORIGINE ANTHROPIQUE



Aménagement du territoire

- Dragage** destruction, dégradation paysagère, modification courantologique
- Urbanisation** hyper sédimentation, dégradation paysagère, imperméabilisation des sols
- Remblaiement** .. destruction, hyper sédimentation, dégradation paysagère, altération mécanique des habitats



Rejets d'eaux usées

- Apport en éléments nutritifs** .. prolifération d'algues, eutrophisation
- Produits chimiques** empoisonnement, bio-accumulation, bio-magnification
- Apport sédimentaire** asphyxie et diminution de la photosynthèse



Activités agricoles, industrielles et portuaires

- Rejets** dégradations variables en fonction du type de rejet
- Exploitation pétrolière** ... empoisonnement, bio-accumulation, bio-magnification
- Espèces exotiques** raréfaction et disparition d'espèces, épizooties



Activités liées à la mer

- Surexploitation des ressources** appauvrissement des stocks
- Mouillage des bateaux, piétinement** altération mécanique des habitats
- Surfréquentation des plages** perturbation de la faune, crèmes solaires
- Extraction de coraux** altération mécanique des habitats



Déchets ménagers

- Micro-plastiques** intoxication, bio-accumulation
- Produits chimiques** empoisonnement, bio-accumulation, bio-magnification
- Apport en éléments nutritifs** .. prolifération d'algues, eutrophisation

QUELLES EN SONT LES CONSÉQUENCES ?

Les causes de dégradation des récifs coralliens sont nombreuses. Généralement, elles se cumulent et démultiplient leurs effets au sein d'un même écosystème par effet de synergie, ce qui entraîne des conséquences souvent irréversibles pour les récifs et la biodiversité qui en dépend.

Blanchissement

L'accumulation des impacts d'origine anthropique et naturelle fragilise et déstabilise ces écosystèmes. Le stress subi par l'augmentation de température a pour conséquence une augmentation de l'activité photosynthétique des zooxanthelles. Ce stress conduit les polypes à rejeter leurs microalgues, engendrant un arrêt de la croissance et de l'activité de reproduction. Si les conditions redevennent normales la symbiose polype-zooxanthelle est à nouveau possible. Par contre, si le stress perdure, la mort partielle ou totale de la colonie sera assurée. Le développement de gazons algaux traduit le caractère irréversible de la situation. L'augmentation de la température et du dioxyde de carbone dissous induit par l'augmentation de l'activité humaine, modifie les conditions de vie des récifs coralliens (Hughes *et al.*, 2003). En 2016, d'après Hughes *et al.* (2017) **seulement 8,9 % des 1 156 récifs de la Grande Barrière de corail ont échappé à un blanchissement** (figure 8). D'après Veron *et al.* (2009), **d'ici 2030-2040 la quantité de CO₂ présente dans les océans sera de 450 ppm, et entraînera une forte mortalité corallienne à l'échelle mondiale** (figure 9 et 10). D'autres facteurs peuvent être responsables du blanchissement des coraux : la diminution de la salinité ou encore les taux de pollution trop élevés.

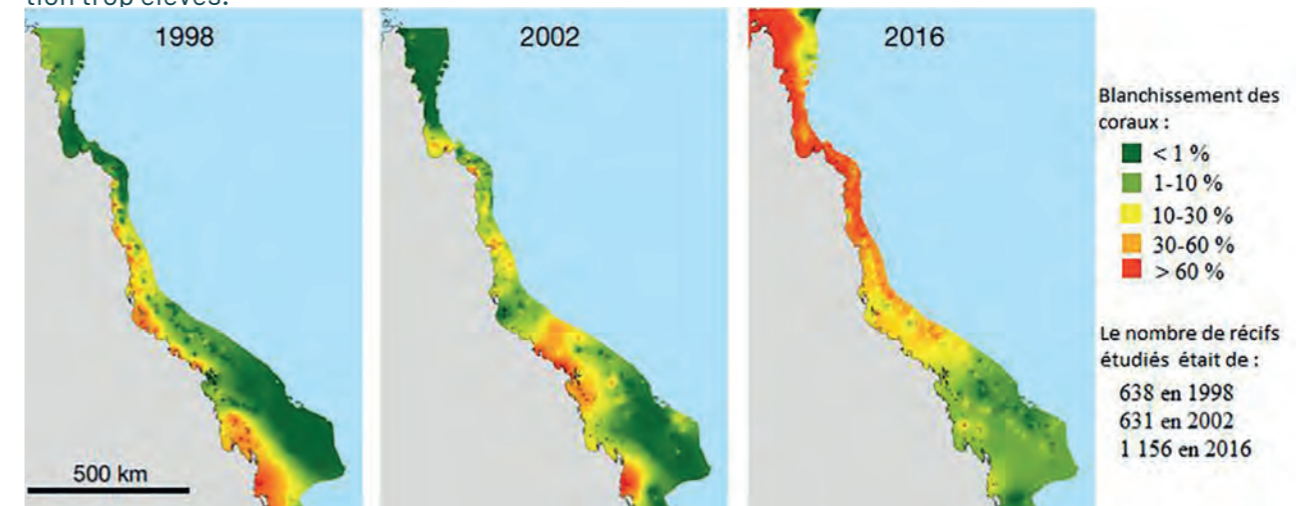


Figure 8 Extension du blanchissement corallien dans la Grande Barrière de corail (Australie) (d'après Hughes *et al.*, 2017)

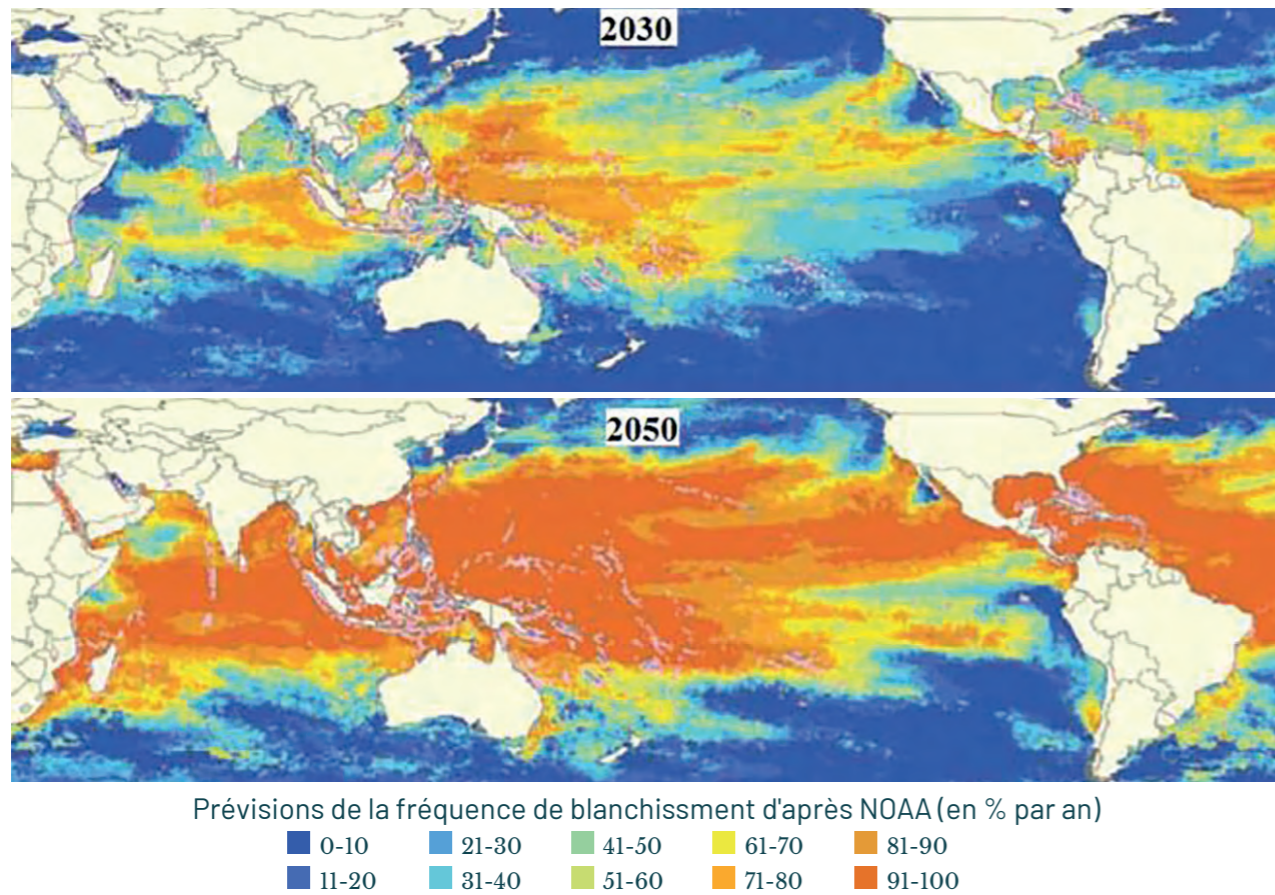


Figure 9 Prévisions de la fréquence des futurs événements de blanchissement des coraux pour 2030 et 2050 (d'après Burke *et al.*, 2011)

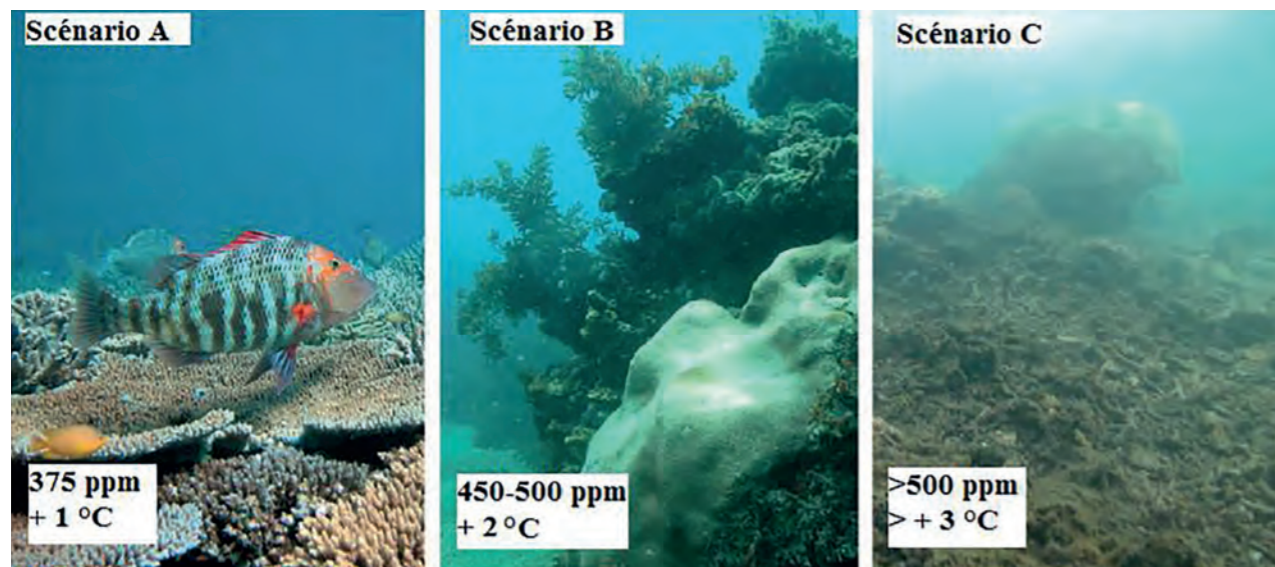


Figure 10 Trois scénarios selon l'augmentation du [CO₂] atm et de la température. (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007)

Perte en biodiversité et en résilience

La mort des récifs coralliens s'accompagne d'une perte nette de biodiversité. Les organismes qui lui sont associés vont soit disparaître, soit migrer vers des zones plus propices à leur développement. Le retour à un équilibre dynamique normal se trouve compromis.

Conséquences socio-économiques

Nombreuses sont les populations côtières qui dépendent socio-économiquement de ces récifs (figure 11), que ce soit pour le tourisme, la pêche ou encore la protection côtière. **Le nombre de pays et de territoires qui dépendent significativement des récifs coralliens est estimé à 108** (Burke *et al.*, 2011). **Si les récifs viennent à disparaître, c'est un milliard d'individus qui seront impactés directement** (Salvat et Rives, 2003). D'après Edwards et Gomez (2007), cela correspond à une perte économique totale de 375 milliards de dollars par an.

La perte en diversité corallienne, et plus largement la perte globale en biodiversité induite, pourrait engendrer des retombées économiques et sociétales catastrophiques pour les zones concernées.

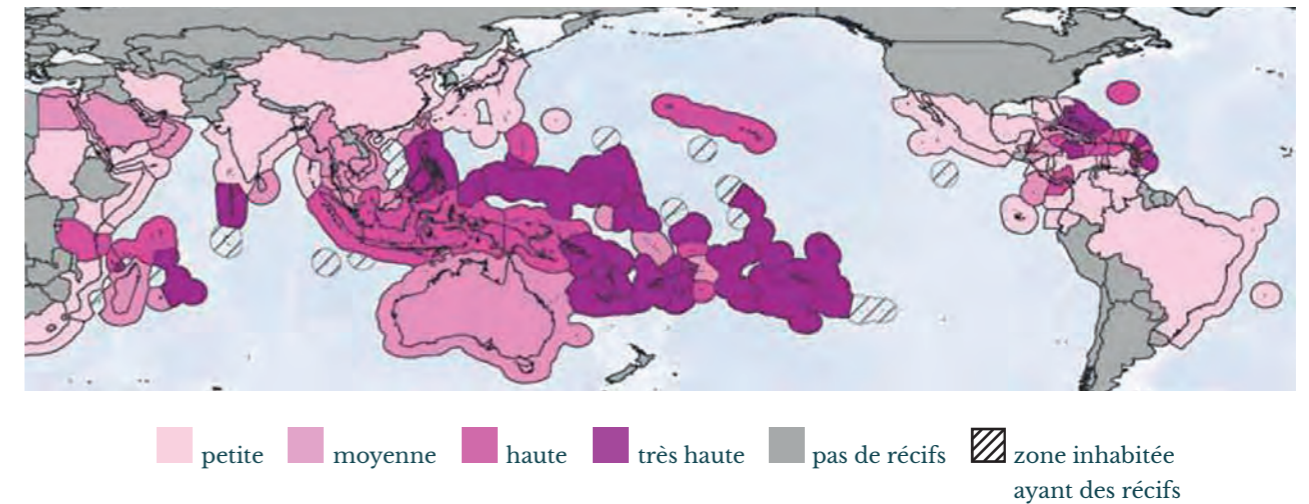


Figure 11 Dépendance économique et sociale des populations côtières aux récifs coralliens : pêcheries, alimentation, tourisme, protection côtière (Burke *et al.*, 2011).



Figure 12 Blanchissement corallien ©JBfotoblog/Getty images

TECHNIQUES D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE POUR LES RÉCIFS CORALLIENS

Au cours des 20 dernières années, plusieurs techniques d'ingénierie écologique pour les récifs coralliens ont vu le jour. Les techniques les plus couramment employées sont définies dans la section suivante. Ces fiches s'accompagnent de quelques exemples de projets réalisés à travers le monde.

- page 25 **La transplantation**
- page 26 **L'électrodéposition**
- page 27 **Les pépinières de corail**

LA TRANSPLANTATION

Technique employée lorsque le site dégradé ne parvient pas à se rétablir naturellement (Abelson, 2006). Cette méthode consiste à prélever sur un site donneur (ou dans une pépinière) des fragments de colonie et à les réimplanter dans un site receveur.



Coût moyen**

6 618 058,63 \$
International/ha/an
(± 28 517 285,9
d'écart type)



Boutures de coraux transportées par bateau ©Quod Jean-Pascal, "Bouturage coraux 2004 - La Réunion 1," Documentation Ifreco

Avantages

- ① Une augmentation de la **diversité biologique** (Abelson, 2006).
- ② Une augmentation immédiate du **recouvrement corallien** (Abelson, 2006).
- ③ Une amélioration immédiate de **l'esthétisme du site receveur** (Abelson, 2006).

Inconvénients

- ① Une **dégradation du site donneur** (Abelson, 2006).
- ② Une **fragilité des fragments** lors de l'action de la houle (Abelson, 2006).
- ③ Une **diminution de la fécondité des individus** due au stress de la transplantation (Abelson, 2006).
- ④ Une **main d'œuvre relativement conséquente est nécessaire et les coûts associés peuvent être élevés** (Gleason et al., 2001).

* moyenne des données disponibles pour une période de suivi de 3 ans et plus.

Ces valeurs sont à prendre avec la plus grande prudence. Nous invitons le lecteur à se référer à la page 101 du guide.

** Chiffres donnés à titre informatif.

L'ÉLECTRODÉPOSITION

L'électrodéposition est une technique d'accrétion minérale par électrolyse de l'eau de mer. Les minéraux présents dans l'eau précipitent sur un support métallique sous l'action d'un courant électrique. La croissance du squelette calcaire est alors favorisée renforçant ainsi la fixation du corail sur le substrat (Sabater et Yap, 2002).

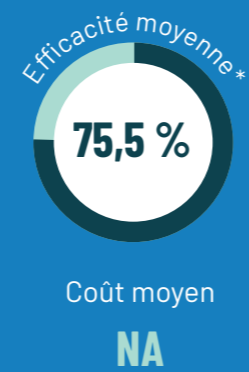


Schéma de principe d'électrodéposition (© Biorock.net)



Exemple d'expérience réussie d'électrodéposition à Gili Trawangan, Lombok, Indonésie (© Matthew Oldfield Photography)

Avantages

- 1 Un corail solidement attaché consacre plus d'énergie pour **réparer ses lésions et croître** (Sabater et Yap, 2002).
- 2 Cette technique **augmente les taux de survie et la résistance aux stress** (Sabater et Yap, 2002 ; Goreau, 2014).

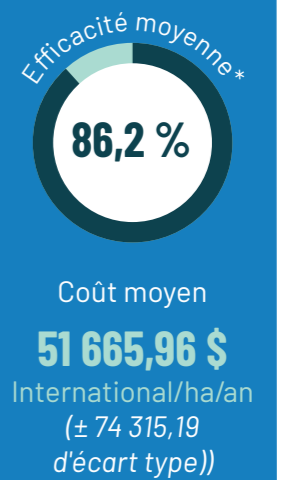
Inconvénients

- 1 L'efficacité d'une électrodéposition est **dépendante de l'espèce stimulée**. Par exemple, elle ne fonctionne pas sur *Pocillopra damicornis* (Schuhmacher *et al.*, 2000).
- 2 L'installation doit être fréquemment contrôlée pour éviter notamment des **problèmes de voltage** (Goreau, 2014).
- 3 La stimulation électrique peut favoriser une espèce mais en **inhiber une autre** dans le même temps (Goreau, 2014).

* moyenne des données disponibles pour une période de suivi allant jusqu'à 2 ans. Ces valeurs sont à prendre avec la plus grande prudence. Nous invitons le lecteur à se référer à la page 101 du guide.

LES PÉPINIÈRES DE CORAIL

La pépinière de corail est une technique employée pour l'élevage de larves ou de fragments de corail avant d'être transplantés sur un site receveur.



Pépinière à cordes

Système de cordes attachées sur le substrat à l'aide d'ancrages et suspendues par des flotteurs, sur lesquelles sont posés les fragments coralliens (Levy *et al.*, 2010 ; Johnson *et al.*, 2011)



Pépinière à cordes
©Coralrestoration.org

Pépinière à blocs

Les fragments de corail sont insérés sur une dalle de ciment ancrée dans le sédiment (Johnson *et al.*, 2011).



Pépinière à blocs
©University of Miami RSMAS

Pépinière à table

Les fragments de coraux sont placés sur des cordes tendues, rattachées à des barres angulaires, qui forment « une table » (Levy *et al.*, 2010 ; Mbjie *et al.*, 2010)



Pépinière de table
©coralreefpr.org

Pépinière à cadres « Frame nursery »

Les fragments de coraux sont déployés sur les structures en mailles métalliques, en plastique ou en PVC fixées au fond par des ancres.



Pépinière à cadres
©Univearsity of Miami RSMAS

Avantages

- 1 Permet l'élevage de fragments de coraux en **grand nombre** (Levy *et al.*, 2010).
- 2 La **culture contrôlée maximise la survie et la productivité** des fragments (Amar et Rinkevich, 2007 ; Johnson *et al.*, 2011).
- 3 **Facile à construire et peu coûteuse** : utilisation possible de matériaux de récupérations (Levy *et al.*, 2010 ; Mbjie *et al.*, 2010).
- 4 Multiplier les types de pépinières sur un site permet de **diminuer les risques de pertes** (Johnson *et al.*, 2011).

Inconvénients

- 1 Un **suivi régulier est nécessaire** : si les colonies sont sur-développées il y a des **risques d'effondrement des plateformes et un risque de prolifération d'algues** (Johnson *et al.*, 2011).
- 2 Dans certaines pépinières à forte densité de boutures peu diversifiées génétiquement, le **risque d'épizootie et de mortalité massive est accentué** (Ladd *et al.*, 2016).

* moyenne des données disponibles pour une période de suivi de 3 ans et plus. Ces valeurs sont à prendre avec la plus grande prudence. Nous invitons le lecteur à se référer à la page 101 du guide.

FICHES PRATIQUES LES RÉCIFS CORALLIENS

- P. 30 - 31 **Transplantation de corail en baie de Prony**
- P. 32 - 33 **Transplantation de corail dans le lagon de Faa'a**
- P. 34 - 35 **Transplantation de corail sur l'île de Mbudya**
- P. 36 - 37 **Transplantation de corail à balhaf (yemen sud)**
- P. 38 - 39 **Transplantation de corail dans la baie de Pointe à Pitre**
- P. 40 - 41 **Transplantation de coraux sur récifs artificiels « Sulu-Reef Prosthesis » (SRP) dans la baie Shark Fin**
- P. 42 - 43 **Pépinière de corail à Bolinao**
- P. 44 - 45 **Pépinière de corail à Zanzibar et sur l'île Mafia**
- P. 46 - 47 **Pépinière de corail à Diamant**
- P. 48 - 49 **Pépinière de corail à Caye à Dupont**
- P. 50 - 51 **Bouturage de corail au Yemen sud pour réimplantation sur un substrat vierge**

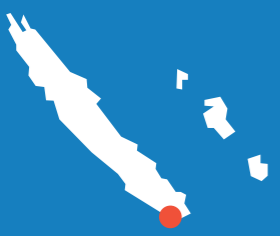
COR n° 1

TRANSPLANTATION DE CORAIL EN BAIE DE PRONY

Nouvelle-Calédonie



Projet réalisé dans la baie de Prony en Nouvelle-Calédonie. La maîtrise d'ouvrage était assurée par la société minière GORO Nickel et la maîtrise d'œuvre par Soproner-Ginger.



Baie de Prony

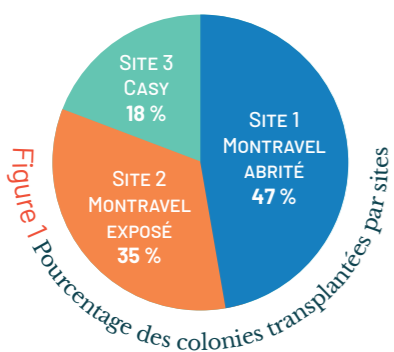
Projet Compensation Portuaire de la baie de Prony
 Site Baie de Prony
 Espèces > 13 espèces de coraux
 Surface 2 000 m²
 Taux de réussite > 80 %
 Coût 24.94 €/m²
 Année Entre décembre 2005 et janvier 2006
 Acteur terrain sandrinejob@yahoo.fr

Objectif

Ce projet de réparation du biotope corallien a été réalisé sur trois sites différents :

- ① site 1 : Montravel abrité
- ② site 2 : Montravel exposé
- ③ site 3 : Casy

Il s'agissait de compenser les impacts d'un projet de construction d'un port sur les récifs coralliens. Soit un total de 2 000 m² de surface qui ont accueilli les transplants.



Technique

Le prélèvement des coraux a été effectué en plongée sous-marine à l'aide de marteaux et de burins. Les colonies ont été rangées par genre dans des caisses (afin d'éviter les interactions négatives entre organismes). Le transport des coraux s'est fait à l'air libre, par bateau, car la distance aux sites receveurs était jugée suffisamment courte (20-30 min). Un arrosage des coraux à l'eau de mer a été réalisé en continu. La fixation des colonies s'est faite grâce à un ciment à prise rapide (12 h). Un total de 1762 colonies a été déplacé lors de ce projet.

Le choix des sites receveurs s'est fait selon différents paramètres : physico-chimiques, substrat, etc. Ainsi, les sites retenus avaient des conditions environnementales sensiblement différentes les uns des autres afin de pouvoir comparer la survie et l'adaptation des transplants en fonction des différents paramètres environnementaux.



Collecte des coraux © Sandrine Job



Arrosage des coraux © Sandrine Job

Coûts

Le coût total était estimé à 49 873,42 €

Matériaux et matériels	13 674,97 €
Salaires	36 198,45 €
Total	49 873,42 €
Total par m ²	24,94 €/m ²

Suivi environnemental

Il y a eu plusieurs journées de suivi : un premier suivi d'une journée, un mois après la transplantation, puis une journée tous les 6 mois pendant 5 ans. Soit un total de 10 journées de suivi en 5 ans.

Il y a eu deux types de suivis différents :

- ① **Des suivis simples, 1 fois/an en juillet-août**
Comprenant les mesures du taux de survie, la mortalité, la croissance, l'entretien du site (nettoyage, contrôle des prédateurs).
- ② **Des suivis complets, 1 fois/an janv-fév**
Comprenant l'évaluation de l'adaptation des transplants dans leur nouvel environnement, l'évaluation de l'attachement des transplants, l'évaluation de la colonisation, etc.

Les causes de mortalité chez les coraux transplantés peuvent être multiples : prédateurs naturels, stress lié à la transplantation, compétition, maladies, conditions environnementales, etc. En ce qui concerne la transplantation de la baie de Prony, un faible taux de mortalité a été observé. En effet, le taux de survie des transplants était supérieur à 80 % pour les trois sites considérés (figure 2). Quant au taux de recouvrement, voir figure 3, une augmentation de surface de 30 % en moyenne a été observée selon les sites.

NB : Ce taux de recouvrement comprend la croissance des transplants et la couverture naturelle du site.

Les résultats quatre ans et demi après :

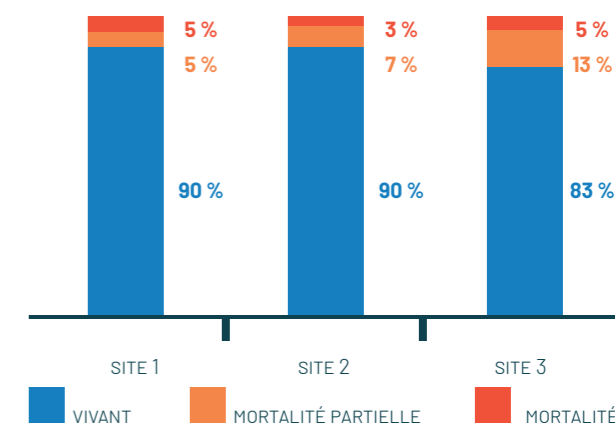


Figure 2 Taux de survie, mortalité partielle et mortalité (t+4,5 ans)

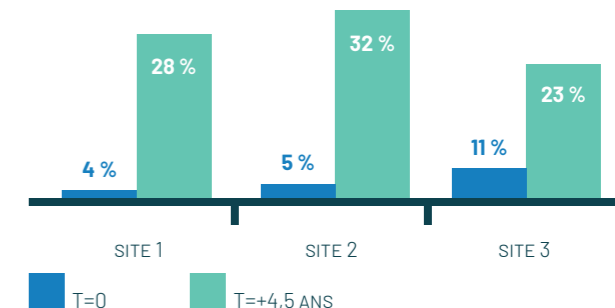


Figure 3 Taux de recouvrement en corail vivant (t=0 an et t+ 4.5 ans)

Bilan

En presque 5 ans de suivi, un succès global de l'opération de transplantation est objectivement constaté, montrant une efficacité et une pertinence dans ce choix de technique de transplantation.

Taux de réussite (%) : > 80 %

Durée de l'expérimentation (suivis compris) : 6 ans

Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création

C1 : création / renaturation de milieu
 Action visant à créer un habitat sur un site où il n'existait pas initialement

Les facteurs techniques d'influence du risque :

Espèces déplacées	> 13
Technique de prélèvement	prélèvement de fragments de coraux
Technique de fixation	collage par ciment à prise rapide
Moyens de transport	par bateau, rangé dans des caisses
Temps de transport	20-30 min

Références

- ① Étude d'impact : Projet de Goro Nickel, Occupation du domaine public maritime- Baie de Kwé, 2013 Nouvelle-Calédonie.
- ② Rapport final : programme de reconstitution du biotope corallien en baie de Prony, Ginger-Soproner, 2011.
- ③ Rapport de mission : programme de reconstitution du biotope corallien en baie de Prony, Ginger-Soproner, 2006.

COR n°2

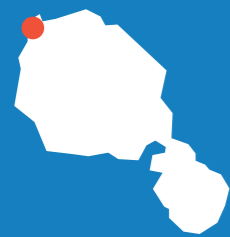
TRANSPLANTATION DE CORAIL DANS LE LAGON DE FAA'A

Polynésie française



Transplantation effectuée dans le lagoonarium de l'Intercontinental hôtel en Polynésie Française. Le projet était assuré par l'association Te mana o te moana, BoraEcoFish et l'intercontinental Tahiti Resort.

Lagon de Faa'a



Projet Remise en état du lagoonarium dans un hôtel
 Site Lagon de Faa'a
 Espèces 10 espèces de coraux
 Surface 2 080 m²
 Taux de réussite NA
 Coût 4.92 €/m²
 Année Entre juin et août 2011
 Acteur terrain alicecarpentier.temana@gmail.com

Objectif

L'objectif de cette action était de recréer une zone corallienne dans le lagoonarium. En effet, la réserve a connu un épisode de mortalité massive due à un dysfonctionnement des pompes d'alimentation en eau, entraînant une diminution de l'oxygénation du site.

Par ce projet, L'Intercontinental Hôtel souhaitait :

- ❶ Créer une zone de vie, soit des pépinières de corail et une zone de nurserie.
- ❷ Améliorer l'aspect visuel du lagoonarium de l'hôtel
- ❸ Sensibiliser les clients de l'hôtel

Technique

La technique de transplantation corallienne a été employée sur 10 genres de coraux à savoir : *Acropora sp.*, *Cyphastrea sp.*, *Fungia sp.*, *Herpolitha sp.* (corail libre), *Montipora sp.*, *Pavona sp.*, *Pocillopora sp.*, *Porites sp.*, *Psammocora sp.*, *Synarea sp.* L'aspect esthétique (couleur, forme, structure) des coraux a conduit à ce choix d'espèces.

Il y a eu deux phases de recréation :

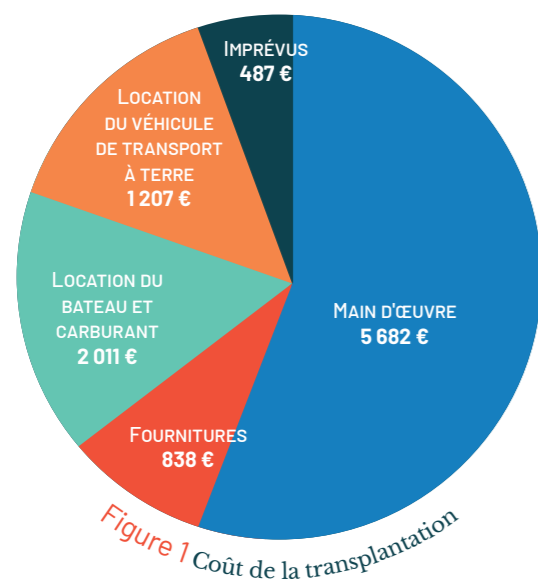
❶ Recréation physique

Le site a subi un réaménagement de son jardin de corail. Les blocs de récifs artificiels (Reef-Ball) ont été déplacés et préparés pour servir de support à la transplantation.

❷ Recréation biologique

Pour minimiser les impacts sur le site donneur, la zone de collecte des fragments coralliens était étendue. Le prélèvement en milieu naturel s'est fait de manière à nuire le moins possible au site donneur, en privilégiant les coraux déjà cassés, déplacés ou voués à la destruction. L'ensemble des fragments a été transporté par bateau (immergés pour les coraux massifs et à l'air libre pour les coraux branchus, encroûtants, foliacés). La distance maximale parcourue entre le site donneur et le site receveur était de 1 km afin de réduire le stress lié au transport. Les fragments ont ensuite été fixés sur les ReefBall.

Coûts



Dépense totale 10 225 € soit 4,92 €/m²

Suivi environnemental

Un suivi sur plusieurs années a été réalisé. Il consistait à remplacer les coraux morts ou abimés, à enlever les espèces nuisibles et à surveiller l'équilibre de la zone, avec une attention particulière sur le fonctionnement des pompes de brassage.



ReefBall ayant des transplants coralliens (Petit et Chevalier, 2011)

Résultats

Après quelques semaines, un taux de survie de 95 % dû à une bonne acclimatation des transplants a été noté. Seuls quelques coraux massifs ont subi le stress de la transplantation et n'ont pas survécu. Les pourcentages de survie à moyen et long terme n'ont pas été communiqués.

Taux de réussite (%) : NA	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : plusieurs années		
Phase de la séquence	E	R	
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création
Action visant à prévoir ou mettre en œuvre une des mesures ci-dessus (Restauration-Réhabilitation-Création)			
Les facteurs techniques d'influence du risque :			
Espèces déplacées	10		
Technique de prélèvement	prélèvement de fragments de coraux déjà cassés, déplacés ou voués à la destruction		
Technique de fixation	Non précisée		
Moyens de transport	immergé sous un bateau pour les coraux massifs et à l'air libre pour les coraux branchus		
Temps de transport	10 min minimum		

Références

- ❶ Te mana o te moana, Petit M., Chevalier F., Rapport final d'activités : Création d'un jardin de corail artificiel au sein du Lagoonarium de l'InterContinental Tahiti Resort. Août 2011

COR n°3

TRANSPLANTATION DE CORAIL SUR L'ÎLE MBUDYA

Tanzanie



Transplantation de coraux effectuée sur l'île Mbudya, en Tanzanie, par des pêcheurs locaux.



Projet Transplantation de corail suite à des dégradations
 Site Ile Mbudya-Tanzanie
 Espèces *Galaxea sp.*, *Acropora sp.*, *Porites sp.*, *Montipora sp.*
 Surface NA
 Taux de réussite Entre 70 et 100 %
 Coût NA
 Année 2001
 Acteur terrain Wagner et al., 2001

Objectif

L'objectif de la transplantation était la réhabilitation/restauration des zones récifales dégradées par la pêche à la dynamite.

Suivi expérimental

Trois mois après la transplantation des coraux, les pêcheurs ont mesuré le taux de survie des transplants ainsi que leur état de santé.

Technique

500 fragments coralliens ont été transplantés par des pêcheurs de la région sur la côte nord-ouest et sud-ouest de l'île Mbudya. La technique consistait à prélever des fragments de colonies saines se trouvant à proximité des sites dégradés, puis à fixer les fragments au substrat grâce à des plaques en plastique et du ciment. En moyenne, une plaque pouvait contenir 5 fragments.



Photographie illustrant une transplantation. Attention celle-ci n'appartient pas au projet décrit. ©C Kornylak flickr

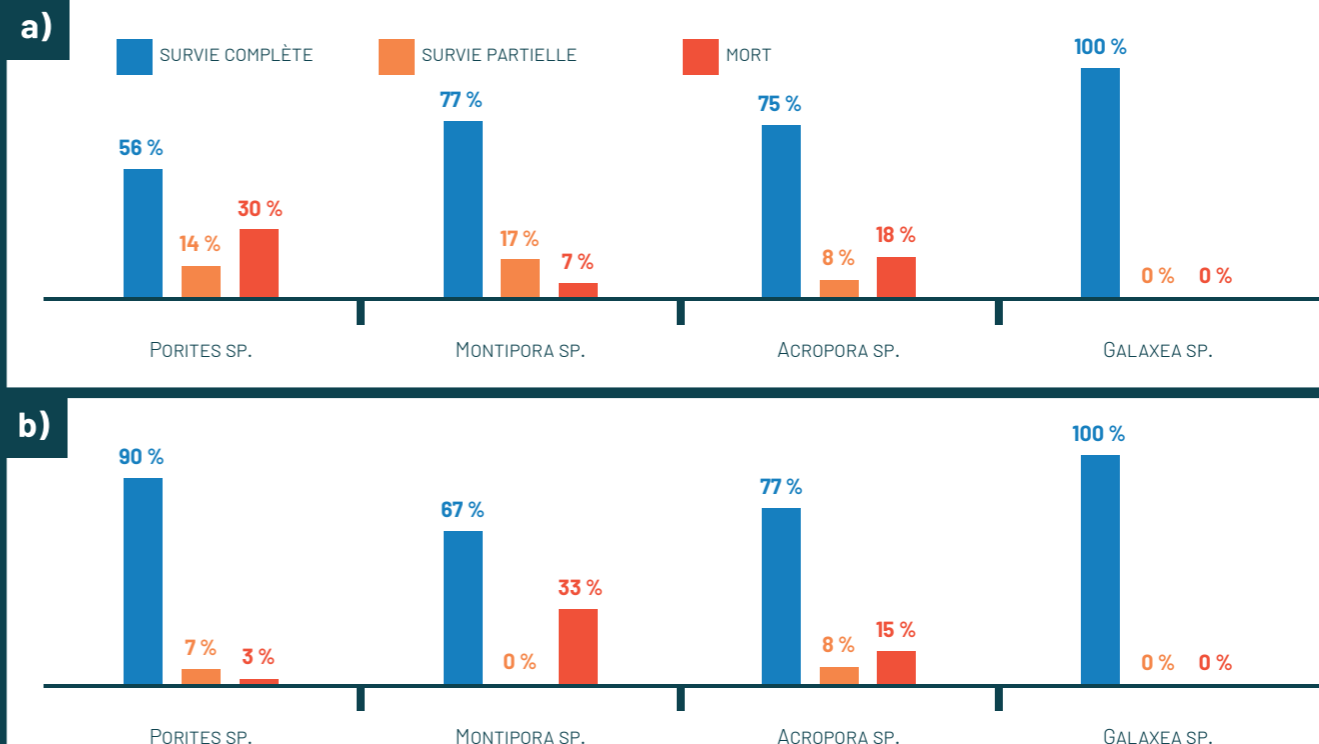


Figure 1 Taux de survie (en %) des transplants coralliens a) 3 mois après la transplantation ; b) 8 mois après la transplantation. NB : Pour *Porites sp.*, les différences de mortalité entre 3 et 8 mois s'expliquent par une différence dans l'échantillonnage aléatoire des fragments mesurés.

Résultats

Sur les 500 fragments initiaux, seuls 342 ont été sélectionnés aléatoirement et ont fait l'objet d'un suivi. *Galaxea sp.* avait un taux de survie de 100 % et cela même après 8 mois (figure 1). Cependant, pour les autres espèces, les taux de survie étaient moins bons mais relativement élevés, compris entre 70 et 90 % après 8 mois (figure 1). Ces résultats seraient dus à l'action de la houle sur les fragments. La méthode de transplantation utilisée semble avoir été efficace malgré tout.

Taux de réussite (%) : de 70 % à 100 %	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : environ 8 mois		
Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création
C2 : Action sur un milieu dégradé par l'homme ou par une évolution naturelle, visant à faire évoluer le milieu vers un état plus favorable à son bon fonctionnement ou à la biodiversité faisant appel à des travaux.			
Les facteurs techniques d'influence du risque :			
Espèces déplacées	4		
Technique de prélèvement	prélèvement de fragments de coraux		
Technique de fixation	plaques en plastique et du ciment		
Moyens de transport	NA		
Temps de transport	NA		

Références

Wagner, G. M., Mgaya, Y. D., Akwilapo, F. D., Ngowo, R. G., Sekadende, B. C., Allen, A., ... et Mackentley, N. (2001, June). Restoration of coral reef and mangrove ecosystems at Kunduchi and Mbweni, Dar es Salaam, with community participation. In Marine science development in Tanzania and eastern Africa. Proceedings of the 20th anniversary conference on advances in marine sciences in Tanzania (Vol. 28, pp. 467-488).

TRANSPLANTATION DE CORAIL À BALHAF (YEMEN SUD)

📍 Yemen



Transplantations de colonies coralliennes effectuées par CREOCEAN dans le cadre de la construction d'une usine de liquéfaction de gaz (GNL) en bord de côte.



Projet Transplantation de corail préliminaire à la destruction du site
 Site Balhaf, Yemen
 Espèces..... *Acropora, Acanthastrea, Coscinarea, Cysphastrea, Echinopora, Favia, Favites, Fungia, Galaxea, Goniastrea, Goniopora, Hydriophora, Leptastrea, Leptoria, Lobophyllia, Millepora, Montipora, Pavona, Platygyra, Pocillopora, Psammocora, Porites, Stylophora* et *Turbinaria*
 Surface 1553 m² (pour le site donneur)
 Taux de réussite..... Entre 70 et 90 %
 Coût NA
 Année..... 2007-2009
 Acteur terrain..... dutrieux@creocean.fr

Objectif

La construction à terre d'une usine de GNL implique quelques aménagements en mer. Ces aménagements concernent la construction de digues, tranchées et enrochements littoraux qui engendrent la destruction de coraux en place. L'objectif de l'opération est de prélever ces colonies coralliennes et de les replacer dans une zone adéquate de manière à les préserver.

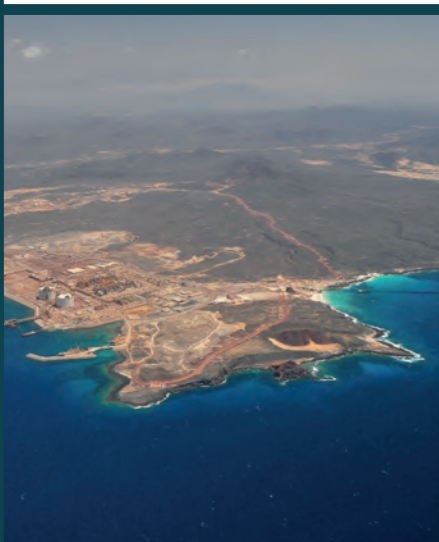
Transport d'un fragment corallien © Eric Dutrieux



Les colonies massives sont entreposées sous l'eau dans une cage en acier associée à des parachutes © Eric Dutrieux

Technique

1 La première étape consiste à inventorier les coraux susceptibles d'être déplacés selon des critères liés à l'état de santé des colonies et à leur taille puis d'identifier la zone receveuse par ses caractéristiques écologiques. 2 La seconde étape est destinée à prélever les coraux. Ce travail est réalisé à l'aide d'un marteau et d'un burin pour les colonies moyennes en prenant soin de ne pas toucher aux parties vivantes de la colonie. Les colonies de grande taille sont décollées avec des outils développés spécifiquement. Les colonies massives sont entreposées sous l'eau dans une cage en acier, levée par des parachutes. Elles sont ensuite tractées jusqu'aux sites receveurs. 3 La troisième étape est destinée à recoller les colonies dans leur nouveau milieu. Une fois placées, ces colonies sont collées avec un ciment dans lequel un additif permet la prise rapide. 4 La dernière étape est dédiée à la cartographie fine des colonies transplantées pour constituer un état initial, base de la mise en place d'un suivi.



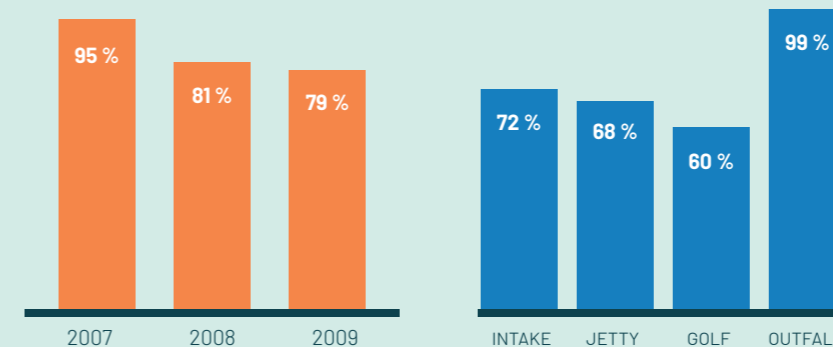
Site de construction de l'usine de liquéfaction de gaz © Eric Dutrieux

Remarque

Les opérations de transplantation sont lourdes et nécessitent une équipe de plongeurs scientifiques et de plongeurs techniques sous-marins. 50 à 100 coraux peuvent être déplacés en une journée (environ 1 mois pour 1000 coraux, mobilisation et organisation comprises). L'équipe est alors composée de deux groupes de quatre plongeurs chacun, dont au moins un plongeur scientifique par groupe. Les plongeurs commerciaux sont particulièrement utiles pour le transport de très grandes et très lourdes colonies, ce qui assure la sécurité des opérations.

Résultat

Un total de 1500 colonies a été déplacé sur 4 sites différents. Parmi celles-ci, se trouvaient 140 colonies de *Porites* de plus d'une tonne. Seuls les coraux les plus sensibles et les plus sains ont été collectés dont 100% d'*Acropora downingi*, *Lobophyllia hemprichii*, *Leptoria phrygia*, et *Goniopora lobata*. Les colonies de corail ont été réimplantées en veillant à recréer un environnement naturel en termes de densité, de diversité et de topologie. Les résultats des opérations de transplantation ont été plus que satisfaisants. La survie globale des colonies transplantées a atteint 95 % en octobre 2007, mais a légèrement diminué par la suite en raison des effets résiduels des travaux maritimes. Après deux ans, 79 % des colonies ont survécu (figure 1).



Retour d'expérience

Le déplacement des coraux ne permet pas de reconstituer un nouvel écosystème. En tant que telles, ces opérations réduisent la mortalité individuelle des coraux, mais pas la perte totale de l'habitat. Elles ne doivent être utilisées qu'en dernier recours.

- Les paramètres techniques :
- 1500 colonies déplacées
 - 70 % à 100 % des coraux présents déplacés,
 - 1553 m² pour les sites donneurs,
 - Colonies de 1 kg à 4 tonnes,
 - Opération impliquant 8 plongeurs pendant 120 jours

Taux de réussite (%) : 79 %

Durée de l'expérimentation (suivis compris) : 2 ans

Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création

C1 : Création/renaturation de milieux
 Action visant à créer un habitat sur un site où il n'existait pas initialement

Les facteurs techniques d'influence du risque :

Espèces déplacées	>24
Technique de prélèvement	prélèvement de fragments de coraux
Technique de fixation	collage par ciment à prise rapide
Moyens de transport	par bateau, sans contact avec l'air libre mais par un système de cage en acier et de parachutes
Temps de transport	NA

Références

F. Seguin, O. Le Brun, R. Hirst, I. Al-Thary, E. Dutrieux, 2010. Large coral transplantation in Bal Haf (Yemen): an opportunity to save corals during the construction of a Liquefied Natural Gas plant using innovative techniques. Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Ft. Lauderdale, Florida, 7-11 July 2008 Session number 24

COR n°5

TRANSPLANTATION DE CORAIL DANS LA BAIE DE POINTE À PITRE

Guadeloupe



Transplantation de corail effectuée dans la baie de Pointe à Pitre dans le cadre de la création du Grand Port Maritime de la Guadeloupe. Cette transplantation est réalisée par un consortium mené par la société Creocean.



Caye à Dupont

Projet Déplacement de colonies coralliennes du chenal (sites donneurs) vers des sites receveurs
 Sites donneurs Est d'îlet à Cochons (2 100 m²) et la Caye Sans Nom (6 256 m²)
 Sites receveurs Caye à Dupont (11 205 m²) et îlet du Gosier (1 800 m²)
 Espèces 22 espèces coralliennes transplantées (16 genres - 7 familles)
 Taux de survie 98,4 % pour 1 an
 Coût NA
 Année entre Janvier et Mars 2015
 Acteur terrain lebrun@creocean.fr et degaulejac@creocean.fr

Objectif

Dans le cadre des travaux d'extension du Port de Jarry du Grand Port Maritime de Guadeloupe (GPMG) un hub portuaire doit être créé afin d'améliorer le chenal d'entrée et de créer un second terminal de 10 ha de terre-pleins. Or, les travaux d'amélioration du chenal d'entrée impactent directement, par destruction mécanique, les coraux situés à la Caye Sans Nom et à l'Est de l'îlet à Cochons. Le port souhaite déplacer et transplanter la majorité des colonies coralliennes dans des zones de la baie de pointe à Pitre, non impactées par ces travaux.

Technique

La méthodologie de la transplantation corallienne a été constituée en deux phases :

L'étude de la faisabilité du projet en amont :

Cela a permis ❶ D'établir la représentativité des différentes espèces à transplanter et leur état de santé ❷ De réaliser les plans de calepinage des sites donneurs en sélectionnant les zones d'intérêts écologiques des colonies à transplanter et des sites receveurs ❸ De préciser, confirmer et optimiser les techniques de transplantations retenues en fonction des zones sélectionnées, de la taille des colonies et du substrat et définissant de façon précise le mode d'exécution des travaux ❹ D'établir le planning et le phasage du déroulement des travaux ❺ De vérifier la résistance de la transplantation des coraux dans les conditions d'agitations auxquelles cette dernière pourra être soumise ❻ De proposer le suivi des coraux et réaliser l'état de référence des sites receveurs et des peuplements de poissons associés.

La transplantation corallienne :

Celle-ci a été décomposée en 5 tâches ❶ Délimiter et marquer précisément les zones de travail ❷ Prélever les coraux de chaque site donneur en vue de les transporter jusqu'au site receveur concerné ❸ Déplacer les colonies coralliennes collectées vers les sites receveurs pour leur réimplantation ❹ Fixer les colonies coralliennes prélevées sur les sites receveurs ❺ Marquer les colonies à suivre sur le long terme et positionner les transects de suivi scientifique.



Transport des coraux © Olivier Le Brun



Meandrina après transplantation © Olivier Le Brun



Agaricia après transplantation © Olivier Le Brun

Suivi scientifique

Durant quatre années, le suivi scientifique des coraux après leur transplantation a été fait selon la périodicité suivante :

- 1^{ère} année : 1 campagne à 1, 3, 6 et 12 mois
 - 2^{ème} à 4^{ème} année : 1 campagne tous les 6 mois.
- Ce suivi consistait à : ❶ Suivre 62 colonies témoins-transplantées-marquées ❷ Suivre des transects permanents sur chacun des sites receveurs

Retour d'expérience

Les travaux de transplantation ont permis de déplacer des colonies coralliennes massives qui allaient être détruites du fait de l'arasement de deux zones de hautfonds. Cette perte d'habitat a été compensée par ce déplacement. Le maintien du recouvrement corallien a démontré l'efficacité des méthodes employées et le bon choix des sites receveurs. Cependant, l'influence de la transplantation corallienne, 3,5 ans après les travaux, n'est pas encore décelable sur ces sites en termes de recouvrement et d'effectifs de coraux juvéniles.

Résultat

Les résultats des opérations de transplantation ont montré un taux de survie à t + 3,5 ans de 72,6 % (figure 1)

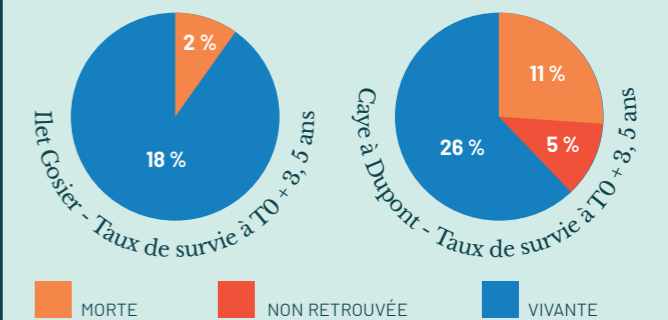


Figure 1 Taux de survie des colonies en pourcentage de mars 2015 à janvier 2019.

Taux de réussite (%) : 72,6 %

Durée de l'expérimentation (suivis compris) : 4 ans

Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création

C1 : Création/renaturation de milieu
 Action visant à créer un habitat sur un site où il n'existait pas initialement

Les facteurs techniques d'influence du risque :

Espèces déplacées	4 188 colonies transplantées (91 % entre 20 et 40 cm).
Technique de prélèvement	prélèvement de colonies entières au marteau et burin.
Technique de transport sous l'eau	stockage dans caisses perforées de pêcheur.
Technique de fixation	emploi d'une mixture ciment/sable.
Moyens de transport	piscines sur barge, colonies humidifiées dans caisses sous bâches.
Temps de transport	30 min

Références

- ❶ Creocean, Guadeloupe Port Caraïbes - CORAL TRANSPLANTATION TO MITIGATE DREDGING IMPACTS ON CORAL REEFS FOR A PORT EXTENSION PROJECT. GUADELOUPE, FRENCH WEST INDIES - 13TH INTERNATIONAL Coral Reef Symposium 19-24 JUNE 2016 - HONOLULU, HAWAII.
- ❷ Creocean - Travaux de transplantation de coraux. Grand projet de port. Phase 2. Exécution des Travaux. Rapport 150037 - Grand Port Maritime de la Guadeloupe - Avril 2015.
- ❸ Creocean - Travaux de transplantation de coraux - Grand Projet de Port.
- ❹ Suivi scientifique des coraux transplantés. Campagne n°9. 4ème année. Rapport 180977 - Grand Port Maritime de la Guadeloupe - Février 2019.

COR n°6

TRANSPLANTATION DE CORAUX SUR RÉCIFS ARTIFICIELS « SULU-REEF PROSTHESIS » (SRP) DANS LA BAIE SHARK FIN

Philippines



Projet réalisé autour de l'île de Pangatalan dans la baie "Shark Fin", Taytay, Palawan, Philippines. La Fondation Environnementale Sulubaaï a développé la méthode et collecté les données.



Projet restauration de récifs coralliens
 Site île de Pangatalan, Taytay, Philippines
 Espèces 28 espèces de coraux
 Surface 230 m²
 Taux de réussite 76.6 %
 Coût 82 €/m²
 Année depuis 2017
 Acteur terrain Laure de Ville d'Avray et Cinzia Alessi - Sulubaaï Fondation, contact@sulubaaï-foundation.com

Objectif

Augmenter la résistance et réduire le temps de rétablissement des coraux instables situés sur des débris coralliens, vestiges de récifs explosés par la pêche à la dynamite. L'étude porte sur quatre sites et 1647 colonies de coraux transplantés.

Technique

Le projet a débuté en 2016 avec quatre sites de restauration sélectionnés pour leur fort taux de mortalité corallienne et leur affaiblissement structurel. Les Sulu-Reef Prosthesis (SRPs) ont été créés et fabriqués au sein de la Fondation Sulubaaï (figure 1). Ils sont faits de béton armé et déclinés en 3 modèles de taille : SRP 1000 (0,91 m²), SRP 700 (0,87 m²), SRP 450 (0,73 m²). Les SRPs sont constitués de 2 pièces fabriquées sur place. Sur chaque SRP, entre 8 et 12 fragments de coraux sont fixés sur le sommet et les côtés à l'aide de barres d'acier (figure 2). Une analyse de l'évolution du volume écologique des fragments de coraux a été menée sur 3 des 4 sites de restauration. Dans chacun de ces 3 sites, 60 fragments de coraux ont été choisis au hasard pour être fixés sur les 15 SRPs du site. Le suivi des volumes écologiques (EVI) a été réalisé pour un total de 3 (sites) * 15 (SRP) * 4 (fragments) = 180 colonies de coraux (figure 3). Le suivi a été réalisé une fois par mois. Les mesures nécessaires au calcul du volume écologique ont été observées à partir de photos réalisées *in situ*. Les photos obtenues par plongée, avec un appareil photo équipé d'un pied de 30 cm affichant une règle (pour la calibration de la mesure). La fixation de coraux et leurs couleurs ont été observées *in situ* à l'œil nu. Les mesures nécessaires au calcul du volume écologique ont été prises à l'aide du logiciel ImageJ : longueur, largeur, et hauteur. L'EVI a été calculé en appliquant la formule de Frias-Torres et al. 2018. L'EVI initial a servi à classer les fragments de coraux en trois catégories de taille : petits (EVI < 21 cm³), moyens (EVI entre 21 et 215 cm³) et grands (EVI > 215 cm³). L'analyse comprend les EVI correspondant à 3, 6 et 12 mois après la date d'installation des fragments sur les SRPs.



Figure 1 Sulu-Reef Prosthesis (SRP)



Figure 2 Exemple de fixation d'une colonie de corail sur le SRP

Coûts

Le coût total est 18 875 €
 Matériaux et matériels : 3 275 € - Salaires : 15 600 €
 Total par m² : 82 €

Bilan

Avec ses modules de récifs artificiels (SRP), la fondation Sulubaaï propose une nouvelle technique de restauration à faible coût de fabrication, sans plastique ni produit toxique, qui a montré un taux de survie des coraux de 76 %.

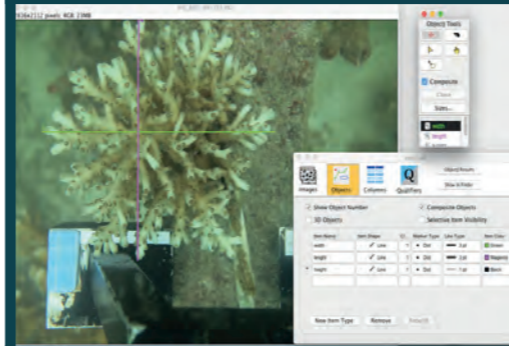


Figure 3 Réalisation des mesures nécessaires au calcul de l'EVI avec le logiciel ImageJ

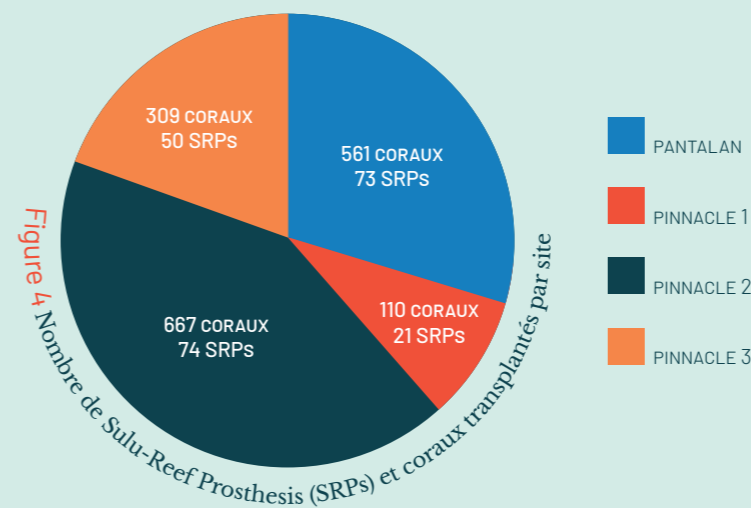


Figure 4 Nombre de Sulu-Reef Prosthesis (SRPs) et coraux transplantés par site

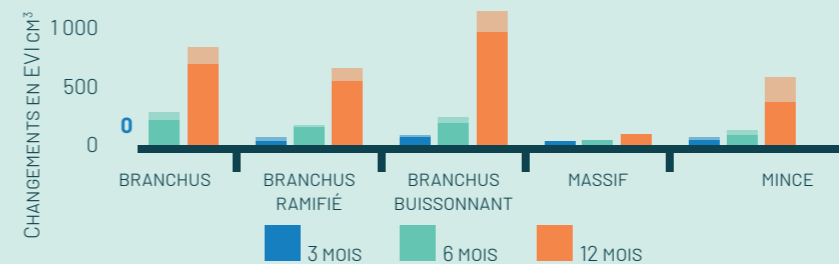


Figure 5 Évolution des volumes écologiques au bout de 3, 6 et 12 mois selon les formes des coraux

Résultats

De 2017 à 2019, plus de 200 SRPs ont été positionnés en 4 sites dans le récif endommagé de Pangatalan pour un total de 1647 fragments de coraux (figure 4) représentant 28 espèces. Les SRPs sont très adaptables, permettant l'installation de coraux de toutes formes (branchus, massif ou fins).

Au bout des 12 mois, le taux de survie cumulé des coraux transplantés sur les SRPs était de 76,6 % et le taux de fixation était de 71 % : dont 14,3 % sur la partie en béton, 27,3 % sur la barre d'acier et 29,0 % sur les deux parties (barre d'acier et béton). Les volumes écologiques des coraux branchus ou fins suivent une tendance croissante exponentielle et les formes branchus buissonnantes sont les plus performantes. Les formes massives ont montré une variation progressive de l'EVI entre 3 mois, 6 mois et 12 mois sans différences nettes dans le temps (figure 5).

Taux de réussite (%) : 76 %

Durée de l'expérimentation (suivis compris) : 1,5 ans

Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création

C1 : Création/renaturation de milieux
 Action visant à créer un habitat sur un site où il n'existait pas initialement

Les facteurs techniques d'influence du risque :

Type Prélèvement	restauration fragments de coraux
Technique de fixation	torsion d'une barre d'acier pour coincer le fragment sur le SRP en ciment
Pas de déplacement ni de mise hors de l'eau	les coraux sont collectés et fixés directement sur place en plongée

PÉPINIÈRE DE CORAIL À BOLINAO

Philippines



Implantation de pépinières de coraux effectuée pour l'université Haifa (Israël) en suivant le concept de « coral gardening ».



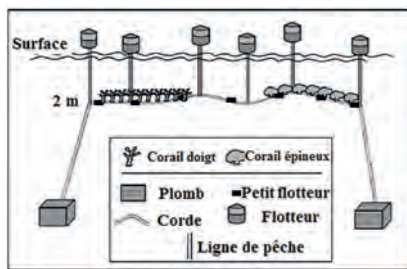
Projet Création de nurserie de corail à Bolinao
 Site Bolinao, Philippines
 Espèces..... Corail doigt (*M. digitata*), Corail choufleur (*P. damicornis*), Corail épineux (*E. lamellosa*), *M. scabricula*
 Surface NA
 Taux de réussite..... De 51 % à 100 %
 Coût 171,8 €/mois
 Année..... 2007
 Acteur terrain..... Levy et al., 2010.

Objectif

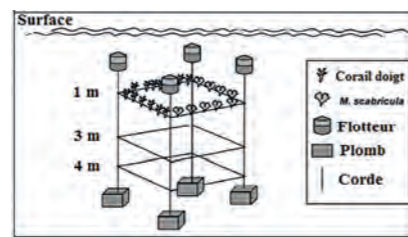
L'objectif de cette expérimentation était de trouver une solution viable et efficace pour les futurs travaux de restauration récifale via l'utilisation de trois types de pépinières à cordes.

Technique

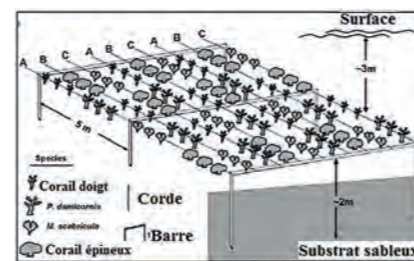
Trois types de pépinières à cordes ont été testés. Les pépinières étaient placées dans une hauteur d'eau suffisante pour éviter les effets des marées et au-dessus du substrat pour éviter la sédimentation. Le choix des sites s'est fait en fonction de leur qualité environnementale, à l'abri des orages et de la houle.



Type I
Pépinières flottantes à cordes
 Les fragments de coraux étaient positionnés en dessous des bouées de surface. Il y avait donc une influence de la houle sur les fragments avec ce prototype.



Type II
Pépinières flottantes à cordes suspendus au-dessus du fond
 Les fragments de coraux étaient reliés à des câbles tendus entre des plombs et des flotteurs. Superposée en étage, ce type de pépinière permettait un gain de place. C'était aussi un système qui évitait l'effet de la houle sur les fragments. Au total, 1 191 fragments de coraux ont été cultivés.



Type III
Pépinières fixées au fond
 Les fragments de coraux étaient placés sur des cordes tendues et maintenues par des barres angulaires. L'ensemble de la structure était fixé sur un substrat sableux. Ce type de structure était adapté à tout type d'hydrodynamisme.

Coûts

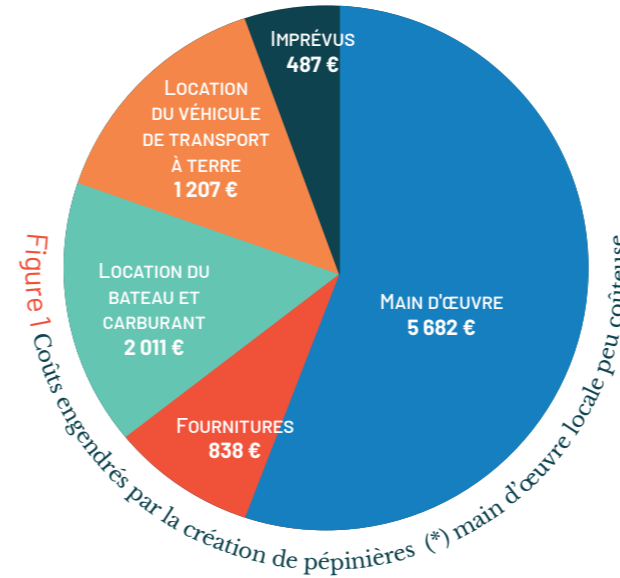


Figure 1 Coûts engendrés par la création de pépinières (*) main d'œuvre locale peu coûteuse

Pour 1191 fragments utilisés, le coût total est estimé à 171,8 € par mois (conversion dollar US en € pour l'année 2007).

Suivi expérimental

Un suivi a été réalisé tous les 3 mois afin de vérifier l'état des structures, d'enlever les algues qui ont pu se développer, de dénombrer les colonies mortes ou encore de prendre des photographies.

Tableau 1 Taux de survie des fragments selon les différentes espèces coralliennes, après 10 mois de mise en culture. NB : les moyennes sont arrondies

10 mois après la mise en culture des fragments

Type de pépinière	Type I	Type II	Type III
<i>E. lamellosa</i>	70 %	87 %	51 %
<i>M. digitata</i>	60 %	/	100 %
<i>M. scabricula</i>	/	54 %	75 %
<i>P. damicornis</i>	/	/	97 %



Figure 2 Photographies de l'évolution des fragments après mise en culture pour 3 espèces coralliennes (d'après Levy et al., 2010)

Résultats

Le concept de pépinière à cordes a été développé ici comme étant une technique de restauration de récif. Les fragments se sont développés avec succès (tableau 1, figure 2). Ces pépinières se sont avérées peu coûteuses et très rapides à mettre en place, rendant possible la conception de ce type de pépinière à plus grande échelle.

Taux de réussite (%) : de 51 % à 100 %	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : environ 1 an		
Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création

Action visant à prévoir ou mettre en œuvre une des mesures ci-dessus (Restauration-Réhabilitation-Création)

Les facteurs techniques d'influence du risque :

Espèces déplacées	4
Technique de prélèvement	prélèvement de fragments de coraux
Technique de fixation	petits fragments de coraux insérés dans l'enroulement d'une corde
Moyens de transport	NA
Temps de transport	NA

Références

Levy, G., Shaish, L., Haim, A., et Rinkevich, B. (2010). Mid-water rope nursery—Testing design and performance of a novel reef restoration instrument. *Ecological Engineering*, 36(4), 560-569.

PÉPINIÈRE DE CORAIL À ZANZIBAR ET SUR L'ÎLE MAFIA

Tanzanie



Implantation de pépinières de coraux effectuée pour l'université Haïfa (Israël) en suivant le concept de « coral gardening ».



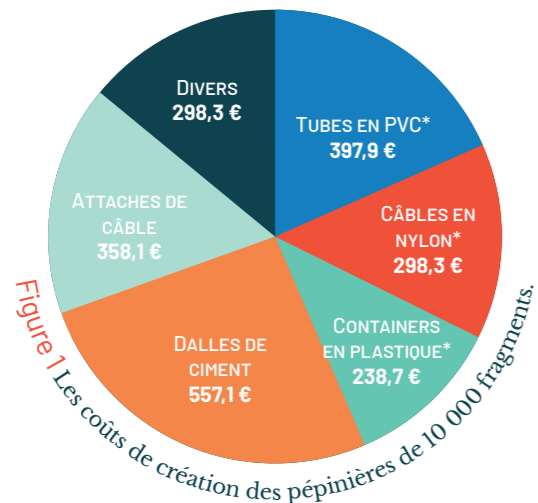
Projet	Création de nurserie de corail à Zanzibar et sur l'île Mafia
Site	Zanzibar et Ile Mafia
Espèces	Corail Vinaigrier (<i>A.formosa</i>), Corail crème (<i>A.nasuta</i>), <i>A.hemprichii</i> , Corail framboise (<i>P.verrucosa</i>), <i>P.cylindrica</i> , Corail de feu (<i>Millepora sp.</i>)
Surface	NA
Taux de réussite	Entre 85 et 100 %
Coût	2148,4 € pour 10 000 fragments / hors main d'œuvre
Année	2007
Acteur terrain	Mbije et al., 2010.

Objectif

L'objectif de cette expérimentation était de trouver une méthode de pépinière viable et efficace pour les futurs travaux de restauration récifale.

Coûts de la réimplantation

Le coût total pour les 21 600 fragments de coraux est estimé à 2148,4 € hors main d'œuvre.



NB : (*) L'utilisation de matériaux réutilisables permet d'avoir des coûts moindres



Pépinières à table en PVC et fils de nylon (Mbije et al., 2010)

Technique

Des tables de 6 m² ont été confectionnées à l'aide de tubes PVC d'un mètre de long, assemblés bout à bout, et de câbles en nylon (photo 1 et 2). L'élaboration de ces pépinières s'est faite en collaboration avec des pêcheurs locaux. Le choix du site de mise à l'eau a été déterminé en fonction des conditions environnementales de la zone :

- 1 Zones abritées
- 2 À 4 m de profondeur (pour éviter toute dégradation accidentelle.)

Un total de 21 600 fragments a été implanté sur ces pépinières entre le site de Zanzibar et celui de l'île Mafia (tableau 1). Le développement de ces fragments a duré 9 mois.

Tableau 1 Nombre de fragments coralliens selon le site d'implantation.

Espèces	Zanzibar	Île Mafia
Corail Corne de cerf	1296	1728
Corne crème	1296	1728
<i>A. hemprichii</i>	1872	2 304
Corail framboise	1296	2 304
<i>P.cylindrica</i>	2 304	2 304
Corail de feu	1 440	1 728
TOTAL	9 504	12 096

Résultats

Neuf mois après la fixation des fragments sur les nurseries, les taux de survie des espèces considérées se sont avérés plutôt satisfaisants pour le site de Zanzibar (compris entre 85 et 100 %). En revanche, sur l'île Mafia, les taux de survie se situaient entre 60 et 100 % (figure 3). La culture en pépinière a fourni des résultats satisfaisants pour le corail de feu (100 % de réussite). En ce qui concerne les autres espèces, la mortalité était globalement faible (entre 60 % et 95 %). Plusieurs raisons à l'origine de cette mortalité étaient à déplorer : 1 Le braconnage 2 Le stress dû à la fragmentation et au transport des fragments.

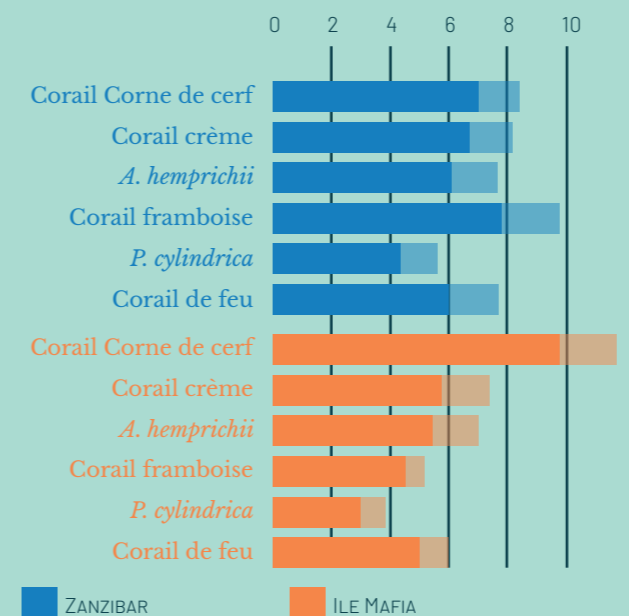


Figure 2 Accroissement des fragments après 9 mois (en cm)

Une croissance assez rapide des fragments a été observée en 9 mois (figure 2 et 4), allant jusqu'à 9 cm pour le corail à corne de cerf. Cette étude a démontré l'efficacité des pépinières quant à la croissance de fragments de coraux de petites tailles. Une technique qui s'avère pratique pour produire, en moins d'un an et à moindre coût, une grande quantité de colonies.

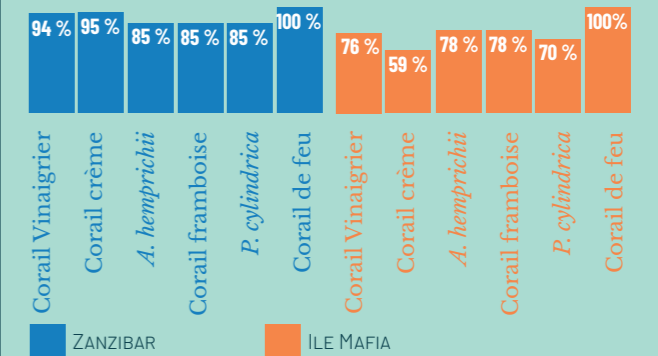


Figure 3 Les taux de survie des espèces, 9 mois après le début de l'expérimentation

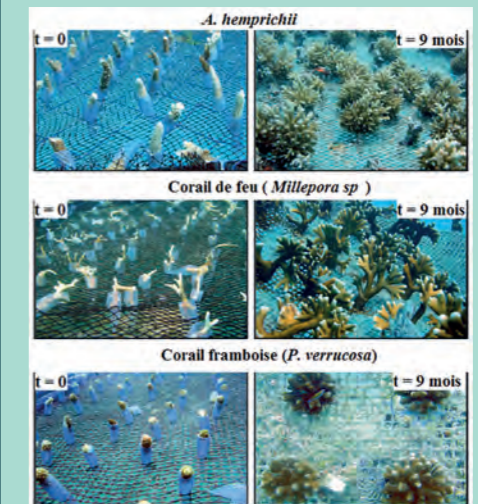


Figure 4 Exemples d'évolution des fragments après 9 mois de développement

Taux de réussite (%) : de 85 % à 100 %	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : 9 mois		
Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création
Action visant à prévoir ou mettre en œuvre une des mesures ci-dessus (Restauration-Réhabilitation-Création)			
Les facteurs techniques d'influence du risque :			
Espèces déplacées	6		
Technique de prélèvement	prélèvement de fragments de coraux		
Technique de fixation	inséré dans des tubes en PVC		
Moyens de transport	NA		
Temps de transport	NA		

Références

1 Mbije, N. E., Spanier, E., et Rinkevich, B. (2010). Testing the first phase of the 'gardening concept' as an applicable tool in restoring denuded reefs in Tanzania. *Ecological Engineering*, 36(5), 713-721.

COR n°9

PÉPINIÈRE DE CORAIL À DIAMANT

Martinique



Implantation de pépinières de coraux, un projet qui était assuré par l'association ASSO-MER.

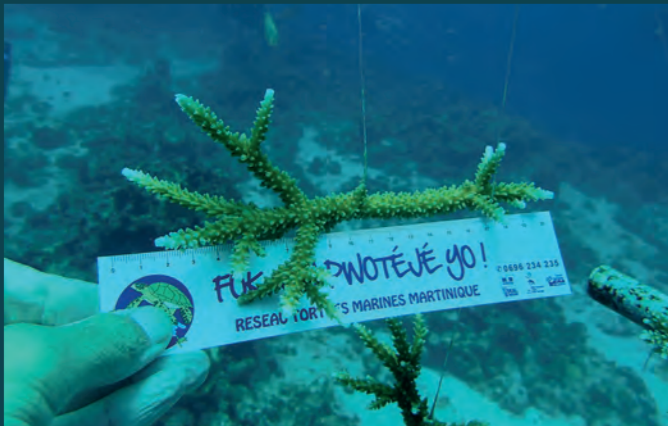


Le Diamant

Projet	Gestion d'une pépinière de coraux
Site	Commune du Diamant
Espèces	Corail corne de cerf (<i>Acropora cervicornis</i>), corail corne d'élan (<i>A. palmata</i>)
Surface	NA
Taux de réussite	5 fois supérieur à l'état initial
Coût	7 114 €
Année	2016
Acteur terrain	lassomer972@gmail.com

Objectif

L'objectif de cette opération était de contrer le déclin observé depuis les dernières décennies des populations d'*Acropora sp.* dans les Caraïbes. La création de pépinières est une des solutions envisagées pour permettre la recolonisation des récifs coralliens en milieu naturel dans le secteur de Saint-Luce. Cette mission avait aussi pour but de tester des méthodes de grossissement de boutures coralliennes sur deux espèces : le corail corne de cerf (*Acropora cervicornis*) et le corail corne d'élan (*A. palmata*).

Boutures d'*A. cervicornis* ©Alexandre Arqué

Pépinière à arbre ©Alexandre Arqué

Technique

La technique développée par l'ASSO-MER est la technique de duplication par bouturage. Des petits fragments de coraux ont été récupérés initialement sur une colonie mère en côte Atlantique puis ces fragments ont été mis en pépinière sur la commune du Diamant. Ce sont trois pépinières à arbre qui ont été confectionnées pour réaliser cette technique, avec l'aide de tubes en PVC et de bouts achetés. Les pépinières étaient lestées grâce à des morceaux de béton récupérés. Les boutures de coraux ont été fixées sur les tubes en PVC à l'aide de fils en nylon. La fixation des boutures a débuté fin de l'année 2015, ce sont au total 54 boutures de corail corne de cerf et 7 boutures de corail corne d'élan qui ont été installées sur les arbres.

Retours des acteurs de terrain

D'après Alexandre Arqué (directeur de l'ASSO-MER), le corail corne d'élan doit être collé sur un support dur et non filaire (plots en béton). Il serait nécessaire de tester plusieurs types de colle de fixation. En revanche, le taux de croissance pour le corail corne de cerf était très bon. Le bouturage de cette espèce a été un succès. Les conditions environnementales du site étaient idéales. Il ajoute à cela la nécessité de protéger la zone de pépinière pour éviter les dégâts notamment causés par la pêche. Actuellement, les arbres à pépinières sont pleins, les boutures attendent d'être transplantées en milieu naturel. Cette phase prend du temps car il faut des autorisations liées au statut d'espèces protégées des espèces manipulées.

Suivi environnemental

Il y a eu 11 sorties sur la pépinière en un an. Elles consistaient à entretenir le matériel de bouturage et à suivre l'évolution de quelques boutures.

Coûts de la réimplantation

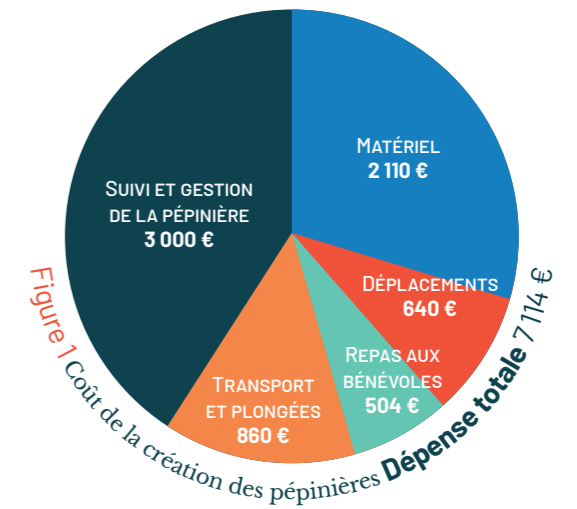


Figure 1 Coût de la création des pépinières

Fixation de boutures d'*A. cervicornis* sur la pépinière. ©Alexandre Arqué

Résultats

Les résultats de cette expérimentation ont été très satisfaisants pour le corail corne de cerf. En un an, le nombre de boutures a été multiplié par cinq, passant de 54 boutures à 294 aujourd'hui. Pour le corail corne d'élan, le nombre de boutures n'a pas augmenté car cette espèce ne se développe pas convenablement sur les pépinières à arbre.

Quelques incidents sont à déplorer :

- 1 Le déplacement d'un arbre pris dans un filet de pêche.
- 2 Une mortalité sur quelques boutures a été constatée à cause du stress lors du bouturage.
- 3 Un détachement de flotteur entraînant la chute d'un des arbres.
- 4 La colle ayant servi à fixer les boutures sur certains plots béton n'était pas adaptée.

Note : Ce projet n'a pas pour vocation à faire de la compensation écologique. Il s'agit d'une action de gestion de deux espèces classées en danger critique d'extinction. Ce projet vise notamment la réintroduction de colonies sur la côte caraïbe de l'île où elles ont quasiment disparues. Il ne vise pas à restaurer directement de l'habitat récifal avec des objectifs classiques de biodiversité, de fonctionnalité, de surface ou de productivité.

Références

- 1 Rapport intermédiaire : Installation et gestion de nurseries coralliennes à Acroporidae en côte caraïbe-Martinique. Avril-2017
- 2 Interview **Alexandre Arqué** (directeur de l'ASSO-MER)

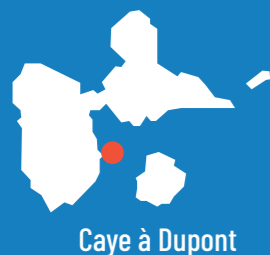
COR n° 10

PÉPINIÈRE DE CORAIL À CAYE À DUPONT

📍 Guadeloupe



La maîtrise d'ouvrage de la pépinière de corail à Caye à Dupont de la Guadeloupe était assurée par le Grand Port Maritime de la Guadeloupe. La maîtrise d'œuvre était effectuée par la CDC Biodiversité et Coraïbes (SARL : Société dédiée à la restauration écologique marine).



Projet Mise en place d'une pépinière de coraux
 Site Caye à Dupont
 Espèces Corail corne de cerf (*Acropora cervicornis*),
 Corail corne d'élan (*Acropora palmata*)
 Surface 12 structures porteuses « arbres à coraux »
 Taux de réussite 94 %
 Coût 160 869 €
 Année 2015-2017
 Acteur terrain mariane@coraibes.com

Objectif

Suite à un danger critique d'extinction de deux espèces de corail endémique, le corail corne de cerf (*Acropora cervicornis*) et le corail corne d'élan (*Acropora palmata*), un projet de création d'une pépinière de corail a vu le jour. Le but était de produire des « boutures » transplantables sur les récifs de la Guadeloupe, afin de renforcer les populations existantes.

Corne de cerf *A. cervicornis*
883 plants

Corne d'élan *A. palmata*
50 plants

Tableau 1 Nombre de plants plantés pour chacune des espèces

Technique

La réalisation de cette pépinière a débuté en 2016. La mise en place d'une pépinière adaptée à la culture de ces deux espèces de coraux s'est faite à partir de fragments collectés *in natura* sur des récifs du Petit Cul-de-Sac Marin. Les boutures ont ensuite été suspendues aux « branches » d'une structure de PVC installée dans la colonne d'eau. Après une phase de croissance de 8 à 12 mois, les boutures ont été redivisées afin d'augmenter le nombre de coraux en croissance dans la pépinière. À terme, ces fragments seront transplantés sur des récifs fortement dégradés.



Corne de cerf sur la pépinière à arbre ©Mariane Aimar-Godoc

Suivi environnemental

Un inventaire de la pépinière ainsi qu'un suivi de la croissance des boutures a été réalisé tous les 10 jours.

- ❶ Mesurer la longueur totale de 5 boutures par structure porteuse.
- ❷ Le taux de survie de l'ensemble des boutures est également calculé.
- ❸ En même temps que le suivi, un nettoyage des arbres est effectué pour retirer les organismes colonisateurs (*algues, balanes, bivalves, etc.*) qui pourraient recouvrir les boutures et entraver leur développement.



Corne de cerf sur la pépinière à arbre ©Mariane Aimar-Godoc

Taux de réussite (%) : 94 %	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : 3 ans		
Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création
Action visant à prévoir ou mettre en œuvre une des mesures ci-dessus (Restauration-Réhabilitation-Création)			
Les facteurs techniques d'influence du risque :			
Espèces déplacées	4		
Technique de prélèvement	prélèvement de fragments de coraux		
Technique de fixation	petits fragments de coraux accrochés aux tubes en PVC par des fils de nylon		
Moyens de transport	NA		
Temps de transport	NA		

■ Références

- ❶ **Nedimyer K., Gaines K., Roach S., 2011.** Coral Tree Nursery©: An innovative approach to growing corals in an ocean-based field nursery. *AACL Bioflux* 4(4) :442-446.
- ❷ **Analyse régionale Guadeloupe, synthèse des connaissances.** Université des Antilles et de la Guyane, Parc National de Guadeloupe et Agence des Aires marines protégées, 2013
- ❸ **Coraïbes.** Restauration des récifs coralliens. Rapport de synthèse 2016 : Collecte, bouturage et mise en culture de coraux. 2016. pp 73.

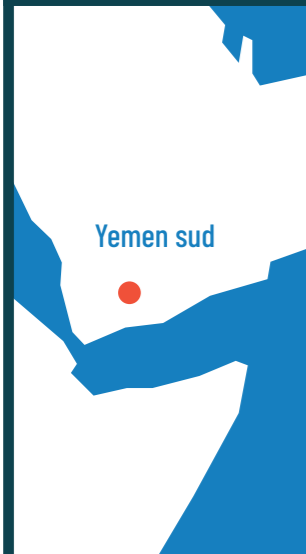
COR n° 11

BOUTURAGE DE CORAIL AU YEMEN SUD POUR RÉIMPLANTATION SUR UN SUBSTRAT VIERGE

📍 Yemen



Suite à la construction d'une usine de liquéfaction de gaz (GNL), l'opération réalisée par CREOCEAN était destinée à implanter des boutures de coraux sur des structures en béton ou des colonies coralliennes mortes.



Projet	Bouturage de corail consécutif à la construction d'une usine GNL
Site	Balhaf, Yemen
Espèces.....	<i>Acropora cf muricata</i> , <i>Pocillopora damicornis</i> , <i>Pavona cactus</i> , <i>Montipora sp.</i> , <i>Stylophora pistillata</i> , <i>Porites cf lutea</i> , <i>Echinopora gemmacea</i> , <i>Favorites pentagona</i> , <i>Pavona clavus</i> , <i>Favorites peresi</i> , <i>Hydnophora exesa</i> , <i>Cyphastrea microphthalma</i> , <i>Goniopora minor</i> , <i>Galaxea fascicularis / astreata</i>
Surface	825 m ² pour la seconde phase
Taux de réussite.....	30 à 40 % de survie et développement des boutures
Coût	NA
Année.....	2009 pour la restauration et 2012 pour le contrôle
Acteur terrain.....	dutrieux@creocean.fr

Objectif

À la fin des travaux de construction de l'usine de GNL et malgré les précautions prises, quelques zones coralliennes ont été dégradées, laissant un substrat dur vierge de colonies vivantes. Afin de compenser les dommages observés, une action de colonisation de ces substrats par des colonies coralliennes a été initiée. L'objectif de l'opération est donc de réimplanter des boutures de coraux sur ces substrats vierges.

Technique

Les boutures de coraux sont recherchées dans des zones saines. Les quantités prélevées ne doivent pas mettre en danger les colonies autochtones. Les coraux ramifiés sont coupés à l'aide de coupe-fils en acier inoxydable. La longueur du fragment est de 5 à 15 cm, avec toujours plus d'une branche par fragment. Les coraux massifs sont détachés à l'aide d'un petit marteau et d'un burin tranchant. Les fragments sont placés dans des paniers en plastique perforés et dans des boîtes ou des séparations pour protéger les fragments. Ils sont collés avec du ciment mélangé à un adjuvant pour les maintenir compacts sous l'eau. Ces fragments sont ensuite protégés contre la prédation des poissons par différentes structures (cages carrées en acier, filet en plastique...).

Deux types de restauration ont été mis en place :

- 1 Une restauration à petite échelle : 1 369 fragments de corail appartenaient à 12 genres / 2 zones ont été restaurés (substrats : 12 acropodes, 9 gros rochers, un banc de *Pocillopora* mort) / Après 8 mois, 50 % des fragments de corail étaient encore vivants.
- 2 Une restauration à grande échelle : 8 454 fragments de corail appartenaient à 6 genres / 6 zones ont été restaurés (blocs de béton artificiel, acropodes, banc de *Pocillopora* mort, *Porites* morts, roches plates basaltiques avec *Stylophora* mort).



Transport des fragments coralliens
© Éric Dutrieux



Fragments coralliens ©Éric Dutrieux

Résultats

Le programme de restauration a permis d'augmenter la couverture corallienne dans toutes les zones surveillées de Balhaf mais avec des résultats variables : là où le recrutement naturel était faible (ou inexistant sur substrats artificiels), la restauration était efficace pour accélérer le rétablissement des coraux. Cependant, sur des substrats naturels favorables au recrutement naturel, la restauration fournit un bénéfice plus faible comparativement au processus de colonisation naturelle. Trois ans après les opérations de restauration, le pourcentage de survie et de développement est assez variable (entre 30 % et 40 %), avec une adaptation et une résistance en fonction de l'espèce, suggérant que la méthode de restauration pourrait être améliorée par une étude de faisabilité plus poussée.

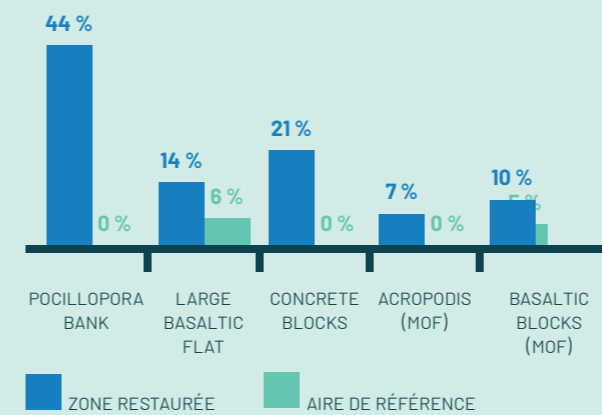


Figure Couverture corallienne en pourcentage entre la zone restaurée et l'aire de référence



Fragments coralliens trois ans après transplantation
©Éric Dutrieux

Retour d'expérience

La phase de faisabilité est importante pour définir les meilleures méthodes et espèces à utiliser lors d'une deuxième étape à plus grande échelle. Pour ce programme, seuls quelques mois séparent les deux phases de faisabilité et de réimplantation à grande échelle ce qui semble un peu insuffisant pour choisir judicieusement les colonies à implanter. Nous recommandons de consacrer plus d'efforts aux études préliminaires, y compris les études hydrodynamiques et une étude à plus long terme sur la croissance du corail. De plus, les méthodes doivent être adaptées à chaque site pour optimiser le succès opérationnel. Le choix des espèces s'est avéré crucial pour le taux de survie et devrait être considéré avec le plus grand soin à l'avenir. Les vitesses de croissance des coraux doivent également être prises en compte : elles peuvent être très variables selon les espèces.

Références

- 1 CREOCEAN, 2010 : Yemen LNG, Coral monitoring during the construction phase. Synthesis report. Report prepared for Yemen LNG company.
- 2 CREOCEAN, 2012 : Yemen LNG, Monitoring of the coral transplantation and restoration areas. Report prepared for Yemen LNG company.

CONCLUSION SUR LES RÉCIFS CORALLIENS

Si les résultats des mesures présentées dans les fiches techniques sont globalement satisfaisants, avec des taux de survie et de croissance élevés, quels que soient les types de projets (transplantation, pépinières), certaines précautions de mise en œuvre sont à respecter. En particulier la nécessité de réduire les facteurs de stress et de mortalité corallienne avant d'envisager toute mesure de restauration.

Avant tout projet de réparation, il est essentiel de rétablir les bonnes conditions environnementales pour éviter les mortalités élevées (Bowden-Kerby, 2003). Il est également nécessaire de prendre en compte les risques de pollution bactérienne et virale et de dispersion de pathogènes lors du choix des colonies mères. Une période de stabulation des colonies en pépinière peut jouer le rôle de quarantaine avant leur transplantation sur site d'accueil. Liman et Schopmeyer (2016) précisent que le déplacement de coraux affectés de la pépinière principale vers une zone de quarantaine, est une méthode déjà employée pour limiter la propagation de maladies.

La fragmentation d'une colonie mère en de nombreuses boutures peut également occasionner un appauvrissement génétique des populations transplantées (Meesters *et al.*, 2015). De ce fait les boutures deviennent particulièrement vulnérables aux pressions extérieures. Une diversité génétique minimum devra être conservée au sein des ensembles de boutures d'une même espèce.

Il faut enfin prendre en compte les notions de densité-dépendance dans les mécanismes de régulation des peuplements coralliens. Certaines espèces peuvent interagir favorablement ou défavorablement. Il est primordial de s'inspirer des communautés naturelles les mieux préservées du bassin géographique concerné par le projet pour en identifier les assemblages préférentiels (successions écologiques, interactions intra-et interspécifiques, etc.).

Par ailleurs, la notion de création d'habitats par l'installation de colonies coralliennes est risquée en milieu naturel, car il y a souvent une raison à l'absence de colonies coralliennes (conditions environnementales défavorables, fortes houles, exposition aux cyclones, etc.). En revanche, la création peut être envisagée avec plus de pertinence sur des substrats artificiels ou naturels nouvellement immergés, comme des digues ou des récifs artificiels. Le bouturage peut alors faciliter et accélérer la colonisation naturelle de ces habitats nouvellement créés.

Il convient enfin de remarquer que les résultats fournis concernent des suivis à court ou moyen terme. Or, le développement de colonies coralliennes peut prendre plusieurs dizaines, voire centaines d'années. Si un suivi fréquent et régulier est de mise pour les premières phases suivant la manipulation des colonies coralliennes, passé les premiers mois d'acclimatation, un suivi plus espacé, mais sur une plus longue période (5 à 10 ans), pourrait être programmé.



An underwater photograph showing a dense field of seagrass in the foreground. The seagrass has long, narrow, green leaves. In the background, many small, blue fish are swimming in clear, sunlit water. The overall scene is vibrant and healthy.

4

LES HERBIERS

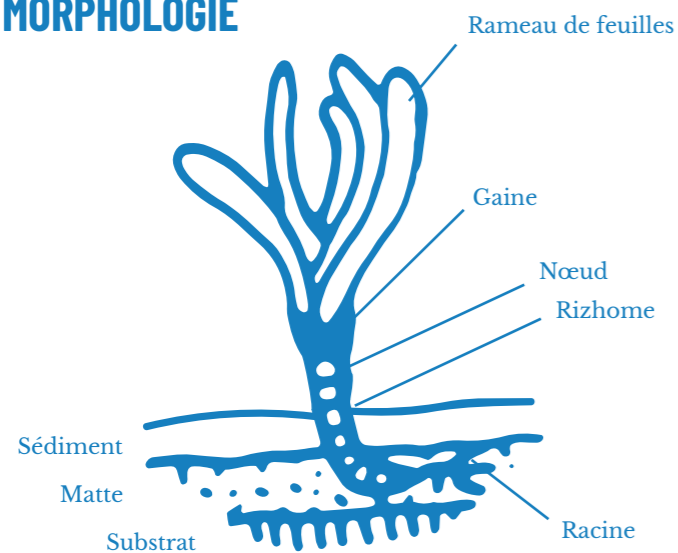
Les herbiers de phanérogames marines sont largement répandus le long des côtes tempérées et tropicales du globe. Ils recouvrent généralement des substrats sableux ou vaseux et sont localisés dans des eaux claires et peu profondes, une caractéristique nécessaire pour capter une lumière suffisante pour la photosynthèse (Green et Short, 2003). Ils sont un véritable pôle de biodiversité et sont aussi considérés comme ingénieurs d'écosystème (Short *et al.*, 2007), ce qui accentue la nécessité de protéger les habitats qu'ils forment. Or, la disparition des herbiers pose le point de départ d'un effet cascade sur la dynamique trophique de la zone considérée (Orth *et al.*, 2006). Ces écosystèmes, souvent utilisés comme nurseries par de nombreux organismes, sont à la base de cycles écologiques pouvant être complexes.

LES GRANDS ENJEUX DE LA CONSERVATION DES HERBIERS

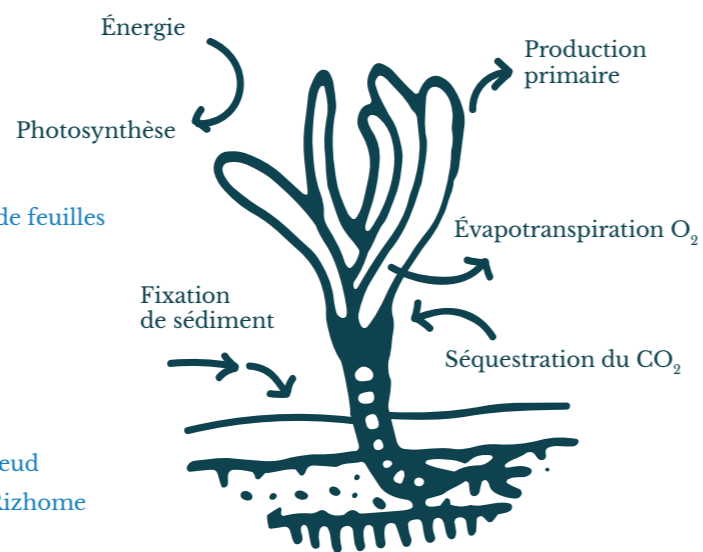
Les herbiers marins sont des prairies sous-marines constituées d'espèces de plantes à fleurs monocotylédones de l'embranchement des phanérogames. Les premières traces en milieu marin sont apparues il y a environ 100 millions d'années (Hemminga et Duarte 2000). Au fil de leur évolution, les herbiers ont développé des

adaptations à leur environnement : la capacité de survivre à une salinité élevée ou variable, le développement d'un système racinaire efficace pour un meilleur ancrage dans le substrat, le couplage d'une reproduction végétative et sexuée (Green et Short, 2003). **Ces plantes sont présentes dans tous les océans excepté en Antarctique (figure 13), cependant leur couverture représente seulement 0,2 % du fond de l'océan (Fourqurean et al., 2012), soit une superficie de 177 000 à 600 000 km² (Duarte, 2013).** On les retrouve donc dans six bio-régions : quatre régions tempérées (Atlantique nord, Pacifique nord, Méditerranée et océans de l'hémisphère sud) et deux régions tropicales (Atlantique tropicale et Indo-Pacifique tropical) (Short et al., 2007). **Comparés aux récifs coralliens et aux mangroves, les herbiers ont une répartition géographique très vaste (Orth et al., 2006).**

MORPHOLOGIE



FONCTIONS



QUELQUES CHIFFRES



Les herbiers sont présents dans 6 bio-régions : 4 régions tempérées et 2 régions tropicales.



Leur couverture littorale représente

0,2 % du fond de l'océan.

La superficie estimée est comprise entre 177 000 et 600 000 km²

LES RÔLES DES HERBIERS ?

Il existe une soixantaine d'espèces d'herbiers dans le monde (Short et al., 2007), jouant plusieurs rôles essentiels dans le domaine côtier :



Filtration des nutriments et des contaminants

Avec l'accumulation des contaminants en provenance de la colonne d'eau et du sédiment, **les herbiers jouent un véritable rôle dans l'épuration des eaux, mais aussi dans le maintien de la qualité de l'environnement immédiat et des habitats adjacents** (Green et Short, 2003).



Séquestration du carbone

Les herbiers ont la capacité de stocker du carbone sur une longue période (Mc Leod 2011, Duarte et al., 2013, Fourqurean et al., 2012) à savoir : 48 à 122 millions de tonnes de carbone séquestrées par an.



Rôle de nurserie

Les herbiers de phanérogames marines constituent un **habitat côtier très riche et productif, en abritant un nombre conséquent d'espèces marines** d'importance écologique à tous les niveaux trophiques, dont certaines sont menacées d'extinction (Christianen et al., 2014 ; Hemminga et Duarte 2000 ; Heck et al., 2003 ; Orth et al., 2006 ; vanTussenbroek et al., 2006)



Source de matière organique production primaire

De nombreuses espèces se servent des herbiers comme source de nourriture, par exemple les tortues, les dugongs ou encore certains poissons herbivores. **Les herbiers figurent donc à la base de plusieurs chaînes alimentaires** (Green et Short, 2003 ; Orth et al., 2006).



L'écosystème aquatique le plus productif

À la manière des récifs coralliens, **les herbiers abritent une importante diversité d'espèces**. Elles sont nombreuses à bénéficier de leurs présences (Green et Short, 2003).



Services écosystémiques

Les herbiers rendent de nombreux SE. Ils jouent par exemple un **rôle contre l'érosion du trait de côte**, un rôle de régulation en stabilisant le sédiment et en protégeant les côtes de l'érosion (Bourdouesque 2001 ; Koch 2007 ; Koch et al. 2012 ; Christianen et al. 2013). Autre exemple, le rôle des herbiers denses dans **l'atténuation du changement climatique via la séquestration du carbone** (Duarte et al. 2005 ; Mcleod et al. 2011 ; Fourqurean et al. 2012) Enfin, la diversité des espèces présentes dans ces herbiers conduit in fine à une **source d'extraction de nourriture pour les populations humaines côtières pratiquant la pêche artisanale et de subsistance** (de la Torre-Castro et Rönnbäck 2004 ; Björk et al. 2008 ; Unsworth et Cullen 2010 ; de la Torre-Castro et al. 2014)

Il est donc nécessaire de protéger ces écosystèmes. Cependant, de nombreuses menaces pèsent sur ces herbiers.

QUELLES SONT LES MENACES ?



MENACES D'ORIGINE NATURELLE

Les menaces recensées sont souvent liées aux changements globaux ou à la mauvaise gestion des bassins versants. La menace la plus commune est l'excès de sédiment qui engendre un manque de luminosité causant, d'après Orth et al. (2006), un déclin significatif des herbiers.



Surpâturage des herbivores

Conséquence de la surpêche de leurs prédateurs (Bourdouesque, 2001). Il peut aussi être dû à la réduction de la surface en herbiers. Les besoins des herbivores deviennent alors supérieurs à la production naturelle des surfaces restantes, favorisant le risque de déclin.



Évènements climatiques extrêmes

Cyclones, ouragans, etc. Ils ont eux aussi des impacts sur ces communautés, notamment en **accéléralant l'érosion sédimentaire et la diminution de la salinité**.



Marées de vives eaux

Ces grandes marées **émergent les plants, entraînant ainsi leur dessiccation**.



MENACES D'ORIGINE ANTHROPIQUE

Les herbiers sont également très exposés aux pressions anthropiques directes. Parmi ces dernières on peut citer (liste non exhaustive) :



Pollution agricole, industrielle, urbaine et aquacole

Peut entraîner une hyper sédimentation, une eutrophisation, une accumulation de déchets, d'hydrocarbures ou encore de métaux lourds.



Arrachage

Par des engins de pêche, ou d'ancrages par exemple.



Dragage

Destruction physique des herbiers et remise en suspension du sédiment environnant.

TECHNIQUES D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE LES HERBIERS

Cette section porte sur les techniques d'Ingénierie Écologique employées pour les herbiers. Elle comprend les définitions des techniques les plus couramment employées ainsi que quelques exemples de projets réalisés de par le monde.

- page 61 **La transplantation**
- page 62 **La micropropagation**
- page 63 **L'ensemencement**
- page 64 **La gestion passive**

LA TRANSPLANTATION

La transplantation est la technique d'Ingénierie Écologique la plus utilisée pour la réparation des herbiers, car les résultats sont visuellement observables après la réparation. (Oceana, 2010). Il s'agit de réimplanter des mottes ou des boutures de phanérogames marines depuis un site donneur vers un site receveur. Il existe différentes méthodes de transplantation :



Technique manuelle



Transport d'herbiers sur site receveur ©Guadeloupe Port Caraïbes, 2017

Les boutures ou les mottes, sont transplantées manuellement sur le site dégradé. Le prélèvement des plants peut se faire de plusieurs manières :

– « **Plug method** » prélèvement de carottes à l'aide de tubes en PVC ou en métal.

Avantages de la « Plug Method » : ❶ limite le prélèvement du sédiment environnant. ❷ limite la dégradation des racines et rhizomes. Les mottes sont plus résistantes à l'érosion.

Inconvénients de la « Plug Method » : impact sur le site donneur.

– « **Staple method** » regroupement de plants à l'aide d'agrafes qui seront ensuite transplantés dans le sédiment (Fonseca et al., 1998).

Avantages

❶ Les **groupements en mottes** augmentent les taux de survie des plants (Zarranz et al., 2010).

❷ La transplantation manuelle permet de **contrôler la fixation** des plants dans le sédiment (Bell et al., 2008) et elle **minimise les dommages sur le site donneur** (Lanuru, 2011).

* moyenne des données disponibles pour une période de suivi de 3 ans et plus. Ces valeurs sont à prendre avec la plus grande prudence. Nous invitons le lecteur à se référer à la page 102 du guide.

Technique mécanisée



Engin mécanique capable de transplanter (ECOSUB2) (Keulen, 2002)

Utilisation d'engins mécanisés capables de prélever des mottes d'herbiers et de les réimplanter ensuite.

Avantage de la technique mécanisée : Transplantation rapide (un hectare en 44 jours) (Keulen, 2002 ; Seddon, 2004).

Inconvénients de la technique mécanisée : La perte de plants lors du prélèvement et le manque de suivi lors de la plantation sur le site receveur entraînent des pertes (Bell et al., 2008).

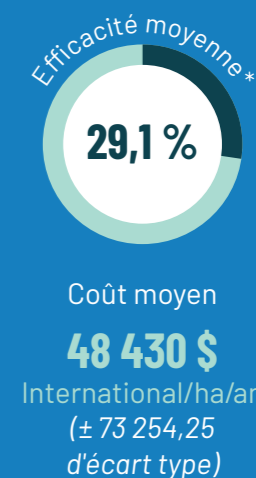
C'est une méthode qui ne présenterait qu'une faible amélioration par rapport à la technique manuelle (Fishman et al., 2004).

Inconvénients

❶ **Cette méthode est applicable à de petites surfaces.** Cela est dû au fait que la transplantation nécessite une main d'œuvre, une récolte minutieuse des pousses et une transplantation à la main (Björk et al., 2008 ; Oceana, 2010).

❷ **Le site donneur est dégradé** au profit du site receveur, bien que ces dommages soient contrôlés (Oceana, 2010).

❸ **Les coûts économiques et logistiques sont élevés** (Oceana, 2010).



LA MICROPROPAGATION

Aussi appelée culture *in vitro*, la micropropagation est une méthode de développement en milieu contrôlé qui permet de régénérer des plants à partir de graines ou de bourgeons terminaux (Fonseca *et al.*, 1998 ; Zarranz *et al.*, 2010). Les plants cultivés seront ensuite transférés dans le milieu.



Récupération des graines



Développement en laboratoire



Plantation sur site

Efficacité moyenne

NA

Coût moyen

NA



Culture d'herbiers ©Mariane Aimar-Godoc



Avantages

- ❶ Produit un grand nombre de souches sans contraintes saisonnières (Fonseca *et al.*, 1998).
- ❷ Contrôle le développement pour de meilleurs taux de survie (Zarranz *et al.*, 2010).
- ❸ Possibilité de choisir des souches résistantes aux maladies et aux stress (Fonseca *et al.*, 1998).
- ❹ Améliore la diversité génétique (Fonseca *et al.*, 1998 ; Zarranz *et al.*, 2010).
- ❺ La production en série permet de réduire les coûts (Fonseca *et al.*, 1998).
- ❻ Alternative plus rentable.

Inconvénients

- ❶ Ne fonctionne pas pour toutes les espèces (difficile pour *S. filiforme* et *T. testudinum*).

L'ENSEMENCEMENT

C'est une technique qui consiste à récupérer les graines matures sur un site donneur, puis à les semer directement dans la zone à restaurer.



Prélèvements des graines sur site donneur



Transport vers site receveur



Ensemencement sur site receveur

Efficacité moyenne

NA

Coût moyen

NA



Collecte de graines d'herbiers ©Mariane Aimar-Godoc

Avantages

- ❶ Les coûts sont moindres (Oceana, 2010).
- ❷ Les impacts sur le site donneur seraient peu marqués (Oceana, 2010).

Inconvénients

- ❶ Les résultats ne sont pas visibles immédiatement : établissement lent (Oceana, 2010).

LA GESTION PASSIVE

Méthode d'amélioration du recrutement naturel

La méthode d'amélioration du recrutement naturel consiste à favoriser la propagation et le développement des herbiers grâce à l'utilisation de toiles de jute installées à même le sol, pour que les herbiers s'y accrochent en grappins et s'y développent (Wear *et al.*, 2006). Afin que cette gestion passive soit efficace, il est essentiel de privilégier un site ayant des densités de semis plus élevées (Wear *et al.*, 2006).



Développement d'herbiers sur une toile de jute (Wear *et al.*, 2006)

Avantages

- ❶ **Méthode très peu chère et peu invasive** (sacs biodégradables et possibilité de les ôter) (Wear *et al.*, 2006).
- ❷ **Aucun impact sur les sites sources** (Irving *et al.*, 2010).
- ❸ Fournit aux semis un **environnement sédimentaire stable** propice à l'établissement des systèmes racinaires (Irving *et al.*, 2010).
- ❹ **Aucune technicité de mise en œuvre** nécessaire (possibilité de mise en œuvre par une main d'œuvre peu qualifiée).

Inconvénients

- ❶ **Connaissance accrue** des mécanismes naturels de dissémination **des herbiers nécessaires** (graines et rhizomes).
- ❷ **Temps d'obtention des résultats** attendus relativement **long**.
- ❸ Technique favorisant un processus naturel mais **inadéquate pour un remplacement total** de ces processus.
- ❹ **Risque de compétition avec les autres organismes** (algues, mollusques, crustacés, etc.) lors de l'installation des plants.

FICHES PRATIQUES LES HERBIERS

- P. 66 - 67 **Transplantation d'herbiers à Sainte Rose**
- P. 68 **Transplantation d'herbiers à la Riviera du Levant**

HER n°1

TRANSPLANTATION D'HERBIERS À SAINTE ROSE

Guadeloupe



Transplantation effectuée depuis le port départemental de Sainte Rose vers un site d'accueil à proximité immédiate. La maîtrise d'ouvrage était assurée par le Conseil Général de Guadeloupe et la maîtrise d'œuvre a été effectuée par Créocéan en 2012.

Sainte Rose



Projet Compensation Portuaire de Ste Rose
 Site Port de Ste Rose
 Espèce Herbe à tortue (*Thalassia testudinum*)
 Surface 4 635 m²
 Taux de réussite NA
 Coût 388 839 €
 Année 2012
 Acteur terrain NA

Objectif

L'objectif de l'opération était de créer une nouvelle zone d'herbiers afin de compenser les effets des travaux d'aménagement d'une digue portuaire. Le site d'accueil était situé à proximité du port départemental de Sainte Rose et a été choisi selon ses caractéristiques physico-chimiques et environnementales.

Technique

Une transplantation manuelle de l'herbe à tortue a été effectuée. Les travaux ont duré 10 semaines. Deux techniques ont été utilisées afin d'obtenir le plus de chances de succès :

Technique avec ancrage pour 1 635 m²

Fixation de boutures :

- ① Sur des dalles en ciment percées de 36 trous de 10 cm de diamètre.
- ② Sur des grillages métalliques.
- ③ Sur des piquets tuteurs ou crochets en U.
- ④ Sur des toiles de jute.

Technique sans ancrage pour 3 000 m²

Récupération de mottes (rhizome et sédiment) à l'aide d'une pelle ou d'un carottier. Tailles des mottes :

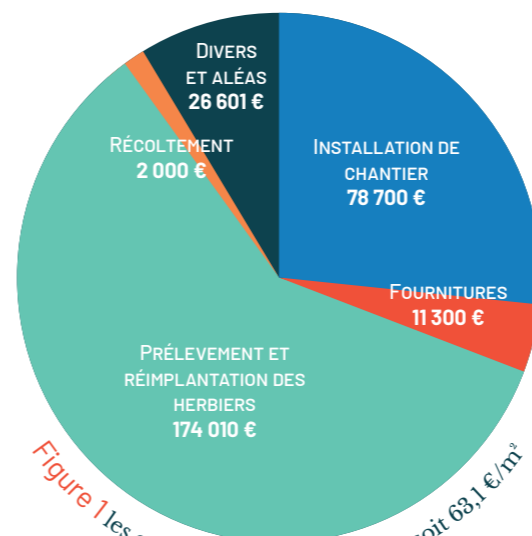
- ① 10 cm x 10 cm
- ② 20 cm x 20 cm Réimplantation sous forme de quadrats de 20,25 m².

Tableau 1 Récapitulatif des différentes techniques de transplantation manuelle

ANCRAGE	TECHNIQUES	UNITÉ DE SURFACE (u)	SURFACE RECRÉÉE
SANS	Mottes (10x10 cm) sur 100 m ²	Quadrat de 20,25 m ²	1 500 m ²
	Mottes (20x20 cm) sur 400 m ²	Quadrat de 20,25 m ²	1 500 m ²
AVEC	Dalles en ciment percées	Dalles de 1 m ²	112,5 m ²
	Treillis soudés	Treillis de 1 m ²	112,5 m ²
	Tuteurs ou crochet en U	Quadrat de 1 m ²	860 m ²
	Toile de jute	Toile de 1 m ²	550 m ²

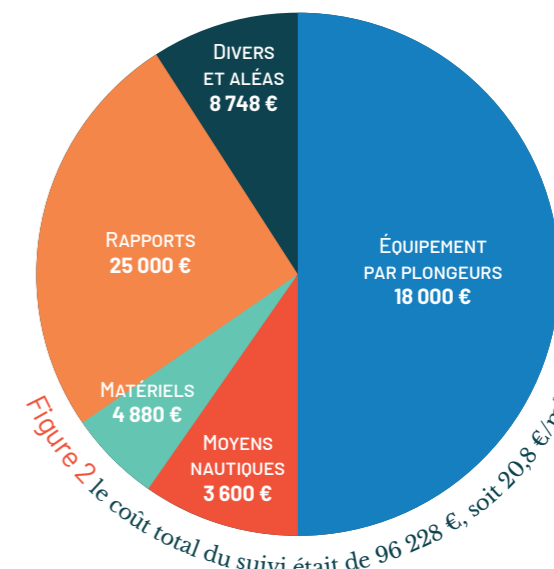
Coûts de la réimplantation

Le coût de la réimplantation était de **292 611€**



Suivi environnemental

Sur une durée de 5 ans, à raison de 2 j./trimestre pour la première année, puis 2 j./an pour les quatre années suivantes, le suivi a été effectué par des plongeurs biologistes. L'efficacité des deux techniques utilisées a été mesurée, un suivi physico-chimique de l'eau a été réalisé. L'observation de l'expansion des transplants s'est faite avec des bornes repères. La qualité bactériologique et chimique des eaux ainsi que le suivi de l'état écologique de l'herbier ont été mis en œuvre dans le cadre de la surveillance DCE



Taux de réussite (%) : NA	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : 5 ans		
Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création

Action visant à créer un habitat sur un site où il n'existait pas initialement.
 Interventions faisant appel à des travaux

Les facteurs techniques d'influence du risque :

Espèces déplacées	1
Technique de prélèvement	prélèvement de mottes
Technique de fixation	plantation de mottes ou fixation de boutures sur différents substrats (dalles en ciment, grillages métalliques, toiles de jute, piquets ou crochets en U).
Moyens de transport	par petite embarcation
Temps de transport	NA

Références

- ① Mesures de surveillance, d'analyses du port départemental de Sainte-Rose : - surveillance de la qualité des eaux - suivi environnemental des herbiers, Creocéan et Conseil Général de Guadeloupe, juin 2014.
- ② Marché de Maîtrise d'Œuvre relatif à la réalisation des études environnementales complémentaires en vue de la réalisation des infrastructures projetées dans le port départemental de Sainte-Rose, phase 3

HER n°2 TRANSPLANTATION D'HERBIERS À LA RIVIERA DU LEVANT

📍 Guadeloupe



Transplantation effectuée le long de la côte sud de Grande Terre. La maîtrise d'ouvrage est le Grand Port Maritime de la Guadeloupe et la maîtrise d'œuvre était assurée par la CDC Biodiversité et Coraïbes (SARL : Société dédiée à la restauration écologique marine).



Bas du Fort

Projet	Culture et transplantation d'herbiers
Site	Petit-Cul-de-Sac-Marin et Riviera du Levant
Espèce	Herbe à tortue (<i>Thalassia testudinum</i>)
Surface	NA
Taux de réussite	NA
Coût	45 574 €
Année	2017
Acteur terrain	mariane@coraibes.com

Objectif

L'objectif de cette transplantation était le renforcement des populations déjà existantes d'herbiers à *Thalassia testudinum* sur les sites de Petit-Cul-de-Sac-Marin et Riviera du Levant.



Culture de *Thalassia testudinum*
©Mariane Aimar-Godoc



Collecte de graines de *Thalassia testudinum* ©Mariane Aimar-Godoc

Technique

Initialement, des graines d'herbe à tortue (*Thalassia testudinum*) ont été récoltées le long de la côte de Grande Terre puis cultivées en milieu contrôlé (ayant des conditions similaires au site receveur). Cette mise en culture a permis le suivi de la floraison et de la fructification des herbiers. Un total de 200 graines a été mis en culture, soit dans des pots soit sur des toiles de jute. Après un développement suffisant des plants en culture, une transplantation manuelle a été effectuée.

Deux techniques de transplantation ont été mises en œuvre :

- 1 **Technique avec ancrage** L'ancrage se fait grâce à des toiles de jute sur lesquelles les plants vont se développer.
- 2 **Technique sans ancrage** Les plants cultivés sont transplantés dans des trous préalablement réalisés dans le sédiment.

Suivi environnemental

Afin de suivre l'état écologique des herbiers transplantés, une phase d'observation a été réalisée. La densité des herbiers et les paramètres physiques du milieu ont été mesurés sur chacun des sites. Le suivi s'est fait de manière bimensuelle sur une durée totale de 6 mois. La phase de culture (lancée début juillet 2017) est toujours en cours. Un contrôle des paramètres physico-chimiques des bacs de culture était assuré quotidiennement ainsi qu'un entretien régulier pour contrôler le développement des algues. La croissance des plants était également mesurée régulièrement.

Références

- 1 Analyse régionale Guadeloupe, synthèse des connaissances. Université des Antilles et de la Guyane, Parc National de Guadeloupe et Agence des Aires marines protégées. 2013.
- 2 Rapport des Etudes de l'Aquarium. 2012

CONCLUSION SUR LES HERBIERS

Les objectifs de restauration, les conditions locales, les espèces d'herbiers et les budgets alloués déterminent l'approche de plantation la plus appropriée pour un site donné (Björk *et al.*, 2008).

Plusieurs conditions sont à respecter pour augmenter les chances de réussite d'un projet de restauration, comme par exemple (d'après Paling *et al.*, 2009 ; Cunha *et al.*, 2012; Van Katwijk *et al.*, 2016) :

- 1 Définir les buts et les objectifs clairs du projet et sélectionner les sites appropriés
- 2 Définir les méthodes adaptées aux conditions du/des sites, le temps de surveillance et les critères de réussite du projet
- 3 Connaître et éliminer les menaces locales (bioturbation, herbivorie, hydrologie, impact anthropique, *etc.*) avant de lancer des projets
- 4 Initier des essais de restauration à petite échelle avant d'engager des projets de grande envergure
- 5 Minimiser les dommages sur le site donneur
- 6 Répartir les essais sur différents sites et utiliser des méthodes différentes pour améliorer le succès et l'efficacité des restaurations
- 7 Faire preuve de flexibilité en cas d'événements inhabituels, la gestion adaptative devrait être la base d'un projet de restauration
- 8 Apprendre des expériences passées et utiliser les informations obtenues pour améliorer les méthodes
- 9 La publication des résultats et le partage d'expériences est essentiel

Il est important de préciser que si un habitat naturel donné ne présente naturellement pas d'herbier, alors il n'y a pas lieu d'avoir recours à de la restauration. En effet, cette absence est probablement dû à plusieurs raisons (hydrodynamique, qualité de l'eau, du sédiment, des apports nutritifs, *etc.*).

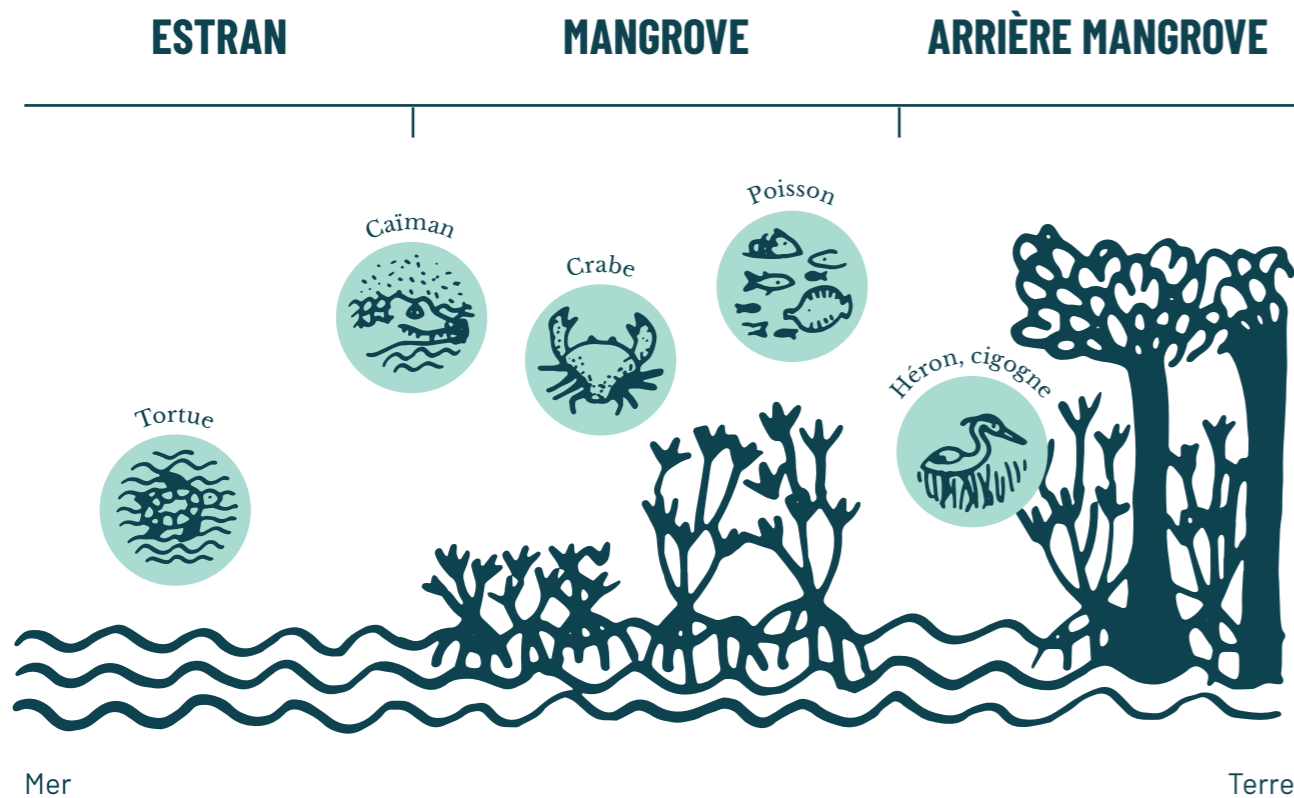
5

LES MANGROVES

Situées en amont de lagon, de frange, d'estuaire ou de bassin de mangrove dans les régions inter-tropicales, les mangroves font le lien entre le milieu marin et terrestre. Elles se développent en eaux calmes dans les zones de balancement des marées. Cet écosystème est un indicateur de l'évolution et du bon état du littoral (Blasco *et al.*, 1996). Il est considéré, au même titre que les herbiers, comme un écosystème associé aux récifs coralliens.

LES GRANDS ENJEUX DE LA CONSERVATION DES MANGROVES

Situées à l'interface entre le milieu marin et le milieu terrestre, les mangroves recouvrent environ 152 000 km² des zones côtières (figure 14). Elles sont localisées dans les régions intertropicales, en amont de lagon, de frange, d'estuaire ou de bassin de mangrove. Les mangroves sont définies comme étant des formations arborées qui évoluent, à de rares exceptions près, dans la zone intertidale des littoraux tropicaux. Elles se développent en eaux calmes dans les zones de balancement des marées. Certaines exigences écologiques, comme un substrat meuble et pauvre en oxygène ainsi qu'une salinité relativement élevée ou variable, permettront la croissance des palétuviers, espèces fondatrices des mangroves.



QUELQUES CHIFFRES

La France possède **103 427 ha de mangroves**, ce qui la situe à la **32^e place à l'échelle mondiale** (Roussel et al., 2010). Cependant, la surface totale des mangroves est difficile à estimer. En effet, le manque de données dans certaines régions en est la première raison. L'absence de références antérieures et le fait que ce soit un écosystème très changeant (accrétion/érosion rapide) empêchent une réelle estimation de ces surfaces.



Les mangroves sont présentes dans certains territoires d'Outre-mer



LES RÔLES DES MANGROVES ?

Les mangroves fournissent de nombreux services :



Fixation des sédiments

Les mangroves permettent de filtrer, retenir, piéger et fixer le sédiment en provenance des terres, protégeant ainsi les lagons d'une sédimentation excessive (Roussel *et al.*, 2010 ; Quod et Malfait, 2016).



Un écosystème aquatique très productif

Les mangroves présentent une biodiversité importante « [...] lieux de reproduction et de nurserie pour de nombreuses espèces d'oiseaux et de poissons qui ont des valeurs économiques non négligeables pour les communautés locales » (Quod et Malfait, 2016).



Fertilisation

D'après Roussel *et al.*, (2010) les mangroves ont un rôle dans la fertilisation du lagon. Le développement des herbiers et du phytoplancton se voit accentué par l'apport en nutriments provenant des mangroves.



Zône de protection de la côte

Grâce à leurs racines, les mangroves ont la capacité de disperser les vagues, réduisant ainsi « l'énergie d'une vague à 75 % lorsqu'elle passe à travers 200 mètres de mangroves » (Roussel *et al.*, 2010).



Réduction des émissions de CO₂

Les mangroves disposent, en tant que producteurs primaires, d'une fonction de purification de l'air avec l'exportation ou la séquestration du dioxyde de carbone. En effet, la mangrove peut être un puits ou une source de carbone (Cormier-Salem et Panfili, 2016).

Services écosystémiques

De nombreux SE sont aussi associés aux mangroves. Elles possèdent en leur sein une grande diversité d'espèces marines pouvant être exploitées. De nombreux pays y pratiquent une pêche vivrière (pêche aux crabes, aux coquillages, aux poissons et y prélèvent du bois pour la cuisine et les habitations). Les mangroves ont aussi une attractivité à l'égard du tourisme. Cette attractivité s'est développée au fil des années grâce à l'écotourisme et à la mise en place de sentiers de découverte (Roussel *et al.*, 2010).



QUELLES SONT LES MENACES ?

MENACES D'ORIGINE NATURELLE



Les cyclones

Le cyclone est la cause naturelle qui engendre les plus fortes dégradations dans les mangroves. Ces événements climatiques conduisent à un déracinement et à la destruction de la ceinture d'arbres pionniers (Roussel *et al.*, 2010), ce qui engendre par la suite une érosion sédimentaire.



La sécheresse

Les épisodes de sécheresse ont surtout une action sur le sol, entraînant « une augmentation de l'aridité, de la salinité et de l'acidité » (Roussel *et al.*, 2010). Ces épisodes favorisent également la survenue d'incendies, qui peuvent détruire de vastes surfaces de mangroves.



Une houle importante

De la même manière que les cyclones, une houle d'intensité élevée peut aboutir à des arrachages de plants et à la fragilisation des racines.

MENACES D'ORIGINE ANTHROPIQUE



Les aménagements urbains

Les activités de dragage lors d'aménagements urbains peuvent asphyxier la mangrove et engendrer une acidification du sol (Roussel *et al.*, 2010). Certains aménagements peuvent également modifier les transits sédimentaires ou modifier le débit des rivières situées en amont, occasionnant des asphyxies ou, au contraire, des déracinements de palétuviers.



La pollution et les déchets

De nombreux déchets et polluants altèrent les mangroves. On retrouvera par exemple les déchets ménagers, les POPs (Polluants Organiques Persistants), les composés chimiques toxiques, etc. La pollution a plusieurs origines, mais les conséquences vont d'un dysfonctionnement du milieu à la destruction complète de la mangrove (Roussel *et al.*, 2010).



L'exploitation des mangroves

Les palétuviers sont parfois exploités lors de projets de construction ou en tant que charbon de bois, etc.

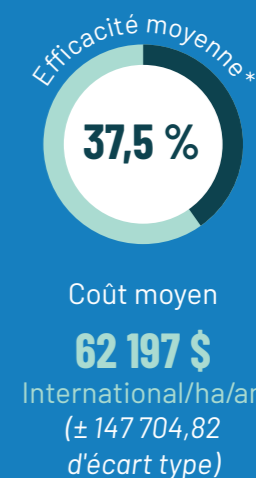
TECHNIQUES D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE LES MANGROVES

Cette section porte sur les techniques d'Ingénierie Écologique employées pour les mangroves. Elle comprend les définitions des techniques les plus couramment employées ainsi que quelques exemples de projets réalisés de par le monde.

page 77	La transplantation
page 78	L'ensemencement
page 79	La pépinière
page 80	La gestion passive

LA TRANSPLANTATION

Cette méthode consiste à transplanter des plants d'âges variables sur un site receveur. Il est important de préciser que le choix des espèces à transplanter dépend du site de transplantation. De plus, des espèces présentes à proximité immédiate du site sont préférables, alors que des plantations monospécifiques sont à éviter (Pole-Relais Zones Humides tropicale, 2018).



Transplantation de palétuviers en Indonésie (© YaGaSu)



Projet pédagogique de transplantation de palétuviers par des enfants en Guadeloupe (© Guadeloupe Port Caraïbes)

Avantage

① Méthode préconisée **lorsque la gestion passive n'est plus possible** (Pole-Relais Zones Humides Tropicales, 2018).

Inconvénients

① **Une fragilisation des racines** est observée lors de la récolte des plants, sur le site donneur et lors de la replantation, diminuant les taux de réussite (Guiraud et Poveda, 2014).

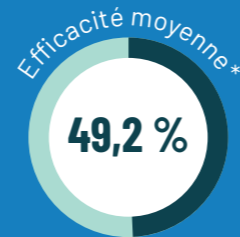
② **Impact possible sur le site donneur** dans le cas d'un prélèvement de plants en milieu naturel.

* moyenne des données disponibles pour une période de suivi compris d'un an à 5 ans.

Ces valeurs sont à prendre avec la plus grande prudence. Nous invitons le lecteur à se référer à la page 103 du guide.

L'ENSEMENCEMENT

Technique qui consiste à récupérer les graines ou propagules sur un site donneur puis à les semer directement sur la zone à réparer. Il existe plusieurs méthodes d'ensemencement.



Coût moyen
11 767 \$
International/ha/an
(± 14 324 d'écart type)

Plantation directe

La plantation directe consiste à récupérer les graines ou propagules et à « forcer » leur implantation dans le sédiment d'un site précis (Guiraud et Poveda, 2014).



Collecte de propagules (Guiraud et Poveda, 2014)



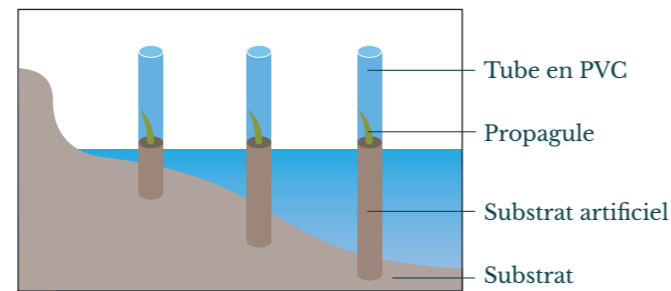
Propagules de palétuviers (Guiraud et Poveda, 2014)



Ensemencement des propagules (Guiraud et Poveda, 2014)

Plantation via la méthode Riley

Développé par Riley en 1995, le principe est de prévenir tout dommage éventuel par l'ancrage d'un tube en PVC translucide contenant le plant. L'intérêt de ce tube est de protéger le plant des débris (bois, algues) ramenés par les marées d'une part, et des éventuels prédateurs et de l'action des vagues d'autre part.



Avantages

- Très peu coûteuse et simple de mise en œuvre, elle peut être déployée à grande échelle dans le cadre de programmes participatifs avec les populations locales (Cf projet MANA'O d'étude des mangroves d'Ouvéa où les communautés locales ont été sollicitées pour ensemercer).
- Cette technique est également **peu invasive** et ne dégrade ni le site d'accueil ni le site de prélèvement.

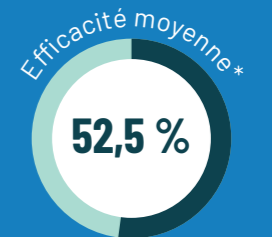
Inconvénients

- Les plants sont souvent fragilisés par la dessiccation, la prédation, les marées (Guiraud et Poveda, 2014).
- Lors de la récolte, les propagules présentes sur le sol sont généralement plus fragilisées : stagnation dans l'eau, action mécanique de la houle (Guiraud et Poveda, 2014).
- L'introduction de plastique dans l'environnement via l'emploi de la méthode Riley par exemple.

* moyenne des données disponibles pour une période de suivi compris d'un an à 2 ans.
Ces valeurs sont à prendre avec la plus grande prudence. Nous invitons le lecteur à se référer à la page 103 du guide.

LA PÉPINIÈRE

La création de pépinières permet de contrôler le développement des propagules jusqu'à l'apparition des racines. Les plants peuvent ensuite être transplantés dans la mangrove (Melana et al., 2000 ; Ravishankar et Ramasubramanian, 2004)



Coût moyen
NA



Pépinière industrielle ©EMR 2012



Pépinière artisanale ©EMR 2012

Avantages

- Méthode particulièrement pertinente lorsque le **taux de régénération naturelle de la mangrove est faible** (Melana et al., 2000 ; Toledo et al., 2001 ; Ravishankar et Ramasubramanian, 2004).
- Cette méthode permet de **s'adapter aux conditions environnementales** du site dégradé pour **minimiser les pertes** (Nguyen, 2016).
- Les plants sont **plus développés donc moins fragiles** lors de la transplantation (Guiraud et Poveda, 2014).

Inconvénients

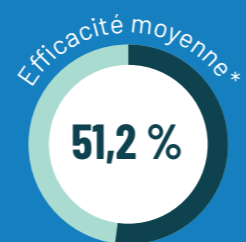
- Le stress lié au transfert pépinière-milieu naturel peut amener à des **échecs de réparation** (Toledo et al., 2001). Il faut donc évaluer tous les facteurs de stress qui influencent l'espèce d'intérêt (Lewis, 2005).
- La pépinière industrielle est plus coûteuse** (Guiraud et Poveda, 2014).

* moyenne des données disponibles pour une période de suivi compris d'un an à 5 ans.
Ces valeurs sont à prendre avec la plus grande prudence. Nous invitons le lecteur à se référer à la page 103 du guide.

LA GESTION PASSIVE

L'auto-régénération naturelle

La gestion passive consiste à favoriser le développement naturel des mangroves. Cette dernière n'est possible que lorsque toutes les conditions environnementales sont adaptées à leur croissance et à leur établissement (Ravishankar et Ramasubramanian, 2004). Il convient donc de trouver les causes des problèmes existants en amont avant de concevoir un projet de restauration (Kamali et Hashim, 2010). Les facteurs limitant l'auto-régénération sont essentiellement dus à la présence de débris végétaux (Hamilton et Snedaker, 1984), à la prolifération d'espèces invasives ou encore à l'abondance de déchets ménagers (Association SOS mangroves NC, 2017) ainsi qu'à la topographie ou à la connectivité hydraulique. Il faut donc les éliminer.



Coût moyen
48 430 \$
International/ha/an
(± 73 244,25
d'écart type)



Avantages

- 1 Le coût est **faible**.
- 2 Il y a **moins de perturbations du sol**.
- 3 Les jeunes plants s'établissent **plus vigoureusement**.

Inconvénients

- 1 **L'action excessive des vagues sur un sol dénudé** peut entraîner un mauvais rétablissement de la mangrove.
- 2 **La prédation sur les propagules** peut entraîner un échec dans la régénération des plants.
- 3 **Il y a moins de contrôle** sur l'espacement des plants.
- 4 **Cette technique demande du temps**. Comme pour toutes les gestions passives, il faut attendre le rétablissement naturel de processus altérés sans intervention humaine facilitatrice.

* moyenne des données disponibles pour une période de suivi de 3 ans et plus.

Ces valeurs sont à prendre avec la plus grande prudence. Nous invitons le lecteur à se référer à la page 103 du guide.



Collecte des déchets sur site ©SOS Mangrove NC

FICHES PRATIQUES LES MANGROVES

- P. 82 - 83 **Transplantation et ensemencement de mangrove à Miréréni**
- P. 84 - 85 **Transplantation et ensemencement de mangrove à Tsoundzou 1**
- P. 86 - 87 **Ensemencement de mangrove à Mbweni**
- P. 88 - 89 **Pépinière et transplantation de mangrove à Balandra**
- P. 90 - 91 **Pépinière de mangrove à Bas du Fort**
- P. 92 - 93 **Gestion passive et ensemencement de mangrove à Nouméa**
- P. 94 - 95 **Gestion passive et ensemencement de mangrove à Touho**

TRANSPLANTATION ET ENSEMENCEMENT DE MANGROVE À MIRÉRENI Mayotte



Restauration effectuée à Mayotte, archipel des Comores, dans la mangrove de Chirongui. La maîtrise d'ouvrage était assurée par la DEAL de Mayotte et la maîtrise d'œuvre effectuée par le bureau d'étude ESPACES : Ingénierie de l'environnement (BP 168 Z.I. Kawéni, 97600 MAMOUZOU, contact@espaces.fr).



Projet Expérimentation de restauration de mangrove
 Site Miréréni
 Espèces Manglier gris (*Avicennia marina*), Palétuvier jaune (*Cerriops tagal*), Palétuvier rouge (*Rhizophora mucronata*)
 Surface 2 047,5 m²
 Taux de réussite Tableau ci-après
 Coût 40 000 € ou 20 €/m²
 Année 2013
 Acteur terrain contact@espaces.fr

Objectif

Une diminution en superficie de la mangrove mahoraise, depuis plusieurs années, a entraîné le recul du trait de côte passant de 140 m à 90 m entre 1949 et 2011. En presque 60 ans, il a été observé une diminution de 6,13 ha. Cette érosion serait due au déferlement des vagues de 0,5 à 0,8 m de hauteur, provoquant le déchaussement des racines et la déstabilisation des troncs. L'origine de cette érosion serait liée à deux facteurs : la remontée du niveau marin dû au changement climatique et la subsidence générale de l'île qui s'accélère suite aux épisodes sismiques ayant eu lieu en mai 2018. L'objectif de l'opération était donc de limiter le recul du trait de côte en réimplantant différentes espèces de palétuviers.



Erosion de la mangrove entraînant le déracinement des plants (©ESPACES)

Suivi expérimental

Le suivi a duré 3 ans. Il s'agissait de mesurer la croissance en hauteur, de compter le nombre de feuilles et les individus morts à remplacer, ainsi que d'observer les traces de prédation à raison de 2 j./mois les 6 premiers mois. Puis la fréquence des suivis est passée à 1 j./trimestre durant les deux ans et demi qui ont suivi. Il y a donc eu un total de 23 journées de contrôle en 3 ans.



Plant d'*A. marina* dans tube de Riley © ESPACES



Tube de Riley brisé, détruisant le plant qui se trouvait à l'intérieur (©ESPACES)

Technique

Suite à ce constat, **une restauration expérimentale de mangrove a été réalisée sur 3 espèces** : ① Manglier gris ② Palétuvier jaune ③ Palétuvier rouge

Le but de cette expérimentation était d'établir un guide méthodologique de restauration de mangroves. Pour réaliser ce projet, plusieurs **méthodes de plantation ont été testées sur différents sites** : ① plantation de plants élevés en pépinière ; ② plantation directe de propagules ; ③ plantation directe de propagules via la méthode de Riley (voir note).

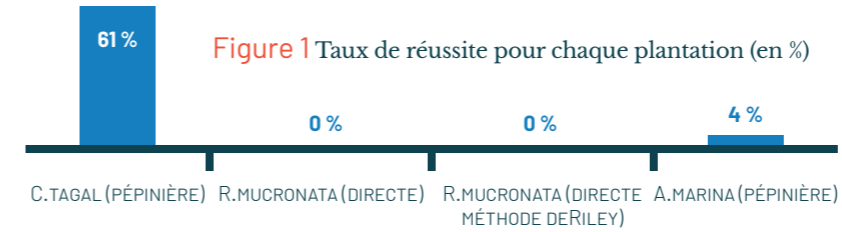
La plantation a été effectuée en avril, à la fin de la période cyclonique lorsque la salinité de l'eau était plus faible et l'action des vagues moins forte.

Tableau 1 nombre de plants plantés pour chacune des espèces

<i>Rhizophora mucronata</i> 288 plants
<i>Cerriops tagal</i> 144 plants
<i>Avicennia marina</i> 144 plants

Retour d'expérience

Ce projet a donné lieu à la rédaction d'un guide méthodologique pour la restauration des mangroves mahoraises à destination des associations. Ce guide est aujourd'hui en cours de réalisation. Il décrit les techniques ayant donné les meilleurs résultats pour chaque espèce. Les expérimentations ont permis de tester différentes méthodes et de conseiller quant à l'utilisation de celles donnant les meilleurs taux de réussite. Olivier Soumille d'ESPACES conclut cependant sur le fait qu'à Mayotte les mangroves touchées ne sont actuellement pas réhabilitables. En effet, le substrat caractérisant la mangrove a été emporté dans les baies ou le lagon, ne permettant plus l'implantation de palétuviers. Selon lui, les actions de réparation à Mayotte seraient vouées à l'échec sur ces secteurs impactés. Il serait alors plus utile de faire du boisement d'arrière mangrove que de travailler sur la mangrove elle-même.



Méthode de Riley

Méthode mise au point pour réimplanter des palétuviers sur des sites ne permettant plus la recolonisation naturelle liée à une dynamique côtière importante ou à des perturbations par des aménagements. Le principe est de prévenir tout dommage éventuel par l'ancrage d'un tube en PVC translucide (d'un diamètre de 3,8 cm) contenant le plant. Fendu longitudinalement, ce tube permet un développement facilité du plant et les échanges hydriques avec le substrat.

Résultats du suivi

Les résultats obtenus en septembre 2016 (figure 1) montraient un fort taux de réussite à 61 % pour l'espèce *Cerriops tagal*. Cependant, pour les autres plants les résultats sont très différents : 4 % des *Avicennia marina* et 0 % des *Rhizophora mucronata*. La disparition totale de *Rhizophora mucronata* s'explique par les dégâts causés durant la saison cyclonique de 2014-2015 ou par la destruction des tubes de Riley suite à une altération chimique des tubes induite par le soleil et le sel. Quant à *Avicennia marina*, ce faible taux de réussite s'explique par le fait que le site était peu propice à la réussite des plantations (salinité élevée) ou par la forte prédation exercée par les crabes.

Taux de réussite (%) : très variables	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : > 3 ans		
Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création
C2 : Action sur un milieu dégradé par l'homme ou par une évolution naturelle, visant à faire évoluer le milieu vers un état plus favorable à son bon fonctionnement ou à la biodiversité, faisant appel à des travaux			
Les facteurs techniques d'influence du risque :			
Espèces déplacées	3		
Technique de prélèvement	plantation de plants élevés en pépinière, de propagules ou de propagules avec la méthode Riley		
Technique de fixation	à même le substrat ou avec le soutien du tube de Riley		
Moyens de transport	NA		
Temps de transport	NA		

Références

- ① Analyse du site envisagé pour la mise en œuvre d'un projet expérimental de restauration de mangrove à Miréréni dans la commune de Chirongui. ESPACES pour Conservatoire du littoral, (août 2012)
- ② Reconstitution du pont de la RN2 sur Kwalé : projet expérimental de restauration de mangroves à Tsoundzou 1 et à Miréréni. Suivi annuel des plantations 2014-2015. ESPACES pour DEAL de Mayotte (novembre 2015)
- ③ Résultats annuels 2016. ESPACES pour DEAL de Mayotte (juillet 2017)

TRANSPLANTATION ET ENSEMENCEMENT DE MANGROVE À TSOUNDZOU 1 Mayotte



Restauration effectuée à Mayotte, archipel des Comores, dans la mangrove de Tsoundzou 1. La maîtrise d'ouvrage était assurée par la DEAL de Mayotte et la maîtrise d'œuvre effectuée par le bureau d'étude ESPACES : Ingénierie de l'environnement (BP 168 Z.I. Kawéni, 97600 MAMOUDZOU).



Projet	Expérimentation de restauration de mangrove
Site	Tsoundzou 1
Espèces.....	Manglier gris (<i>Avicennia marina</i>), Palétuvier jaune (<i>Cerriops tagal</i>), Palétuvier rouge (<i>Rhizophora mucronata</i>)
Surface	2 916 m ²
Taux de réussite.....	Voir tableau ci-après
Coût	80 000 € ou 27 €/m ²
Année.....	2013
Acteur terrain.....	contact@espaces.fr

Objectif

Initié par la DEAL de Mayotte, ce projet d'expérimentation de plantation de palétuviers a été réalisé dans le cadre de mesures compensatoires dû à la construction d'un pont sur la rivière Kwalé. Cette expérimentation a été effectuée au même moment que le projet de Miréréni (voir fiche 1 mangrove).

Les objectifs : ❶ Mettre en œuvre différentes techniques de plantation ❷ Proposer à l'issue du projet une démarche d'extension à d'autres sites.

Technique

Cette restauration expérimentale de mangrove a été réalisée sur 3 espèces : ❶ le Manglier gris ❷ le Palétuvier jaune ❸ le Palétuvier rouge

Plusieurs méthodes de plantation ont été testées sur différents sites : ❶ plantation de plants élevés en pépinière ❷ plantation directe de propagules ❸ plantation directe de propagules via la méthode de Riley. Ce projet a été réalisée en avril 2013, à la fin de la période cyclonique lorsque la salinité de l'eau était la plus faible et l'action des vagues la moins forte.

Tableau 1 Nombre de plants plantés pour chacune des espèces

Rhizophora mucronata	288 plants
Cerriops tagal	360 plants
Avicennia marina	504 plants

Suivi expérimental

Le suivi s'est déroulé sur une durée de 3 ans. Il s'agissait de mesurer la croissance en hauteur, de compter le nombre de feuilles, d'individus morts, de remplacer ces derniers et d'observer les traces de prédation à raison de 2 j./mois pour les 6 premiers mois. Puis la fréquence des suivis est passée à 1 j./trimestre durant les deux ans et demi qui ont suivi. Il y a donc eu un total de 22 journées de contrôle en 3 ans.



Plant d'*A. marina* (janvier 2016) (©ESPACES)



Plant d'*A. marina* (janvier 2016) (©ESPACES)

Retour d'expérience

Ce projet a donné lieu à la rédaction d'un guide méthodologique pour la restauration des mangroves mahoraises à destination des associations. Ce guide est aujourd'hui en cours de réalisation. Il décrit les techniques ayant donné les meilleurs résultats pour chaque espèce. Les expérimentations ont permis de tester différentes méthodes et de conseiller quant à l'utilisation de celles donnant les meilleurs taux de réussite. Olivier Soumille d'ESPACES conclut cependant sur le fait qu'à Mayotte les mangroves touchées ne sont actuellement pas réhabilitables. En effet, le substrat caractérisant la mangrove a été emporté dans les baies ou le lagon, ne permettant plus l'implantation de palétuviers. Selon lui, les actions de réparation à Mayotte seraient vouées à l'échec sur ces secteurs impactés. Il serait alors plus utile de faire du boisement d'arrière mangrove que de travailler sur la mangrove elle-même.

Problèmes survenus

Outre les importants problèmes de prédation par le bétail, il y a eu aussi : ❶ Des dégâts durant les premiers mois d'expérience dus à la présence de crabes. Pour remédier à ce problème, des tubes de Riley ont été placés aux pieds des arbres. ❷ Une accumulation de déchets autour des plants suite à des intempéries, entraînant leur étouffement. ❸ Des dégradations du site par vandalisme.

Résultats du suivi

Les résultats obtenus en septembre 2016 (figure 1) montraient pour l'espèce *Avicennia marina* des taux de survie entre 33 et 56 %. Ces taux, relativement faibles, pouvaient s'expliquer par le broutage des zébus. En ce qui concerne *Cerriops tagal*, il a été observé pour une zone un taux de réussite à 40 % environ, à la différence de l'autre zone où le taux de survie était quasiment nul. Ce résultat s'expliquait par le piétinement des zébus. Enfin, le pourcentage de réussite pour *Rhizophora mucronata* était très élevé, 75 % environ.

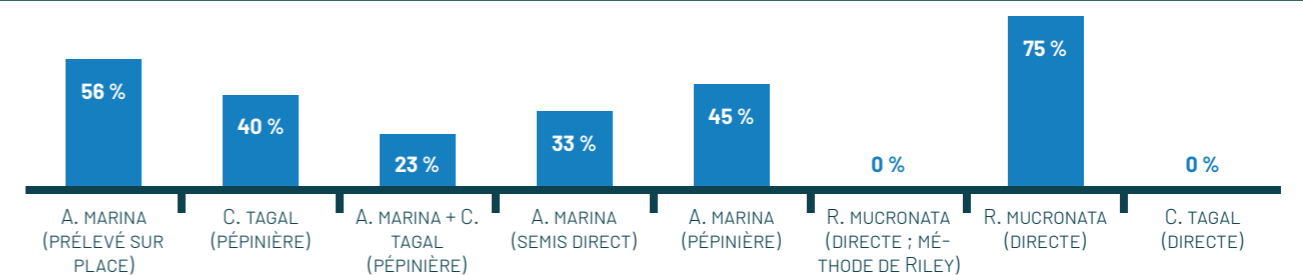


Figure 1 Taux de réussite pour chaque plantation (en %)

Taux de réussite (%) : très variables	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : > 3 ans		
Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création
C2 : Action sur un milieu dégradé par l'homme ou par une évolution naturelle, visant à faire évoluer le milieu vers un état plus favorable à son bon fonctionnement ou à la biodiversité, faisant appel à des travaux			
Les facteurs techniques d'influence du risque :			
Espèces déplacées	3		
Technique de prélèvement	plantation de plants élevés en pépinière, de propagules ou de propagules avec la méthode Riley		
Technique de fixation	à même le substrat ou avec le soutien du tube de Riley		
Moyens de transport	NA		
Temps de transport	NA		

Références

- ❶ Reconstitution du pont de la RN2 sur Kwalé : proposition d'implantation d'un projet expérimental de restauration de mangroves à Tsoundzou 1. ESPACES pour DEAL de Mayotte
- ❷ Reconstitution du pont de la RN2 sur Kwalé : projet expérimental de restauration de mangroves à Tsoundzou 1 et à Miréréni. Suivi annuel des plantations 2014-2015. ESPACES pour DEAL de Mayotte (novembre 2015)
- ❸ Résultats annuels 2016. ESPACES pour DEAL de Mayotte (juillet 2017)

ENSEMENCEMENT DE MANGROVE À MBWENI

Tanzanie



Réparation effectuée à Mbwani en Tanzanie par Mbwani Environment and Women's group, une organisation communautaire.



Projet Transplantation de palétuviers
 Site Mbwani - la forêt de mangrove
 Espèces..... *Rizophora mucronata*, Palétuvier gris (*Avicennia marina*)
 Surface NA
 Taux de réussite..... 36 %
 Coût NA
 Année..... 2001
 Acteur terrain..... Wagner et al., 2010

Objectif

Le village de Mbwani présentait, suite à la surexploitation de la forêt au fil des années, une mangrove dégradée et ouverte par endroits. Cette action de réparation a résulté d'une initiative spontanée d'une organisation communautaire (Mbwani environment and Women's group) qui a su reconnaître l'importance de conserver cet écosystème. L'objectif de l'opération présentée était de réhabiliter et de densifier la forêt de palétuviers par une technique de transplantation.

Suivi expérimental

Trois mois après la plantation, les données suivantes ont été relevées : les conditions de développement, l'état de santé des plants, le nombre d'individus morts, la teneur en matière organique dans le sol et le taux de saturation du sol.

Retour d'expérience

Bien qu'un tiers des transplants aient survécu, ce projet aura eu un effet positif important sur la santé globale des mangroves. De plus, cette réparation a été réalisée par des villageois favorisant le sentiment de protection et de sensibilisation auprès de la population non initiée aux problèmes écologiques. La notion de coût n'est pas abordée mais la participation des villageois a entraîné une action de réparation à moindre coût.

Technique

Ce projet a permis la plantation de 3000 plants. Ils ont essentiellement utilisé du *Rizophora mucronata* et quelques plants de Palétuviers gris (*Avicennia marina*). La technique de plantation par propagules à été utilisée. Les propagules fraîchement tombées ont été collectées et transplantées dans les zones ouvertes.



Photographie illustrant un ensemenement de mangrove. Attention celle-ci n'appartient pas au projet décrit © FAO

a) 3 mois après l'ensemencement.

b) 8 mois après l'ensemencement.

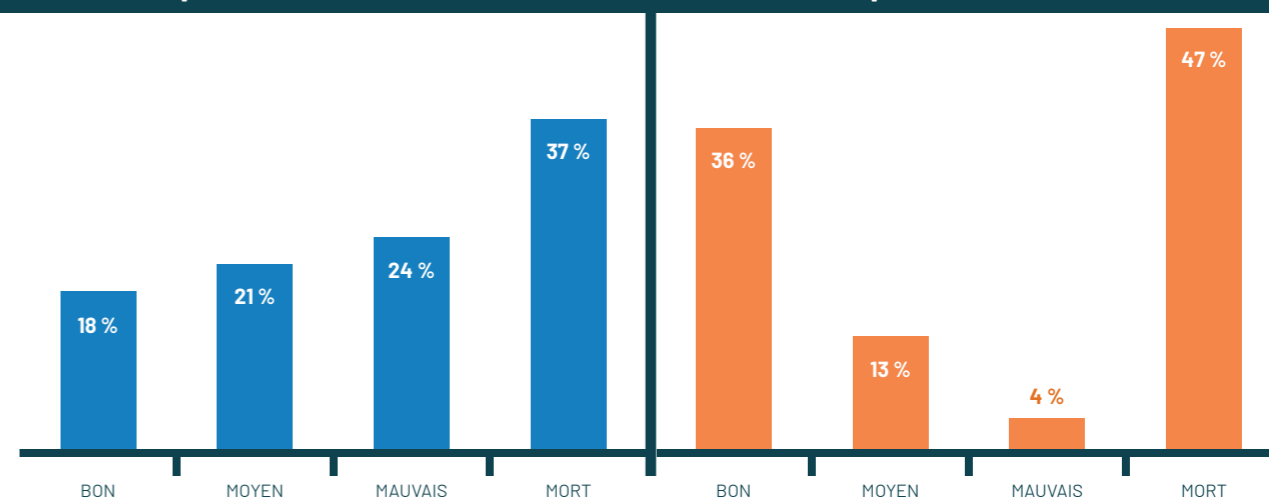


Figure 1 État de santé des *Rhizophora mucronata* a) 3 mois et b) 8 mois après l'ensemencement.

Résultats

Un taux de mortalité des plants de *Rhizophora mucronata* assez élevé a été observé que ce soit 3 mois ou 8 mois après la transplantation, avec respectivement un pourcentage de 37 % et 47 % (figure 1). **Plusieurs causes peuvent être à l'origine de ces faibles taux de survie :** ① Un sol extrêmement exposé au soleil entraînant une teneur en matière organique trop basse et un taux de saturation du sol trop faible pour permettre le maintien des plants. ② Des mouvements de marée trop faibles à l'intérieur mais aussi à l'extérieur de la mangrove, une observation qui semble empirer au fil des années (NB : c'est une observation personnelle sans suivi scientifique). ③ Les ensemencements ont été réalisés par les villageois sans qu'ils aient de véritables compétences en écologie des palétuviers entraînant parfois des dommages au niveau racinaire ou encore des plantations dans des zones inappropriées. Ainsi sur les 3 000 propagules plantées, seulement 1 000 étaient en parfait état de santé, soit un taux de réussite de 36 %, 8 mois après la transplantation (figure 1). Toutefois, le taux de mortalité, important les premiers mois de suivi, tend ensuite à se stabiliser, illustrant la nécessité d'améliorer les techniques d'ensemencement et le choix des sites d'installation. Une fois la première étape de sélection naturelle des propagules viables, les taux de mortalité deviennent relativement faibles (10 % en 5 mois).

Note : aucun résultat est disponible pour *A. marina*.

Taux de réussite (%) : 36 %	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : environ 1 an		
Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création
C2 : Action sur un milieu dégradé par l'homme ou par une évolution naturelle, visant à faire évoluer le milieu vers un état plus favorable à son bon fonctionnement ou à la biodiversité, faisant appel à des travaux			
Les facteurs techniques d'influence du risque :			
Espèces déplacées	2		
Technique de prélèvement	plantation de propagules à même le substrat		
Technique de fixation	NA		
Moyens de transport	NA		
Temps de transport	NA		

Références

① Wagner, G. M., Mgaya, Y. D., Akwilapo, F. D., Ngowo, R. G., Sekadende, B. C., Allen, A., et Mackentley, N. (2001). Restoration of coral reef and mangrove ecosystems at Kunduchi and Mbwani, Dar es Salaam, with community participation. In Marine science development in Tanzania and eastern Africa. Proceedings of the 20th anniversary conference on advances in marine sciences in Tanzania (Vol. 28, pp. 467-488).



Photographie illustrant des transplants de mangrove. Attention celle-ci n'appartient pas au projet décrit © Byron Hubbard

Résultats

Les transplants de palétuviers ont survécu et se sont bien développés dans des conditions naturelles. En effet, 74 % ont subsisté dans leur habitat d'accueil (la lagune) 4 ans après leur transplantation (figure 1). Ce type de pépinières a montré l'efficacité de cette technique de reboisement des mangroves dans les zones où la régénération naturelle est lente.

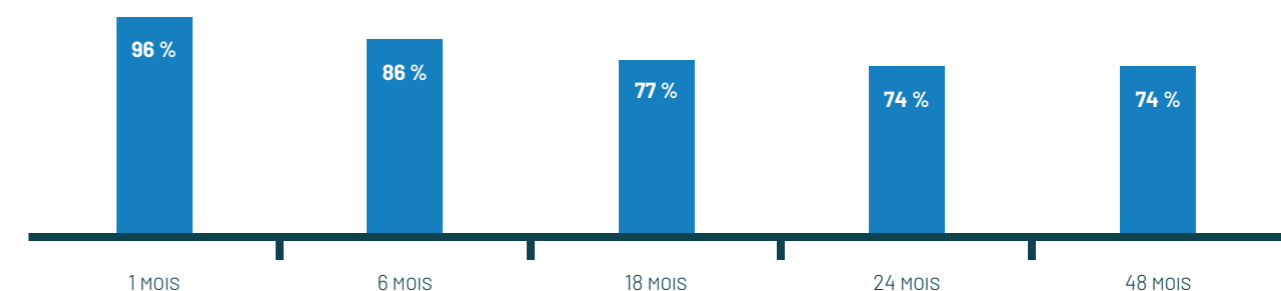


Figure 1 Taux de survie (en %)

Taux de réussite (%) : 76 %	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : environ 4 ans		
Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création
C2 : Action sur un milieu dégradé par l'homme ou par une évolution naturelle, visant à faire évoluer le milieu vers un état plus favorable à son bon fonctionnement ou à la biodiversité, faisant appel à des travaux			
Les facteurs techniques d'influence du risque :			
Espèces déplacées	1		
Technique de prélèvement	plantation de grappes de propagules		
Technique de fixation	à même le substrat dans des sacs en plastique biodégradables		
Moyens de transport	NA		
Temps de transport	NA		

Références

1 Toledo, G., Rojas, A., et Bashan, Y. (2001). Monitoring of black mangrove restoration with nursery-reared seedlings on an arid coastal lagoon. *Hydrobiologia*, 444, 101-109.

MAN n°4 PÉPINIÈRE ET TRANSPLANTATION DE MANGROVE À BALANDRA Mexique



Réparation effectuée dans la lagune de Balandra au Mexique.



Projet Création de pépinière afin de produire des plants résistants aux conditions environnementales du site
 Site Lagune de Balandra, Mexique
 Espèce Palétuvier blanc (*Avicennia germinans*)
 Surface 53 000 m²
 Taux de réussite 76 %
 Coût NA
 Année 1994

Objectif

La lagune de Balandra est une zone aride (précipitation : <150 mm/an). Elle présente aussi plusieurs sites convertis à l'aquaculture. Un ensemble de facteurs qui a induit une diminution de la mangrove. L'objectif de ce projet était donc de produire des plants en pépinière suffisamment résistants pour permettre une reforestation de la mangrove.

Suivi expérimental

La croissance des plants a été surveillée initialement, 1, 2 et 4 semaines après la plantation en pépinière puis tous les 6 mois pendant 2 ans. Les données sur la hauteur de la plante, le nombre de feuilles et les taux de survie ont alors été recueillies.

Technique

C'est le palétuvier blanc qui a été cultivé en raison de sa forte disponibilité en propagules et de sa morphologie compacte, qui rend ses plants plus faciles à transplanter. C'est un total de 555 propagules qui a été récupéré. Celles-ci ont été plantées en grappes par cinq dans des sacs en plastique biodégradables. L'emploi de la culture en grappe permet de diminuer la mortalité des plants.

Des systèmes de pépinières en plein air, indépendantes des marées pour éviter le stress salin des plants, ont été choisis. Cependant, ces pépinières nécessitaient un contrôle fréquent des températures et du taux d'humidité pour assurer la survie des plants dans cette zone aride. Une fois que les plants ont atteint une taille de racine suffisante, les sacs plastique ont été déplacés directement dans la lagune.



Photographie illustrant des transplants de mangrove. Attention celle-ci n'appartient pas au projet décrit © Byron Hubbard

MAN n°6

GESTION PASSIVE ET ENSEMENCEMENT DE MANGROVE À NOUMÉA

Nouvelle-Calédonie



Réparation effectuée à Nouméa dans la mangrove de Rivière Salée. L'opération était assurée avec l'aide de bénévoles entre 2007 et 2010 puis entre 2010 et 2014 par l'ASNNC (Association de Sauvegarde de la Nature de Nouvelle-Calédonie) et le projet SOS Mangroves RS. Elle était assurée par l'association SOS Mangroves NC entre 2014 et 2017.



Rivière Salée

Projet	Nettoyage de mangrove pour favoriser une régénération du site
Site	Nouméa-Mangrove de Rivière Salée
Espèces.....	7 espèces (sp) : mais principalement des Palétuviers à cordes (<i>Rhizophora selala</i>)
Surface	30 ha
Taux de réussite.....	NA
Coût	61 800 € soit 0,21 €/m ²
Année.....	2007
Acteur terrain.....	sosmangrovesnc98@gmail.com

Objectif

La mangrove de Rivière Salée, riche en espèces d'oiseaux (46 espèces recensées) et en palétuviers (7 espèces différentes sont présentes sur le site), a subi de fortes pressions suite à différentes pollutions, à la prolifération d'espèces envahissantes ou encore à l'asphyxie (boue) des plants par manque de circulation de l'eau. De plus, l'augmentation de l'urbanisation a eu pour conséquence une diminution de la superficie de cette mangrove, passant de 90 ha à 30 ha. Afin de sauver l'arrière mangrove, l'éradication des lianes a débuté en 2007, en suivant un protocole fourni par l'IAC (Institut Agronomique néo-Calédonien) de Nouméa. En procédant à un nettoyage du site, l'objectif a été de favoriser la régénération naturelle des plants.

Technique

Depuis 2007, des opérations de nettoyage ont été effectuées par 10 personnes (jeunes en difficulté sociale) au rythme de 4 h par jour pendant 10 mois. Ils ont procédé à une gestion des espèces envahissantes, à un nettoyage de la zone et l'ensemencement de propagules pour trois espèces : palétuvier gris (*Avicennia marina*), palétuvier aveuglant (*Excaecaria agallocha*) et palétuvier rouge (*Bruguiera gymnorhiza*).



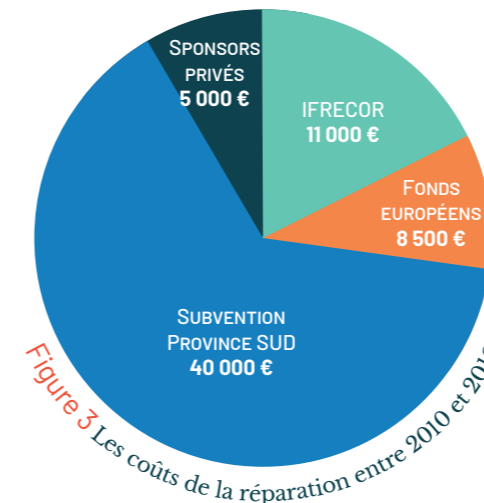
Défrichage et brulage des espèces envahissantes du site Rivière Salée ©SOS Mangrove NC

Suivi expérimental

Cela fait 10 ans que l'association procède au suivi photographique de la mangrove. Afin d'entretenir l'espace, les services de la mairie font un curage des chenaux une à deux fois par an. Un curage qui permet d'éviter l'asphyxie des mangroves par la boue.

Coûts de la réimplantation

Entre 2007 et 2010 les travaux ont débuté uniquement grâce à du bénévolat, ce n'est qu'à partir de 2010 que les premiers financements sont apparus. Ces subventions provenaient de plusieurs entités : des fonds régionaux, privés, européens ou encore de l'IFRECOR (figure 3). Dépense totale **61 800 €** soit **0,21 €/m²** réparé.



Collecte des ordures ménagères au sein de la mangrove ©SOS Mangrove NC

Retour d'expérience

La méthode utilisée s'adaptait bien aux spécificités du pays et aux problématiques des jeunes bénévoles qui accompagnent l'association. Ces jeunes sont venus directement à la rencontre de l'association et ont fait passer les messages de sensibilisation au sein de la population. Actuellement, l'utilisation des réseaux sociaux (Facebook) permet une réaction beaucoup plus rapide et positive de la part de la population locale.

En revanche, de gros dégâts n'ont pu être évités (destruction de zones) par manque de réactivité sur le plan institutionnel.

Cette réparation volontaire a permis à plusieurs jeunes en réinsertion professionnelle de participer à la revalorisation de la mangrove. À force de sensibilisation, aujourd'hui la population comprend l'intérêt de préserver cette mangrove. Au point que la population se soit appropriée les lieux et participe elle-même à la sensibilisation du public. La superficie regagnée en 2019 est d'environ un hectare. La mangrove se porte mieux, un équilibre s'est installé dans la zone, et cela malgré le problème d'évacuation des déchets constaté en Nouvelle-Calédonie. Un problème qui affecte directement les mangroves Néo-calédoniennes.

Courant juillet 2019, ce projet de réparation de mangrove va être présenté à la conférence internationale des mangroves "Mangroves et People" de Singapour.

Taux de réussite (%) : plutôt satisfaisant	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : > 10 ans		
Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création
C2 : Action sur un milieu dégradé par l'homme ou par une évolution naturelle, visant à faire évoluer le milieu vers un état plus favorable à son bon fonctionnement ou à la biodiversité, faisant appel à des travaux			

Les facteurs techniques d'influence du risque :

Espèces déplacées	7
Technique employée	Nettoyage de la zone et régénération naturelle parfois aidée d'un ensemencement direct

Références

- 1 Interview de Monik Lorfanfant (Présidente de l'association SOS Mangrove)
- 2 Facebook : sosmangroves.nc

GESTION PASSIVE ET ENSEMENCEMENT DE MANGROVE À TOUHO Nouvelle-Calédonie



La gestion passive et l'ensemencement ont été effectués à Touho, en Nouvelle-Calédonie. Ils ont été assurés par les habitants de la tribu de Koé se trouvant sur le littoral de la commune de Touho. La plupart des personnes impliquées dans l'ensemencement de palétuviers sont aujourd'hui membres ou bénévoles de l'association Hô-üt. L'association Hô-üt, qui signifie « décider en marchant », travaille à la préservation du bien inscrit au Patrimoine Mondial de l'UNESCO. La commune de Touho est couverte par 415 hectares de mangrove sur les 35 000 hectares qu'abrite la Nouvelle-Calédonie soit 1,2 % (Virly, 2008).



Projet	Replantation de Palétuviers
Site	Touho (Tuo Cèmuhi), Tribu de Koé
Espèces.....	Uniquement des espèces des genres <i>Rhizophora</i> et <i>Brugueria</i>
Surface	NA
Taux de réussite.....	NA
Coût	NA
Année.....	1980 -2017
Acteur terrain.....	asso.hout@gmail.com

Objectif

Les lagons et les récifs de Nouvelle-Calédonie sont inscrits sur la liste du Patrimoine Mondial de l'UNESCO depuis 2008.

Le bien inscrit comprend six zones :

- 1 Grand Lagon Sud
- 2 Zone côtière Ouest
- 3 Zone côtière Nord Est
- 4 Grand Lagon Nord
- 5 Atoll d'Ouvéa et Beautemps-Beaupré
- 6 Atoll d'Entrecasteaux.

La commune de Touho fait partie de la sous-zone 4 de la Zone côtière Nord Est.

La zone littorale de Nouvelle-Calédonie est soumise à une forte érosion côtière due aux changements climatiques, à la montée des eaux ou encore aux dépressions tropicales et cyclones. La côte Est de la Nouvelle-Calédonie est celle qui est la plus souvent impactée par les dépressions et cyclones. Viennent s'ajouter à cela de fortes pressions anthropiques comme par exemple le déversement des eaux usées, la pollution émise par les entreprises minières, la présence de déchets ménagers, l'arrachage des plants, l'urbanisation ou encore l'utilisation des palétuviers pour le bois de chauffe, etc. De plus, des observations empiriques sur la raréfaction de certaines espèces dans ces écosystèmes impactés ont été notées. C'est le cas des crabes, des huîtres et diverses espèces de poissons, ce qui a conduit à la replantation de palétuviers sur le littoral de la tribu de Koé. Ainsi, l'objectif des habitants de la Tribu de Koé à Touho était de gérer et d'ensemencer la mangrove dans les zones impactées par la coupe du bois et de réparer et préserver la mangrove de la tribu.



Plantation de palétuviers par la tribu de Koé

Coûts de la réimplantation

La plantation de palétuviers s'est faite uniquement de manière individuelle par les habitants de la tribu de Koé. Il ne s'agit que de bénévolat.

Technique

Les habitants ont commencé à planter des palétuviers au cours des années 1980. Ces initiatives individuelles s'expliquaient par la perte de la surface en mangrove (engendrée par la coupe de palétuviers pour le bois de chauffe ou encore par les dépressions tropicales et cyclones). Les habitants, lors de leurs sorties en mer, ont commencé à ramasser les propagules tombées au sol et à les repiquer directement dans le milieu. D'après les habitants de la tribu, les propagules mûres, récupérées directement sur les arbres, mettent plus de temps à pousser. Le ramassage des propagules au sol pour l'ensemencement a donc été privilégié. La technique utilisée était la plantation par groupe de 3-4 propagules ou plus (Photo 1). Le fait de planter les propagules par 3 (au minimum) permet une croissance plus rapide et un meilleur ancrage des plants lorsque les premières racines se développent. Des initiatives de ramassage de déchets depuis 2012 ont également été observées en parallèle des actions d'ensemencement (Photo 2).



Ramassage de déchets par l'association Hô-üt dans la mangrove

Suivi expérimental

Il n'y a pas eu de suivi sur le terrain. Mais globalement la surface de mangrove a augmenté et les principaux indicateurs sont le retour des espèces autrefois disparues du milieu, à savoir *Rhizophora sp.* et *Brugueria sp.*

Retour d'expérience

La succession des dépressions tropicales et des cyclones a conduit les habitants de la tribu de Koé à maîtriser la plantation de propagules. La technique préférentiellement utilisée était celle de la plantation des propagules par nombre de 3.

La commune de Touho est soumise à une forte érosion du littoral. Les habitants de Touho et les institutions (Mairies, Province) ont pris conscience du rôle de la mangrove dans la réduction de l'érosion côtière, la protection contre les inondations, ou encore la contribution à l'augmentation des ressources halieutiques. D'autres actions d'ensemencement et de gestion de mangroves ont vu le jour dans les tribus de Tiponite et Tiwaé. Ainsi, entre les années 1980 et 2017, près de 2000 plants de palétuviers ont été plantés à Touho. Des projets sur la mangrove sont en cours sur la commune, comme la création d'un sentier pédagogique par la tribu de Koé ou encore la sensibilisation sur le rôle de la mangrove auprès des écoles et de la population.

Taux de réussite (%) : NA	Durée de l'expérimentation (suivis compris) : > 37 ans		
Phase de la séquence	E	R	C
Type de mesure	Restauration	Réhabilitation	Création

C2 : Action sur un milieu dégradé par l'homme ou par une évolution naturelle, visant à faire évoluer le milieu vers un état plus favorable à son bon fonctionnement ou à la biodiversité, faisant appel à des travaux

Les facteurs techniques d'influence du risque :

Espèces déplacées	NA
Technique de prélèvement	plantation par groupe de 3-4 propagules ou plus et nettoyage de la zone
Technique de fixation	à même le substrat
Moyens de transport	NA
Temps de transport	NA

Références

- 1 Virly, S. (2008) Atlas des mangroves de la Nouvelle-Calédonie. Programme ZoNéCo. 208p.

CONCLUSION SUR LES MANGROVES

Les techniques de réparation de mangroves paraissent, à première vue, les plus simples, en comparaison des autres écosystèmes étudiés dans ce guide, en raison de leur lien avec les écosystèmes terrestres forestiers. Pourtant, si les techniques présentées puisent largement leurs connaissances dans celles de l'arboriculture et de l'horticulture traditionnelles (itinéraires techniques, production de biomasse, multiplication sexuée et asexuée), de nombreuses spécificités au milieu marin et à l'interface terre-mer sont à considérer dans le but d'atteindre les objectifs fixés. L'ONG Mangrove Action Project (2017) résume brièvement les étapes nécessaires à la mise en œuvre d'un projet de restauration de mangroves intégré et durable.

La première de ces étapes concerne la connaissance des pratiques et des coutumes liées à la mangrove à restaurer. En effet, la localisation littorale de la mangrove en fait un lieu de vie et d'exploitation pour de nombreuses populations humaines. La réussite du projet dépendra des informations obtenues sur ces usages et de la motivation des villageois à soutenir le projet.

L'identification des facteurs initiaux de dégradation de l'écosystème (projet d'aménagement invasif, surexploitation des ressources, prélèvement excessif d'eau douce, apport de déchets, modification du transit sédimentaire, etc.) et l'estimation des moyens nécessaires à la réduction, voire à la suppression de ces pressions est également une étape indispensable à la pérennité de tout projet de restauration. En effet, tant que les pressions à l'origine de la dégradation n'auront pas été, *a minima*, réduites, aucun projet de restauration ne pourra enrayer à court ou moyen terme la destruction de l'écosystème.

Arrive ensuite la nécessité de connaître l'état vers lequel la restauration de l'écosystème doit tendre. Ce sont les objectifs écologiques de la restauration et ceux-ci nécessitent de définir un état écologique de référence, préférentiellement représenté par une mangrove non impactée par les pressions précédemment identifiées et présentant un état de conservation le plus proche de son optimum écologique. Cette mangrove servira de site témoin et sa structure écologique sera étudiée afin de définir la stratégie d'intervention. Pourront ainsi être définis les sites et les espèces à replanter en fonction de leurs préférences écologiques (hauteur d'eau, salinité, hydrodynamisme, etc.).

Seulement une fois ces étapes franchies, les techniques d'IE à proprement parler peuvent être discutées. Par exemple, les espèces concernées, leur mode et leur période de reproduction, les risques encourus par les jeunes plants, les difficultés éventuelles rencontrées lors de leur régénération naturelle pourront conditionner les techniques mises en œuvre, qui pourront être différentes selon les espèces et selon les zones de mangrove à restaurer. Il ne s'agit donc pas d'une simple plantation de jeunes arbres mais d'un projet de restauration écologique complexe, qui doit être abordé hiérarchiquement et chronologiquement afin d'envisager l'atteinte la plus complète et la plus durable des objectifs.



6

COÛT ET EFFICACITÉ DES TECHNIQUES D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE

COÛT ET EFFICACITÉ DES TECHNIQUES D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE

Lors des sections précédentes, des données de coût et d'efficacité ont été associées à chacune des techniques d'ingénierie écologique développées. **Pour plus de précision, voici quelques compléments d'information :**

Tableau 1 Récapitulatif des données disponibles pour les différents écosystèmes d'intérêt

	RÉCIFS CORALLIENS	HERBIERS	MANGROVES
Échelle de temps	De 1991 à 2017	De 1975 à 2016	De 1977 à 2016
Nombre d'articles/projets disponibles	79	27	81
Nombre de données disponibles sur les taux de survie	259	68	123
Nombre de données disponibles sur les coûts	20	10	92

EFFICACITÉ

Pour mesurer l'efficacité d'un projet de réparation, il faudrait pouvoir évaluer le rétablissement réel après les mesures de réparation. Cette notion est dépendante du temps de suivi que l'on accorde au projet. Or le suivi des projets est très variable, il est donc difficile de juger de l'efficacité des mesures. C'est l'un des problèmes souligné dans un article paru en 2017 par Hein *et al.* qui spécifie qu'un suivi d'un minimum de cinq ans serait le plus adapté pour mesurer la résilience de l'écosystème étudié.

COÛT

Pour déterminer les coûts moyens des techniques d'IE relatifs aux RCEA nous avons ajusté les coûts en prenant en compte l'inflation (IPC = Indice des Prix de Consommation) par rapport à une année de référence (ici 2010) ainsi que la différence de pouvoir d'achat entre les pays (PPP = indice de Pouvoir d'Achat par Parité). Cet ajustement nous a permis d'avoir des données comparables entre plusieurs pays. L'ensemble a été exprimé en \$ International/ha/année sur la base de l'année 2010. Les résultats sont disponibles dans les tableaux suivants et sur les pages correspondantes du guide.

RÉCIFS CORALLIENS

Les données de temps de suivi des projets de réparation sur les récifs coralliens (figure 15) montrent que quelle que soit la technique d'IE employée la durée des suivis n'excède généralement pas trois années. Les suivis allant de trois ans et plus ne représentent que 9 % des projets (9 % pour la transplantation ; 5 % pour les pépinières ; 0 % pour l'électrodéposition). L'estimation d'une réelle efficacité des techniques est donc difficile à déterminer. À la vue de ces résultats, l'efficacité estimée dans ce guide a été fixée selon les valeurs disponibles pour trois années de suivi et plus. Il faut prendre cette moyenne d'efficacité avec les précautions de rigueur car le nombre de données disponible n'est pas suffisant pour que ces valeurs soient considérées comme robustes. Elles fournissent une estimation intimement dépendante des conditions de mise en œuvre des exemples considérés (figure 16).

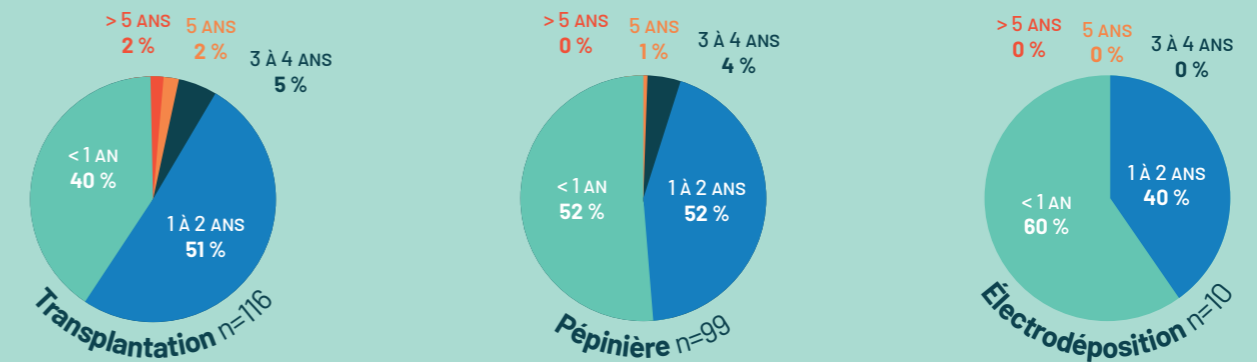


Figure 15 Durées des suivis associées aux techniques d'Ingénierie Écologique pour les récifs coralliens

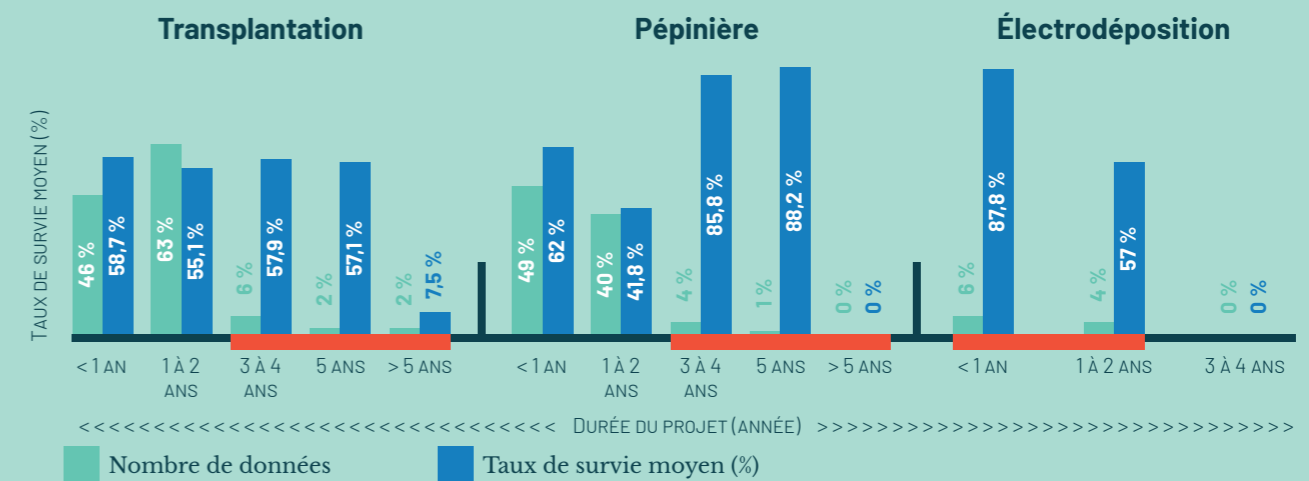


Figure 16 Taux de survie moyen et nombre de données disponible selon la durée des projets d'IE pour les récifs coralliens. L'encadré rouge signale les valeurs prises pour fixer l'efficacité moyenne décrite aux pages 25 à 27 du guide.

Tableau 2 Récapitulatif des données de coût (\$ Int/ha/année) associées à chacune des techniques pour les récifs coralliens. Retrouvez les coûts moyens aux pages 25 à 27 du guide. **Note :** Attention ces données comprennent l'ensemble des coûts figurants sur les projets. Cela signifie que les coûts du suivi scientifique sont aussi présents dans ce jeu de données.

	Transplantation	Pépinière	Électrodéposition
Coût International /ha/année			
Médiane	39 238,87	615,75	NA
Moyenne (± ET)	6 618 058 (±28 517 285,9)	6 351 665,96 (±74 315,19)	NA
Minimum	298,36	338,95	NA
Maximum	143 000 000	189 936,71	NA
Nb de projet associé	25	8	0

HERBIERS

Dans le cas des herbiers, seule la transplantation a fourni un retour d'expérience. Aucune donnée n'est disponible pour les autres techniques associées aux herbiers : ensemencement, gestion passive, micropropagation. La **figure 17** ci-dessous montre que la grande majorité des études possédaient un suivi inférieur à 2 ans, soit 88 % des projets recensés (74 % de 1 à 2 ans et 14 % inférieur à 1 an). Seulement 2 % des projets possédaient un suivi de 5 ans ou plus. Il est donc difficile de déterminer l'efficacité moyenne des projets de transplantation d'herbiers. Les taux de survie mesurés ont tout de même été moyennés (entre 3 ans et plus) pour donner un ordre d'idée sur l'efficacité de la transplantation d'herbiers (**figure 18**). Le faible nombre de données ne permet pas non plus de posséder des valeurs statistiques robustes. Il faut donc être prudent lors de l'interprétation des résultats décrits.

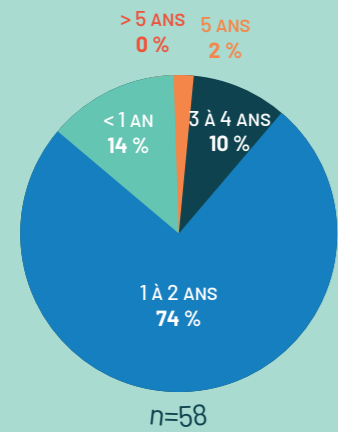


Figure 17 Durée des suivis associée à la transplantation d'herbier (n=58)

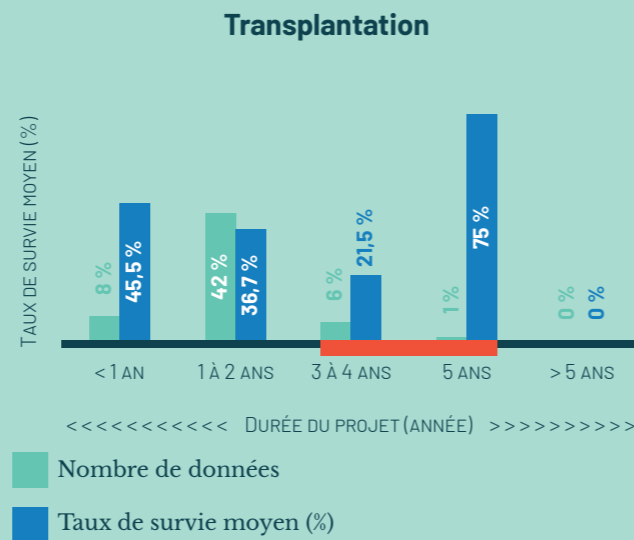


Figure 18 Taux de survie moyen et nombre de données disponible selon la durée des projets de transplantation pour les herbiers. L'encadré rouge signale les valeurs prises pour fixer l'efficacité moyenne décrite à la page 53 du guide.

MANGROVES

Le même constat que pour les écosystèmes précédents peut être fait pour les mangroves : peu de projets ont une durée de suivi supérieure à 3 ans (**figure 19**). Ces résultats sont à nuancer dans le cas de la pépinière de mangroves et de l'auto-régénération naturelle, bien que le nombre de projets disponibles soit faible. Pour déterminer l'efficacité moyenne de chacune des techniques d'IE associées aux mangroves, les valeurs acquises ont été celles disponibles dans les encadrés rouges de la **figure 20**. Ces moyennes doivent néanmoins être interprétées avec précaution.

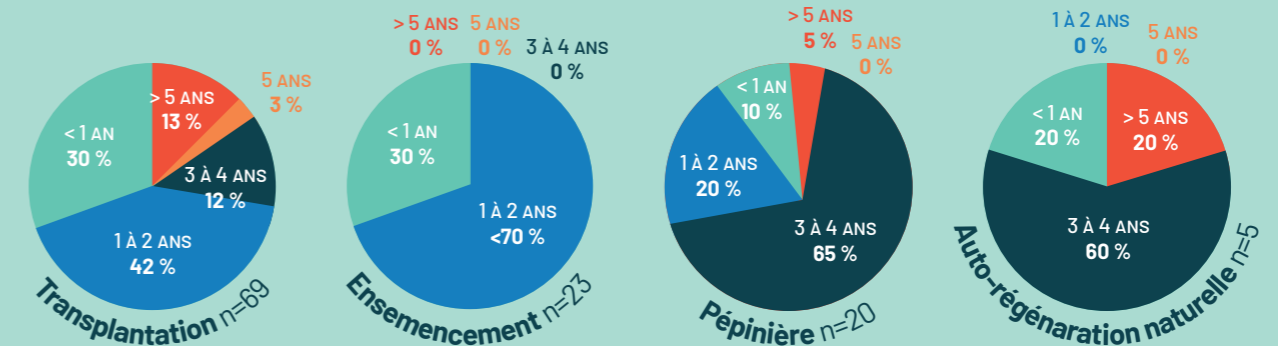


Figure 19 Durée des suivis associée aux techniques d'Ingénierie Écologique pour les mangroves

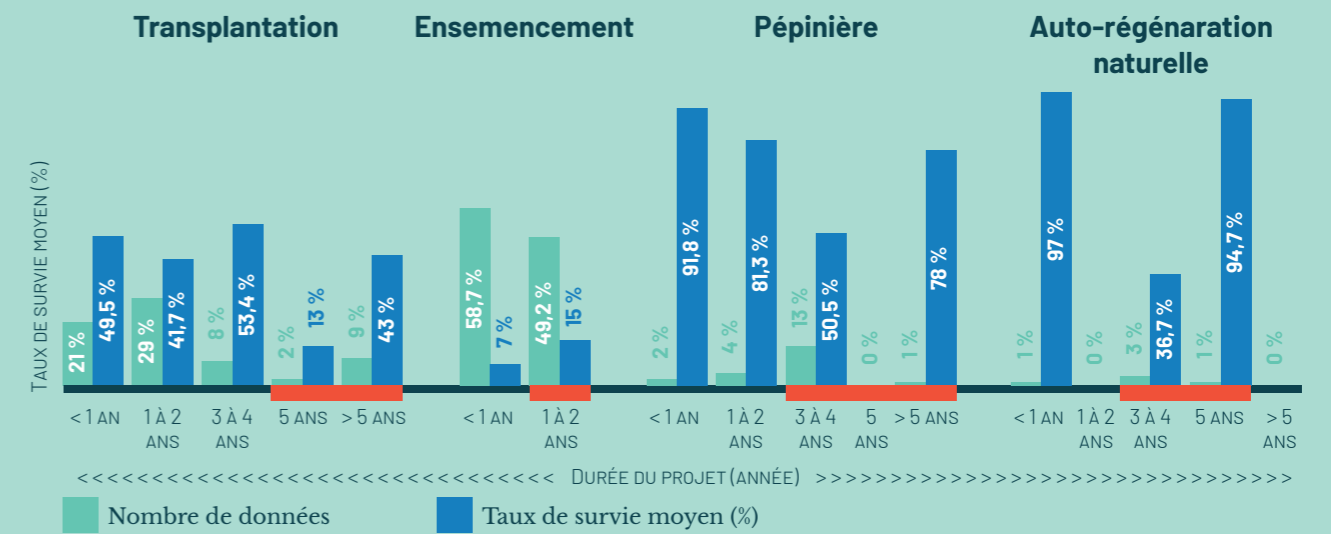


Figure 20 Taux de survie moyen et nombre de données disponibles selon la durée des projets d'IE pour les mangroves. L'encadré rouge signale les valeurs prises pour fixer l'efficacité moyenne décrite aux pages 69 à 71 du guide.

Tableau 3 Récapitulatif des données de coût (\$ Int/ha/année) associées à chacune des techniques pour les herbiers. Retrouvez les coûts moyens aux **page 53 à 56** du guide. **Note** : Attention ces données comprennent l'ensemble des coûts figurants sur les projets. Cela signifie que les coûts du suivi scientifique sont aussi présents dans ce jeu de données.

	Transplantation	Ensemencement
Médiane	107 101	NA
Moyenne (± ET)	327 289 (±429 460)	NA
Minimum	33 962	NA
Maximum	1 306 804	NA
Nb de projet associé	10	0

Tableau 4 Récapitulatif des données de coût (\$ Int/ha/année) associées à chacune des techniques pour les mangroves. Retrouvez les coûts moyens aux **pages 71 à 74** du guide. **Note** : Attention ces données comprennent l'ensemble des coûts figurants sur les projets. Cela signifie que les coûts du suivi scientifique sont aussi présents dans ce jeu de données.

	Transplantation	Ensemencement	Pépinière	Auto-régénération naturelle
Médiane	248	4 117	61	3 877
Moyenne (± ET)	62 197 (±147 704,82)	11 767 (±14 324)	61 (±0)	48 430 (±73 244,25)
Minimum	1	6	61	16
Maximum	705 613	40 963	61	247 520
Nb de projet associé	51	25	1	15

7

CONCLUSION



CONCLUSION

Le but de cet ouvrage est d'inciter les services instructeurs et les aménageurs à mieux connaître et évaluer les techniques et leur efficacité. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision d'IE basé sur un retour d'expérience mondial. Par conséquent, les notions de taux de survie et de coûts, associés aux différentes techniques, ont pour but d'améliorer l'efficacité de la réponse de l'Homme vis-à-vis des écosystèmes marins côtiers.

Il s'est avéré que l'efficacité des techniques illustrées dans ce guide semble être similaire selon les techniques employées. Cependant, pour augmenter l'efficacité de la réparation écologique sur un milieu donné, Abelson (2006) préconise d'employer plusieurs techniques d'IE à la fois. Pourtant cette approche hybride est faiblement représentée ici (environ 1%).

Rappelons que la mise en œuvre de techniques d'IE en milieu marin implique des coûts élevés par rapport aux écosystèmes terrestres ou aquatiques continentaux, soit environ 110 000 \$/ha (Jacob, 2017 ; Bayraktarov, 2016).

Bien sûr, il existe de nombreuses techniques différentes, toutes ne sont pas ou peu représentées dans ce guide. Ce guide a pour fonction d'établir un état des lieux des techniques les plus employées pour ces écosystèmes et de fournir un retour d'expérience sur les projets renseignés.

À noter que, la gestion passive des récifs coralliens comme technique de restauration écologique n'est pas abordé ici. Actuellement les politiques publiques françaises estiment que ce type de restauration est axé vers les associations citoyennes, bénévoles, orientées vers l'éducation à l'environnement et les sciences participatives. Ainsi, certaines subventions associatives sont parfois délivrées dans cet objectif de gestion passive mais cela n'est pas considéré comme de la restauration mais plutôt comme de l'entretien d'espaces naturels.

Synthèse des techniques de réparation écologique pour les récifs coralliens et les écosystèmes associés

	SITE DÉGRADÉ	Mangroves	Herbiers	Récifs coralliens
GESTION PASSIVE				
ENSEMENCEMENT				
MICROPROPAGATION				
ÉLECTRODÉPOSITION				
PÉPINIÈRE				
TRANSPLANTATION				
	SITE RÉPARÉ (in situ ou ex situ)			

BIBLIOGRAPHIE

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES
DES ARTICLES SCIENTIFIQUES :

Abelson, A. (2006). Artificial reefs vs coral transplantation as restoration tools for mitigating coral reef deterioration :benefits, concerns, and proposed guidelines. *Bulletin of Marine Science*, 78(1), 151-159.

Amar, K. O., et Rinkevich, B. (2007). A floating mid-water coral nursery as larval dispersion hub : testing an idea. *Marine Biology*, 151(2), 713-718.

Beck, M. W., Heck, K. L., Able, K. W., Childers, D. L., Eggleston, D. B., Gillanders, B. M., et Weinstein, M. P. (2001). The Identification, Conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates. *BioScience*, 51(8), 633-641.

Bell, S. S., Tewfik, A., Hall, M. O., et Fonseca, M. S. (2008). Evaluation of seagrass planting and monitoring techniques: implications for assessing restoration success and habitat equivalency. *Restoration Ecology*, 16(3), 407-416.

Blasco, F., Saenger, P., et Janodet, E. (1996). Mangroves as indicators of coastal change. *Catena*, 27(3-4), 167-178.

Campbell, M. L. (2000). A decision-based framework to increase seagrass transplantation success. *Biologia Marina Mediterranean*, 7(2), 336-340.

Chipeaux, A., Pinault, M., Pascal, N., et Pioch, S. (2016). Analyse comparée à l'échelle mondiale des techniques d'ingénierie écologique adaptées à la restauration des récifs coralliens. *Revue d'écologie - Terre et Vie*, 71, 99-110.

Christianen M.J.A., Van Belzen J., Herman, P.M.J., Van Katwijk M.M., Lamers L.P.M., Van Leent P.J.M., et Bouma T.J. (2013). Low-canopy seagrass beds still provide important coastal protection services. *PLoS ONE* 8 (5), e62413.

Cormier-Salem, M., et Panfili, J. (2016). Mangrove reforestation: greening or grabbing coastal zones and deltas ? Case studies in Senegal. *African Journal of Aquatic Science*, 41(1), 89-98.

Cunha A.H., Marbà N.N., van Katwijk M.M., Pickerell C., Henriques M., Bernard G., Ferreira M.A., Garcia S., Gardmendia J.M., et Manent P. (2012). Changing Paradigms in Seagrass Restoration. *Restor. Ecol*, 20(4), 427-430.

de la Torre-Castro M., Di Carlo G., et Jiddawi N. S.

(2014). Seagrass importance for a small-scale fishery in the tropics: The need for seascape management, *Marine Pollution Bulletin*, 83(2), 398-407.

de la Torre-Castro M., et Rönnbäck P. (2004). Links between humans and seagrasses an example from tropical East Africa. *Ocean & Coastal Management*, 47(7-8), 361-387.

Duarte, C. M., Losada, I. J., Hendriks, I. E., Mazarrasa, I., et Marbà, N. (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Publishing Group*, 3(11), 961-968.

Duarte, C. M., Middelburg, J. J., et Caraco, N. (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences discussions*, 1(1), 659-679.

Edgar, G. J., et Shaw, C. (1995). The production and trophic ecology of shallow-water fish assemblages in southern Australia III. General relationships between sediments, seagrasses, invertebrates and fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 194(1), 107-131.

Elliott, M., Burdon, D., Hemingway, K. L., et Apitz, S. E. (2007). Estuarine, coastal and marine ecosystem restoration : Confusing management and science - A revision of concepts. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74(3), 349-366.

Ferrario, F., Beck, M. W., Storlazzi, C. D., Micheli, F., Shepard, C. C., et Airoidi, L. (2014). The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature communications*, 5, 3794.

Fishman, J. R., Orth, R. J., Marion, S., et Bieri, J. (2004). A Comparative Test of Mechanized and Manual Transplanting of Eelgrass, *Zostera marina*, in Chesapeake Bay. *Restoration Ecology*, 12(2), 214-219.

Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., et Serrano, O. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5(7), 505-509.

Gleason, D. F., Brazeau, D. A., et Munfus, D. (2001). Can self-fertilizing coral species be used to enhance restoration of Caribbean reefs? *Bulletin of Marine Science*, 69(2), 933-943.

Goreau, T. J. (2014). Electrical Stimulation Greatly Increases Settlement, Growth, Survival, and Stress Resistance of Marine Organisms. *Natural Resources*, 5(10), 527.

Gray, C., McElligott, D., et Chick, R. (1996). Intra- and inter-estuary differences in assemblages of fishes associated with shallow seagrass and bare sand. *Marine and Freshwater Research*, 47(5), 723-735.

Hein, M. Y., Willis, B. L., Beeden, R., et Birtles, A. (2017). The need for broader ecological and socioeconomic tools to evaluate the effectiveness of coral restoration programs. *Restoration Ecology*, 25(6), 873-883.

Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steeneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., et Hatziolos, M. E. (2007). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science*, 318(5857), 1737-1742.

Hughes, T. P., Baird, A. H., Bellwood, D. R., Card, M., Connolly, S. R., Folke, C., et Marshall, P. (2003). Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. *Science*, 301(5635), 929-933.

Hughes, T. P., Kerry, J. T., Álvarez-Noriega, M., Álvarez-Romero, J. G., Anderson, K. D., Baird, A. H., et Bridge, T.C. (2017). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 543(7645), 373.

Irving, A. D., Tanner, J. E., Seddon, S., Miller, D., Colings, G. J., Wear, R. J., et Theil, M. J. (2010). Testing alternate ecological approaches to seagrass rehabilitation: links to life history traits. *Journal of Applied Ecology*, 47(5), 1119-1127.

Jacob, C., Quétier, F., Aronson, J., Pioch, S., et Levelle, H. (2015). Vers une politique française de compensation des impacts sur la biodiversité plus efficace : défis et perspectives. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 14(3).

Kamali, B., et Hashim, R. (2010). Mangrove restoration without planting. *Ecological Engineering*, 37, 387-391.

Levy, G., Shaish, L., Haim, A., et Rinkevich, B. (2010). Mid-water rope nursery—Testing design and performance of a novel reef restoration instrument. *Ecological Engineering*, 36(4), 560-569.

Lewis, R. (2005). Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, 24, 403-418.

Lirman, D., et Schopmeyer, S. (2016). Ecological solutions to reef degradation: optimizing coral reef restoration in the Caribbean and Western Atlantic. *PeerJ*, 4, e2597.

Mbije, N. E. J., Spanier, E., et Rinkevich, B. (2010). Testing the first phase of the "gardening concept" as an applicable tool in restoring denuded reefs in Tanzania. *Ecological Engineering*, 36(5), 713-721.

McLeod E., Chmura G.L., Bouillon S., Salm R., Björk M., Duarte C.M., Lovelock C.E., Schlesinger W.H., et Silliman B.R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Front. Ecol. Environ.* 9:

552-560.

Moberg, F., et Folke, C. (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29(2), 215-233.

Moreno-Mateos, D., Maris, V., Béchet, A., et Curran, M. (2015). The true loss caused by biodiversity offsets. *Biological Conservation*, 192, 552-559.

Orth, R. J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., et Williams, S. L. (2006). A Global Crisis for Seagrass Ecosystems. *BioScience*, 56(12), 987-996.

Pioch, S., Relini, G., Souche, J. C., Stive, M. J. F., De Monbrison, D., Saussol, P., Nassif, S., Allemand, D., Simard, F., Spieler, R., et Kilfoyle, K. (2018). Enhancing eco-engineering of coastal infrastructure with eco-design: moving from mitigation to integration. *Ecological Engineering*, 120, 574-584.

Sabater, M. G., et Yap, H. T. (2002). Growth and survival of coral transplants with and without electrochemical deposition of CaCO₃. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 272(2), 131-146.

Salvat, B. et Rives, C. (2003). — Le corail et les récifs coralliens. *Découverte Nature*, Ouest-France, Rennes.

Seddon, S. (2004). Going with the flow : Facilitating seagrass rehabilitation. *Ecological Management and Restoration*, 5(3) 167-176.

Short, F., Carruthers, T., Dennison, W., et Waycott, M. (2007). Global seagrass distribution and diversity : A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 350, 3-20.

Toledo, G., Rojas, A., et Bashan, Y. (2001). Monitoring of black mangrove restoration with nursery-reared seedlings on an arid coastal lagoon. *Hydrobiologia*, 444, 101-109.

Tortolero-Langarica, J. J. A., Cupul-Magaña, A. L., et Rodríguez-Troncoso, A. P. (2014). Author's personal copy Restoration of a degraded coral reef using a natural remediation process : a case study from a Central Mexican Pacific National Park. *Ocean et Coastal Management*, 96, 12-19.

Unsworth R.K.F., et Cullen L.C. (2010). Recognising the necessity for Indo-Pacific seagrass conservation. *Conservation Letters* 3(2), 63-73.

Van Katwijk M.M., Thorhaug A., Marbà N., Orth R.J., Duarte C., Kendrick G., Althuizen I.H.J., Balestri E., Bernard G., Cambridge M., Cunha A., Durance C., Giesen W., Han Q., Hosokawa S., Kiswara W., Komatsu T., Lardicci C., Lee K., Meinesz A., Nakaoka, M., O'Brien

K.R., Paling E.I., Pickerell C., Ransijn A.M.A., et Verduin J.J. (2016). Global analysis of seagrass restoration: the importance of large-scale planting. *Journal of Applied Ecology*, 53 (2), 567-578.

Waycott M., Duarte C.M., Carruthers T.J. B., Orth R.J., Dennison W.C., Olyarnik S., Calladine A., Fourqurean J.W., Heck K.L., Hughes A.R., Kendrick G.A., Kenworthy W. J., Short F.T., et Williams S.L. (2009). Accelerating loss of seagrass across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, 12377-12381.

Wear, R., Tanner, J., et Venema, S. (2006). Seagrass Rehabilitation in Adelaide Metropolitan Coastal Waters III. Development of Recruitment Facilitation Methodologies. SARDI Research Report Series. South Australian Research and Development Institution, 48, 44.

Zarranz, M. E., González-Henríquez, N., García-Jiménez, P., et Robaina, R. R. (2010). Restoration of *Cymodocea nodosa* seagrass meadows through seed propagation : germination in vitro , seedling culture and field transplants. *Botanica Marina*, 53, 173-181.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES DES RAPPORTS ET OUVRAGES :

Andréfouët, S., Chagnaud, N., Chauvin, C., et Kranenburg, C. (2008). Atlas des récifs coralliens de France Outre-Mer. Centre IRD de Nouméa, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 153.

Aronson, J., et Moreno-Mateos, D. (2015). État des lieux sur les actions de restauration écologique. Dans : Restaurer la nature pour atténuer les impacts du développement : Analyse des mesures compensatoires pour la biodiversité. Quae.

Bas, A., Gastineau, P., Hay, J., et Pioch, S. (2015). Habitat Equivalency Analysis : estimation de l'équivalence écologique sur la base des services et ressources rendus par l'habitat. In : H. Levrel et al. (Eds), Restaurer la nature pour atténuer les impacts du développement. Analyse des mesures compensatoires pour la biodiversité.

Björk, M., Short, F., Mcleod, E., et Beer, S. (2008). Managing Seagrasses for Resilience to Climate Change (Vol. 3). IUCN Global Marine Programme, 56.

Borderon, S. (2014). La nature devenue projet de compensation écologique. Document de Travail GREDEG.

Boudouresque, C. F. (2001). Restauration des écosystèmes à Phanérogames marines. In Restauration des

écosystèmes côtiers : actes du colloque, Brest, 8-9 novembre 2000. IFREMER. Quae.

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Bonhomme, P., et Groupement d'intérêt scientifique Posidonie (Marseille). (2006). Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia Oceanica*. Ramoge.

Bowden-Kerby, A. (2003). Coral transplantation and restocking to accelerate the recovery of coral reef habitats and fisheries resources within no-take marine protected areas : Hands-on approaches to support community-based coral reef management.

Burke, L., Reyta, K., Spalding, M., et Perry, A. (2011). Reefs at risk revisited. World Resources Institute, The Nature Conservancy, WorldFish Center, International Coral Reef Action Network, UNEP World Conservation Monitoring Centre and Global Coral Reef Monitoring Network: Washington, DC, 114.

Clewell, A. F., et Aronson, J. (2013). Ecological restoration : principles, values, and structure of an emerging profession. Island Press.

Edwards, A. J., et Gomez, E. D. (2007). Reef Restoration Concepts and Guidelines : making sensible management choices in the face of uncertainty.

Fonseca, M. S., Kenworthy, J., et Thayer, G. W. (1998). Guidelines for the conservation and restoration of seagrasses in the United States and adjacent waters. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analyses Series No. 12. NOAA, Washington, DC.

Green, E. P. Edmund, P., et Short, F. T. (2003). World atlas of seagrasses. University of California Press.

Guiraud, et Poveda. (2014). Guide de restauration de la mangrove : Nouvelle-Calédonie.

Hamilton, L. S., et Snedaker, S. C. (1984). Handbook for mangrove area management. Honolulu : East-West Environment and Policy Institute.

Hemminga M., et Duarte CM. (2000). Seagrass Ecology. Cambridge University Press, 298.

Hily, C., Duchêne, J., Bouchon, C., Bouchon-Navarro, Y., Payri, C., Gigou, A., et Védie, F. (2010). Les herbiers de phanérogames marines de l'outre-mer français Écosystèmes associés aux récifs coralliens. Conservatoire Du Littoral.

Jacob, C. (2017). Approche géographique de la compensation écologique en milieu marin : analyse de l'émergence d'un système de gouvernance environnementale. Thèse de doctorat. Université Paul Valéry-Montpellier III.

Johnson, M., Lustic, C., Bartels, E., Baums, I., et Giliam, D. (2011). Caribbean Acropora restoration guide : best practices for propagation and population enhancement, 1-64.

Keulen, M. van. (2002). Seagrass Transplantation in a High Energy Environment. Experiences from Success Bank, Western Australia. Restoration Workshop for Gulf St Vincent 15-16.

Koch, E. W., Ackerman, J. D., Verduin, J., et Keulen, M. van. (2007). Fluid Dynamics in Seagrass Ecology—From Molecules to Ecosystems. In *Seagrasses : Biology, Ecology and Conservation*, 193-225.

Koch E.W., Booth D.M., et Palinkas C. (2012). Seagrasses and the ecosystem service of shoreline protection (or is it sediment stabilization?). In: Creed, J.C., Oigman-Pszczol, S.S. (Eds.), Proc. 10th Int. Seagrass Biology Workshop (ISBW10), 25-30Nov. 2012. Armac, ão dos Búzios, Brazil. Instituto Biodiversidade Marinha, Rio de Janeiro, Brazil, 108.

Lanuru, M. (2011). Bottom Sediment Characteristics Affecting the Success of Seagrass (*Enhalus acoroides*) Transplantation in the Westcoast of South Sulawesi (Indonesia). In 3rd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering IPCBEE, 20.

Lenfant, P., Gudefin, A., Fonbonne, S., Lecaillon, G., Aronson, J., Blin, E., Lourie, S.M., Boissery, P., Loeuilhard, J.-L., Palmaro, A., Herrouin, G. et Person, J. (2015). Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée. Orientations et principes.

Mangrove Action Project (2017). La restauration de la mangrove : bien plus que de planter des palétuviers. 9p.

Meesters, H. W. G., Smith, S. R., et Becking, L. E. (2015). A review of coral reef restoration techniques (No. C028/14). IMARES.

Melana, D. M., Atchue, J., Yao, I. C. E., Edwards, R., Melana, E. E., Gonzales, H. I., et Teoxon, M. V. (2000). Mangrove Management Handbook. The Coastal Resource Management Project, Department of Environment and Natural Resources, 96.

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL), (2012). Doctrine relative à la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur le milieu naturel.

Morandea, D., et Vilaysack, D. (2012). La compensation des atteintes à la biodiversité à l'étranger—Étude de parangonnage. Etudes et Documents (coll.), CGDD.

Nguyen, T. P., Tong, V. A., Quoi, L. P., et Parnell, K. E. (2016). Mangrove restoration : Establishment of a man-

grove nursery on acid sulphate soils. *Journal of Tropical Forest Science*, 275-284.

Oceana (2010). Sustainable development manuals : Restoration of seagrass meadows.

Paling, E. I., Fonseca, M., Van Katwijk, M. M., et Van Keulen, M. (2009). Seagrass restoration. Coastal wetlands : an integrated ecosystem approach. 687-713.

Pascal, N., Lepout, G., Allenbach, M., et Marchand, C. (2016). Valeur économique des services rendus par les récifs coralliens et écosystèmes associés des Outre-mer français. Rapport technique pour l'Initiative Française pour les REcifs CORalliens (IFRECOR).

Pioch, S. (2013). Vers une nouvelle gouvernance côtière entre aménagement et environnement ? La compensation des impacts de l'homme sur l'environnement dans les projets d'aménagements maritimes. Habilitation à Diriger des Recherches.

Pinault, M., Pioch, S., et Pascal, N. (2017). Livret 1 - Guide pour les études d'impact environnemental en milieux coralliens de France d'outre-mer. Rapport IFRECOR.

Pinault, M., Pioch S., et Pascal N. (2017). Livret 2 -Guide pour la mise en oeuvre des mesures compensatoires et la méthode de dimensionnement Merci-Cor. Rapport IFRECOR.

Pole-Relais zones Humides Tropicales (2018). Guide technique. La Restauration de Mangrove. Synthèse des éléments clés à considérer pour tout chantier de restauration. 32 p.

Quod, J.P., Malfait, G., et Secrétariat national de l'IFRECOR (2016). "Etat des récifs coralliens et des écosystèmes associés des outre-mer français en 2015," Documentation Ifrecor.

Ravishankar, T., et Ramasubramanian, R. (2004). Manual on Mangrove Nursery Raising Techniques. MS Swaminathan Research Foundation, Chennai.

Roussel, E, Gabrie, C, et Duncombe, M, (2010). Les mangroves de l'Outre-mer français. Conservatoire du littoral.

Schuhmacher, H., Van Treeck, P., Eisinger, M., et Paster, M. (2000). Transplantation of coral fragments from ship groundings on electrochemically formed reef structures. Proceedings 9 Th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia, 2.

Secrétariat de l'IFRECOR et Catherine GABRIE, "Programme d'action 2016-2020 de l'IFRECOR". Documentation Ifrecor.

SER (Society for Ecological Restoration) (2004).

Science and Policy Working Group. The SER International Primer on Ecological Restoration. Tuscon and Washington, USA. "ABCdaire sur l'écologie de la restauration de la SER internationale".

TEEB (The Economics of Ecosystem Services and Biodiversity) (2009). L'Économie des écosystèmes et de la biodiversité : Intégration de l'Économie de la nature, rapport de 2009.

TEEB (2010). L'Économie des écosystèmes et de la biodiversité : Intégration de l'Économie de la nature. Une synthèse de l'approche, des conclusions et des recommandations de la TEEB.

Van Tussenbroek, B. I., Guadalupe, M., Santos, B., Gonzalo, J., Wong, R., Kornelis Van Dijk, J., et Waycott, M. (2010). A guide to the tropical seagrasses of the western Atlantic. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Del Coyoacan, Mexico. 82.

Wells, S., et Ravilious, C. (2006). In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs (No. 24).

Wilkinson, C. (2011). Status of Coral Reefs of the World: 2008. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre. Townsville.

SITES INTERNET CONSULTÉS :

http://ccres.net/images/uploads/publications/5/reef_restoration_concepts_guidelines_french.pdf

<https://ifrecor.fr/>

<http://ifrecor-doc.fr/items/show/1367>

<http://www.ifrecor-doc.fr/items/show/1743>

<http://www.ifrecor-doc.fr/items/show/1670>

<http://imars.marine.usf.edu/MC/>

<http://www.coralbiome.com/fr/>

<https://www.inserm.fr/thematiques/technologies-pour-la-sante/dossiers-d-information/biomateriaux/reparrer-l-os>

GLOSSAIRE

- Compensation environnementale** La compensation environnementale consiste à engager des actions ayant pour objectif de créer un gain environnemental équivalent à un dommage environnemental observé par ailleurs, généralement dans un objectif affiché de neutralité écologique (« Pas de Perte Nette »). Les équivalences peuvent être évaluées en termes de populations animales ou végétales, d'habitats, de ressources, de fonctions écologiques, de services écosystémiques. La compensation environnementale peut avoir une origine légale (séquence Eviter-Réduire-Compenser) ou être fondée sur une démarche volontaire. L'objectif final est le maintien de la biodiversité et des écosystèmes à l'échelle d'un territoire spécifique.
- Création d'un écosystème** Fabrication d'un écosystème dans un but utile, ou remplacement intentionnel d'un écosystème par un autre type d'écosystème supposé être de plus grande valeur sur le site en question (Clewell et Aronson, 2010, p.295).
- Équivalence écologique** L'une des étapes primordiales de la mise en œuvre des mesures compensatoires est leur dimensionnement. Les résultats de la compensation doivent être équivalents écologiquement. Ainsi dans l'objectif de "non perte nette" en biodiversité, il est nécessaire de mesurer si les gains des mesures compensatoires sont équivalents aux pertes de biodiversité dues aux impacts.
- Habitat** Le lieu où vit une population animale ou végétale ou une communauté biologique. Il inclut les différents milieux utilisés aux différents stades de développement et d'activités des populations animales et végétales.
- Ingénierie écologique** Regroupe l'ensemble des techniques et processus pour résoudre un problème socio-économique et/ou environnemental à court terme via l'utilisation d'organismes vivants ou d'autres matériaux d'origine biologique ou non.
- Mesures compensatoires** Voir « compensation environnementale » ou « action de compensation ».
- Préservation** Action visant à protéger un écosystème par des mesures légales (servitude environnementale, réserve naturelle, etc.) et/ou physiques (limitation physique de l'accès à des zones protégées).
- Réhabilitation** Processus d'assistance au rétablissement des fonctions et du fonctionnement d'un écosystème endommagé, en tenant moins compte des espèces indigènes présentes dans le modèle de référence que dans le cas de véritables projets de restauration. Le but est généralement de rétablir la productivité ou, plus généralement, de fournir des services écosystémiques (Clewell et Aronson, 2010, p.300).
- Résilience** Capacité d'un écosystème à tolérer des perturbations et à se rétablir de façon autonome par régénération naturelle, sans passer par un autre stade contrôlé par d'autres processus. Soit la capacité d'un écosystème à se rétablir d'une perturbation, sans intervention humaine. De plus, la résilience dans des systèmes sociaux ou socio-écologiques permet aux hommes d'anticiper et de planifier

pour le futur (Clewell & Aronson 2010, p300).

Résilience d'un écosystème Capacité de celui-ci à retrouver un fonctionnement, un développement et un équilibre dynamique normal après une perturbation naturelle ou anthropique.

Restauration écologique « La restauration écologique est le processus qui assiste l'auto-réparation d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit » c'est la définition proposée par la Société Internationale pour la Restauration Ecologique (Society for Ecological Restoration International). Cette définition sous-entend la nécessité d'une intervention humaine pour amorcer et/ou favoriser la réparation naturelle d'un écosystème endommagé. La restauration écologique fait donc suite à des impacts d'origine anthropique (pollution, échouage, travaux d'aménagement, etc.) mais aussi naturelle (cyclones, typhons, tsunamis, etc.). Le but est d'atteindre un retour dans sa trajectoire d'évolution historique et non pas de revenir à son état idéal. Ainsi, un écosystème est considéré comme réparé lorsqu'il peut continuer son développement sans assistance humaine. Pourtant, elle est difficile à mettre en œuvre notamment dans le milieu marin. En effet, les connaissances du fonctionnement des écosystèmes aquatiques sont encore insuffisantes (Pioch et al., 2019).

Séquence ERC Éviter - réduire - compenser. Séquence visant à éviter « au maximum », réduire « au maximum » puis compenser les impacts résiduels en vue d'atténuer au maximum les dommages écologiques générés par un projet de développement.

Service écosystémique Service rendu par un écosystème à l'Homme.

Symbiose Association intime et durable entre deux espèces différentes. Cette association est un gage de survie aussi bien pour une espèce que pour l'autre.

ACRONYMES

DCE	Directive Cadre sur l'Eau
DCSMM	Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin
IFRECOR	Initiative Française pour les Récifs CORalliens
MERCICOR	Méthode pour Eviter Réduire et Compenser les Impacts en zones Coralliennes
SE	Services écosystémiques
SER	Society for Ecological Restauration International
CGDD	Commissariat Général au Développement Durable
SP	Espèce
NA	Non Attribué