

LA RESTAURATION RECIFALE

Guide pratique à l'usage des décideurs et aménageurs



 *Avril 2003*



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ÉCOLOGIE
ET DU
DÉVELOPPEMENT DURABLE



IFRECOR


EDITO

Ce guide a pour but de fournir aux décideurs, scientifiques et techniciens de l'environnement concernés par la gestion du milieu récifal, des informations pratiques concernant la restauration d'écosystèmes menacés : objectifs de la restauration, paramètres à prendre en compte pour décider de la pertinence d'une opération de restauration, techniques utilisables.

Ce document ne prétend pas fournir de « recettes ». Il met au contraire en évidence, notamment à partir d'exemples, la diversité des milieux à restaurer et leurs contraintes et donc la variété des solutions techniques envisageables. Chaque cas étant particulier, l'objectif est d'apporter au lecteur des éléments de réflexion pour faire des choix en matière de restauration récifale. Celui-ci pourra ensuite se référer à la bibliographie détaillée fournie en annexe et qui repose sur une analyse concernant plus de 150 publications.

Ce document a été élaboré grâce aux financements conjoints du **ministère de l'écologie et du développement durable** (via le programme national de recherche "Recréer la nature") et du comité local de l'**IFRECOR** en Polynésie française.

Les auteurs remercient en particulier :

☐ **Véronique BARRE**

Ministère de l'écologie et du développement durable
Direction des études économiques et d'évaluation environnementale
Service de la recherche et de la prospective

☐☐ **Annie AUBANEL**

Membre du comité national de l'IFRECOR en Polynésie française

☐☐ **Jean-Louis CHAPUIS et Geneviève BARNAUD**

Muséum National d'Histoire Naturelle
Coordinateurs du programme national de recherche "Recréer la nature"

☐☐ **Raymond BAGNIS**

Président de l'association "Proscience TE TURU 'IHI "



AVANT-PROPOS

L'écosystème corallien se dégrade de façon accélérée depuis quelques décennies par suite d'une augmentation de la pression démographique des populations riveraines avec leurs activités perturbatrices qui se conjuguent avec les dégradations dues aux phénomènes naturels. Qu'il s'agisse de surexploitation des ressources pour l'alimentation, le plus souvent vivrière mais où apparaît de plus en plus la commercialisation, c'est une exploitation qui se fait parfois sans respect du milieu et de la nécessité de sa pérennité. Qu'il s'agisse de projets de développement, à terre comme dans les lagons, avec leur cortège de dégradations atteignant les récifs coralliens, de l'urbanisation aux infrastructures portuaires et touristiques, les zones récifales dégradées se multiplient. Les phénomènes naturels enfin, cyclones ou blanchissement-mortalité des coraux, plus fréquents depuis deux décennies, font le lit de zones dégradées qui n'arrivent pas à récupérer normalement face aux pollutions et dégradations humaines. Résultat : une multiplication des zones récifales dégradées.

Au-delà des aménagements dont sont l'objet les milieux naturels en vue d'une gestion rationnelle et durable des espaces et de leurs ressources, les travaux de restauration de milieux dégradés ne datent que de quelques décennies. En 1995, le ministère de l'environnement eut le mérite de galvaniser les énergies des chercheurs et gestionnaires en lançant le programme " Recréer la Nature ". Deux projets de restauration furent retenus, l'un à la Réunion, l'autre en Polynésie française. À cette époque, des travaux avaient déjà été publiés, surtout étrangers mais aussi français, sur des sujets traitant de la restauration physique et biologique de milieux coralliens dégradés. Les premiers travaux sur la restauration récifale et la transplantation de coraux datent de la fin des années 70 et en 1999 un Symposium International leur fut consacré en Floride.

L'initiative Internationale en faveur des Récifs Coralliens (ICRI), créée en 1995, a recommandé à plusieurs reprises dans ses résolutions la nécessité de développer ces actions de restauration. Il en est de même de

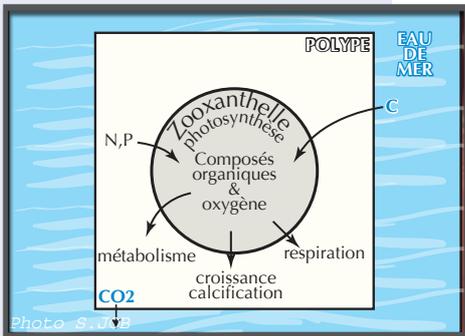
l'Initiative Française pour les Récifs Coralliens (IFRECOR) qui a retenu dans son programme national une action sur la " restauration des zones coralliennes dégradées " animée par la Polynésie française.

C'est dans ce contexte et avec l'appui du ministère de l'écologie et du développement durable et du comité polynésien de l'IFRECOR que ce guide voit le jour. Qui dit guide dit pratique. C'est ainsi que l'ont voulu les auteurs. Ce guide pratique est un produit éducatif et technique destiné tout à la fois aux chercheurs et gestionnaires des habitats coralliens comme aux responsables des services administratifs et des entreprises du secteur privé ayant à traiter des aménagements en milieu lagonaire et récifal. Une présentation des récifs coralliens et de l'enjeu que représente leur survie, l'exposé des possibilités de restauration de sites dégradés, des études de cas et les pratiques de restauration recommandées, constituent les chapitres de ce guide. Bravo et merci aux auteurs pour cette contribution claire et didactique qui devrait susciter intérêt et projets.

Dans toutes les collectivités françaises outre-mer possédant des récifs coralliens sur leur littoral, des Caraïbes à l'Océan Indien et au Pacifique, il existe des zones dégradées, parfois depuis longtemps (exemples : zone d'extraction de matériaux coralliens, pollution terri-gène...) ou en cours de dégradation. Ce guide est un recueil de ce qui peut être fait pour restaurer ces zones une fois supprimée la cause de leur détérioration. Il y va non seulement du rétablissement du fonctionnement normal d'un écosystème où chaque unité tient sa place, mais aussi de son intérêt patrimonial, éducatif, esthétique, touristique et en fin de compte économique. Un milieu corallien sain est indispensable pour toutes les activités humaines littorales en zone tropicale (pêcheur, perliculteur, baigneur, plongeur, surfeur, touriste...). L'oublier serait imaginer que l'Homme peut vivre sans la nature, sans un environnement qui a le plus souvent imprégné sa culture.

Bernard SALVAT
EPHE-CNRS
Chair ICRI 1999-2000

1.1 - INTRODUCTION



L'écosystème corallien est souvent assimilé, de par sa luxuriance, à une véritable «forêt sous-marine». Avec la forêt tropicale, il constitue l'un des écosystèmes les plus **diversifiés**, les plus **complexes** et les plus **productifs** de la planète. Son extrême complexité lui confère toutefois une grande fragilité.

A la base de l'écosystème corallien, les **polypes** - animaux hébergeant dans leurs tissus des **micro-algues symbiotiques** (zooxanthelles) élaborent des structures calcaires sous-marines : les **récifs coralliens**.

En pratiquant la photosynthèse, les algues symbiotiques fournissent aux polypes de **l'oxygène** et des **molécules** essentielles à la construction du squelette calcaire tandis que le polype fournit aux algues un **refuge** et des **déchets azotés** et **phosphorés** pour leur métabolisme protidique.

Deux écosystèmes sont associés aux récifs coralliens :

- Les **herbiers de phanérogames marines** : zones de nutrition, de reproduction et de nurserie pour les poissons. Ils jouent un rôle important dans la stabilisation du substrat sédimentaire et l'oxygénation des eaux.

- Les **mangroves** : zones de reproduction et de nurserie. Leur rôle est essentiel dans la protection des côtes contre les tempêtes et l'érosion en fixant les sédiments.

Ces trois écosystèmes occupent environ un tiers des littoraux peu profonds du monde : récifs coralliens (15%), herbiers (9%) et mangroves (9%).

1.2 - IMPORTANCE ECOLOGIQUE ET ECONOMIQUE DES RECIFS CORALLIENS

Foyer de biodiversité, les récifs coralliens abritent des milliers d'espèces dont les 3 groupes essentiels sont les coraux, les mollusques et les poissons. On y trouve également des échinodermes (oursins, holothuries, étoiles de mer, ophiures), des crustacés (crevettes, langoustes, crabes), des vertébrés (mammifères, oiseaux de mer), des éponges, des vers marins, des ascidies, et bien d'autres habitants. Des espèces rares (certains coquillages ou poissons) ou remarquables (raies manta, tortues) sont inféodées aux récifs coralliens.

Source d'emplois : 100 millions d'individus ont une activité en étroite relation avec les récifs coralliens (pêches vivrière et commerciale, perliculture, tourisme, artisanat...).

Source de nourriture, les récifs et écosystèmes associés constituent la principale source de protéines pour de nombreux insulaires.

Le tourisme, première industrie au monde repose, en zone intertropicale côtière, sur la luxuriance et la bonne santé des récifs coralliens.

Les récifs coralliens sont à l'origine de la formation de nombreux **atolls** et leur présence en bordure du littoral assure la **protection des côtes** de l'action des vagues ou d'événements cycloniques (érosion).

Les coraux sont utilisés comme **matériaux de construction** dans de nombreuses îles.

Ils présentent un intérêt dans le domaine **médical** (prothèses) et **pharmaceutique**.

Ils sont parties intégrantes d'une **culture** et de **traditions** pour de nombreuses populations.



1.3 - UN ECOSYSTEME MENACE

Apparus sur terre il y a environ 500 millions d'années, les récifs coralliens connaissent des dégradations importantes depuis ces dernières décennies. D'après le bilan de l'état de santé des récifs coralliens mondiaux en 2002, il a été estimé que **58% des récifs sont menacés** et **10% sont sévèrement dégradés** ou détruits. Les sources de perturbation sont diverses, d'origines naturelle et anthropique, mais leurs conséquences convergent toutes vers la **déstabilisation de l'écosystème**.

Les causes d'origine naturelle

Causes de dégradations	Types de dégradation
Effets de cyclones	<ul style="list-style-type: none"> Destruction mécanique au niveau des platiers coralliens et des pentes externes, pouvant entraîner localement de profondes modifications géomorphologiques
Incidences de fortes marées basses prolongées (dépression barométrique)	<ul style="list-style-type: none"> Emerision prolongée de la partie supérieure des massifs coralliens
Période prolongée de temps très calme, en période chaude	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la température de l'eau, confinement, risque d'eutrophication Phénomène général de blanchissement des coraux sur le platier et pente externe
Apports terrigènes massifs dans les lagons, en période pluvieuse, phénomène fréquent en zone tropicale, lié au cumul des conditions suivantes <ul style="list-style-type: none"> Fortes pluies tropicales Forte épaisseur de matériaux d'altération Forte pente 	<ul style="list-style-type: none"> Turbidité élevée des eaux et hyper sédimentation fine pouvant entraîner l'asphyxie des herbiers et Dégradation des paysages sous-marin
Infestation de certaines espèces (l'étoile de mer <i>Acanthaster planci</i> par exemple)	<ul style="list-style-type: none"> Destruction rapide de grandes étendues récifales
Changements climatiques: El Nino plus sévères et fréquents, réchauffement de la planète, cyclones plus sévères et fréquents...	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation des phénomènes de blanchissement des coraux, destruction mécanique, asphyxie des coraux...

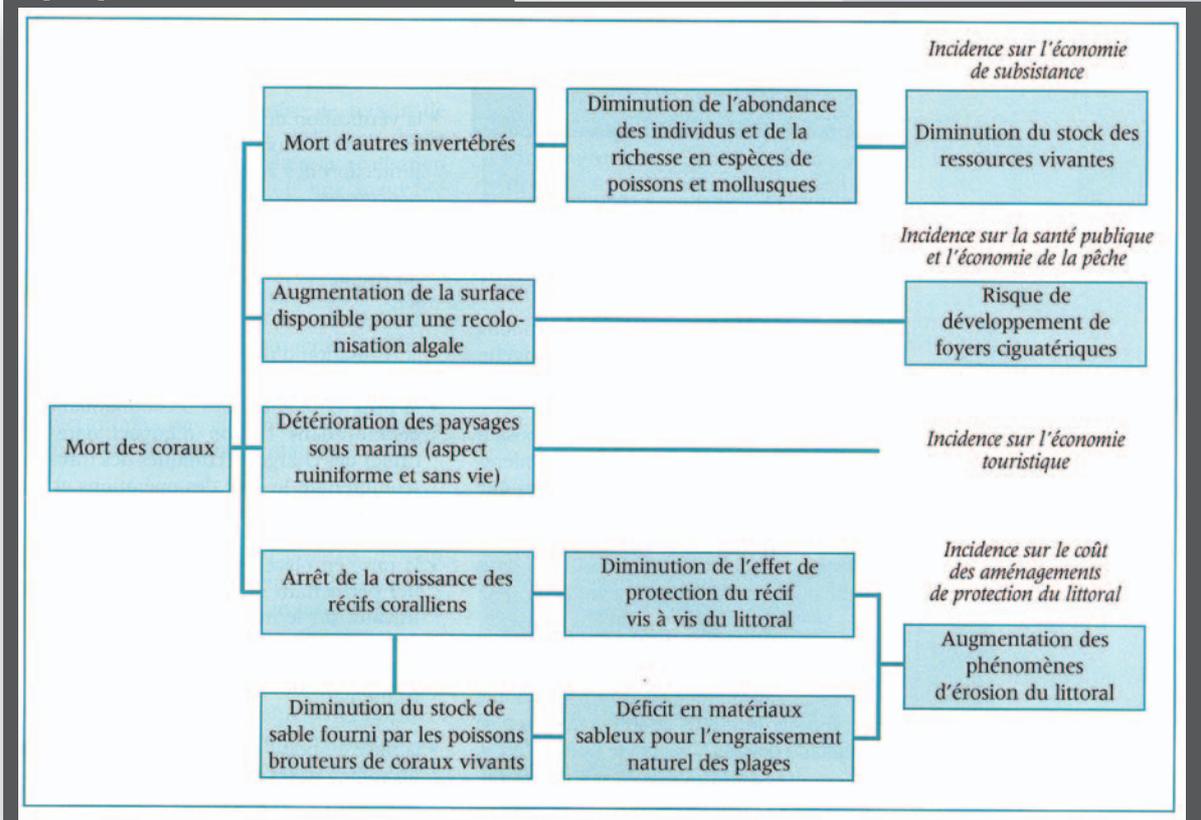
Les causes d'origine anthropique

Causes de dégradations	Types de dégradation	Causes de dégradations	Types de dégradation
Suppression du couvert végétal pour l'urbanisation ou l'agriculture (terrassements entraînant une érosion des sols et des apports terrigènes importants dans les lagons en période pluvieuse).	<ul style="list-style-type: none"> Forte turbidité des eaux (facteur limitant la croissance des coraux) Asphyxie des coraux par hyper sédimentation Limitation de la fixation des larves et donc de la recolonisation corallienne Dégradation des paysages sous-marins 	Rejets d'eaux usées et d'eaux pluviales (chargées en matériaux terrigènes, matières organiques, polluants divers, macrodéchets) : <ul style="list-style-type: none"> Emissaire en mer Exutoire d'eau pluviale Embouchure de cours d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> Pollution organique favorisant la prolifération des algues au détriment des coraux Pollution chimique (effets toxiques sur différentes espèces) Pollution bactérienne : incidence sur la santé publique Apports terrigènes (turbidité et asphyxie des coraux)
Remblaiement sur platier récifal (complexes industriels, urbanistiques, ports, aéroports, plages...)	<ul style="list-style-type: none"> Destruction mécanique des écosystèmes au droit des remblais Dégradation des zones voisines par apports terrigènes, augmentation de la turbidité des eaux et asphyxie des coraux par hyper sédimentation Risque de formation des zones stagnantes (fonction de la géométrie des remblais) et d'eutrophication Effet de coupure (physique, biologique, socio économique) Pollutions induites par les infrastructures mises en place sur les remblais Dégradation des paysages littoraux 	Décharge d'ordures ménagères, apports de macrodéchets	<ul style="list-style-type: none"> Pollutions (variables en fonction des déchets) Eutrophication en zone semi-confinée par l'apport excessif de matières organiques Dégradation du paysage Asphyxie de certaines espèces par ingestion de sacs plastiques
Dragage (extraction de matériaux, creusement de chenal, port, marina, élargissement de passe, aire de baignade, etc...)	<ul style="list-style-type: none"> Destruction mécanique au droit de l'excavation Dégradation des zones voisines par le mouvement des engins, la mise en place de chemins de dragage et les apports de panaches turbides entraînant des phénomènes d'hyper sédimentation Formation de zones pièges dans les excavations (ensablement, zone sans vie, recolonisation difficile, accumulation de macrodéchets...) Modification des conditions hydrodynamiques et sédimentologiques locales Dégradation du paysage Risque de développement de foyers de ciguatera 	Activités touristiques (cumul des différentes dégradations énumérées précédemment dans le cas d'aménagement de complexes touristiques importants, auxquels s'ajoutent les effets de la pression touristique sur le récif)	<ul style="list-style-type: none"> Destruction mécanique par piétinement, ancrage des bateaux, coups de palme des plongeurs Collecte Pollution par les bateaux
		Surexploitation des ressources marines (utilisables pour l'alimentation et l'artisanat)	<ul style="list-style-type: none"> Appauvrissement des stocks de poissons et coquillages
		Pollutions diverses liées aux rejets industriels, exploitation pétrolière, déversement accidentels en mer...	<ul style="list-style-type: none"> Dégradations variables, en fonction du type de pollution et des quantités rejetées

Exemples de dégradations naturelles et anthropiques du milieu récifal



Les principales incidences de la mortalité des coraux



1.4 - LA FRANCE ET SES RECIFS CORALLIENS

POLYNÉSIE FRANÇAISE	
Densité	55 hab/km ² (34% à Papeete)
% de récif dégradé	10% détruits à Tahiti, très variable selon les autres îles hautes
Enjeux	20% des atolls coralliens du globe Tourisme, perliculture, pêche
Pressions majeures	· Cyclone, blanchissement, crises dystrophiques dans les lagons, <i>Acanthaster planci</i> · Îles de la Société : Extraction de matériaux, remblais et anthropisation du rivage, tourisme aménagements côtiers et pollution tellurique, eaux usées

WALLIS ET FUTUNA	
Densité	100 hab/km ² (67% à Mata-Utu (Wallis))
% de récif dégradé	Faible - non quantifié
Enjeux	Peu connus, pêche de subsistance
Pressions majeures	Extraction corallienne, érosion et sédimentation, aménagements côtiers, agriculture, pêche



MAYOTTE	
Densité	349 hab/km ² (21% Mamoudzou et environs)
% de récif dégradé	36% des récifs frangeants
Enjeux	Double récif-barrière Pêche, Aquaculture Tourisme
Pressions majeures	Développement économique et explosion démographique, non respect du cadre réglementaire et manque de sensibilisation + catastrophes naturelles, agriculture

LA RÉUNION	
Densité	269 hab/km ² (82% sur le littoral)
% de récif dégradé	28% dégradés 50% perturbés
Enjeux	Pêche Tourisme Protection du littoral
Pressions majeures	Urbanisation du littoral, agriculture, tourisme + catastrophes naturelles

NOUVELLE CALEDONIE	
Densité	11 hab/km ² (60 % à Nouméa)
% de récif dégradé	10% détruit à Nouméa. Faible sur les autres sites
Enjeux	Seconde plus grande barrière récifale au monde (1 600 km de longueur), double récif-barrière. Foyer de biodiversité et diversité géomorphologique, endémisme Pêche vivrière, tourisme
Pressions majeures	· Cyclone, blanchissement, <i>Acanthaster planci</i> · Exploitation minière (Nickel), sédimentation terrigène, aménagement du littoral, remblais et dragage, pollution industrielle et domestique (Nouméa)

ANTILLES	
Densité – Martinique – Guadeloupe	248 hab/km ² (50% à Pointe à Pitre) 339 hab/km ² (50% à Fort de France, St Joseph, Lamentin)
% de récif dégradé	80%
Enjeux	Endémisme Pêche Tourisme
Pressions majeures	· Cyclones, mortalité massive des oursins diadème, maladies des coraux, blanchissement · Prolifération algale, pollution agricole (engrais), hydrocarbures, sucreries et distilleries, métaux lourds, pollution urbaine, sédimentation terrigène, remblais et déblais, dragages et extraction de sable, tourisme, pêche

Données issues de "l'Etat des récifs coralliens et de leurs ressources dans les collectivités françaises d'outre-mer en 2002"
ministère de l'écologie et du développement durable et ministère de l'outre-mer

1.4 - LA FRANCE ET SES RECIFS CORALLIENS

POLYNÉSIE FRANÇAISE	
Densité	55 hab/km ² (34% à Papeete)
% de récif dégradé	10% détruits à Tahiti, très variable selon les autres îles hautes
Enjeux	20% des atolls coralliens du globe Tourisme, perliculture, pêche
Pressions majeures	· Cyclone, blanchissement, crises dystrophiques dans les lagons, <i>Acanthaster planci</i> · Îles de la Société : Extraction de matériaux, remblais et anthropisation du rivage, tourisme aménagements côtiers et pollution tellurique, eaux usées

WALLIS ET FUTUNA	
Densité	100 hab/km ² (67% à Mata-Utu (Wallis))
% de récif dégradé	Faible - non quantifié
Enjeux	Peu connus, pêche de subsistance
Pressions majeures	Extraction corallienne, érosion et sédimentation, aménagements côtiers, agriculture, pêche



NOUVELLE CALEDONIE	
Densité	11 hab/km ² (60 % à Nouméa)
% de récif dégradé	10% détruit à Nouméa. Faible sur les autres sites
Enjeux	Seconde plus grande barrière récifale au monde (1 600 km de longueur), double récif-barrière. Foyer de biodiversité et diversité géomorphologique, endémisme Pêche vivrière, tourisme
Pressions majeures	· Cyclone, blanchissement, <i>Acanthaster planci</i> · Exploitation minière (Nickel), sédimentation terrigène, aménagement du littoral, remblais et dragage, pollution industrielle et domestique (Nouméa)

ANTILLES	
Densité – Martinique – Guadeloupe	248 hab/km ² (50% à Pointe à Pitre) 339 hab/km ² (50% à Fort de France, St Joseph, Lamentin)
% de récif dégradé	80%
Enjeux	Endémisme Pêche Tourisme
Pressions majeures	· Cyclones, mortalité massive des oursins diadème, maladies des coraux, blanchissement · Prolifération algale, pollution agricole (engrais), hydrocarbures, sucreries et distilleries, métaux lourds, pollution urbaine, sédimentation terrigène, remblais et déblais, dragages et extraction de sable, tourisme, pêche

MAYOTTE	
Densité	349 hab/km ² (21% Mamoudzou et environs)
% de récif dégradé	36% des récifs frangeants
Enjeux	Double récif-barrière Pêche, Aquaculture Tourisme
Pressions majeures	Développement économique et explosion démographique, non respect du cadre réglementaire et manque de sensibilisation + catastrophes naturelles, agriculture

LA REUNION	
Densité	269 hab/km ² (82% sur le littoral)
% de récif dégradé	28% dégradés 50% perturbés
Enjeux	Pêche Tourisme Protection du littoral
Pressions majeures	Urbanisation du littoral, agriculture, tourisme + catastrophes naturelles

Données issues de "l'Etat des récifs coralliens et de leurs ressources dans les collectivités françaises d'outre-mer en 2002"

ministère de l'écologie et du développement durable et ministère de l'outre-mer

La restauration des récifs coralliens dégradés consiste en une **intervention humaine** directe visant à rétablir les conditions nécessaires à la vie récifale et à favoriser cette reprise.

Cette idée est apparue au cours de la dernière décennie, face à une **dégradation générale** et croissante des écosystèmes coralliens et écosystèmes associés, et devant la nécessité de **préserver la biodiversité**.

2.1 - LES OPERATIONS DE RESTAURATION DANS LE MONDE

Des opérations de restauration récifale ont été menées dans l'ensemble de la zone intertropicale comportant des récifs : Océan Indien, Océan Pacifique, Mer des Caraïbes, Mer Rouge, Australie, Amérique Centrale et Amérique du Nord. Un grand nombre d'entre elles ont été réalisées aux Etats-Unis, en particulier dans l'état de Floride, suite à

La répartition géographique des opérations de restauration récifale apparaît davantage liée à la situation et aux enjeux économiques des pays plutôt qu'aux besoins réels. Des techniques à faibles coûts et faibles contraintes technologiques sont à développer.



Photo S. CLARCK

Structures artificielles et transplants coralliens pour la restauration d'un site dégradé aux Maldives



Photo NOAA

Restauration physique après échouage d'un navire en Floride

l'échouage de navires. Ce type d'intervention est largement facilité par les infrastructures et les moyens logistiques et financiers en place dans cette zone. Les activités de restauration sont souvent onéreuses, requièrent des matériaux et techniques pointus, et leur faisabilité est donc étroitement liée à la situation et aux enjeux économiques du pays concerné.

Il se trouve que la majorité des récifs coralliens de la planète se situent sur les littoraux de **pays en voie de développement**, (sur 110 pays bordés de récifs coralliens, 105 sont des PVD), et sont donc gérés localement par les communautés de pêcheurs.

La plupart des techniques développées à l'heure actuelle ont donc un coût trop élevé pour répondre à leurs besoins, du fait de leurs ressources financières limitées. Cette observation souligne une nécessité de développer des techniques à faibles coûts et faibles contraintes technologiques.

2.2 - ORIGINE DES OPERATIONS DE RESTAURATION

Une restauration est entreprise lorsque l'on veut remédier à une dégradation de l'écosystème. Au vu des multiples agressions naturelles et anthropiques sur les récifs et des opérations conduites jusqu'à ce jour, certaines tendances sont à noter :



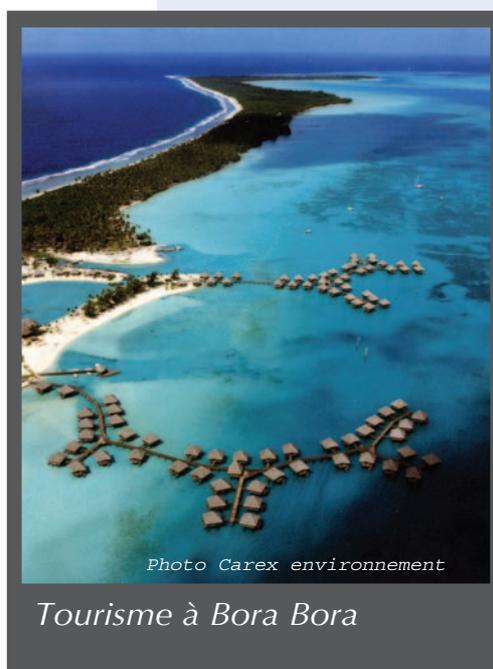
- La plupart des opérations ont été menées à la suite d'une destruction mécanique du récif lors de **l'échouage de navires**.

- De nombreuses restaurations ont été réalisées après des dégradations liées à des travaux **d'aménagement du littoral** (dragage, construction d'une jetée, mise en place d'un émissaire...) ou suite à des **rejets polluants** (rejets urbains, rejets d'usines...) ; et dans des sites à **forte fréquentation touristique**.



- Les causes majeures de destruction des récifs dans les pays en voie de développement sont la **surexploitation des ressources** et les **techniques de pêche destructives**. La restauration de ces récifs apparaît comme vitale pour les populations concernées.

- Dans une moindre mesure, des opérations de restauration ont été conduites sur des récifs dégradés par le passage d'un **cyclone**, ayant subi un **blanchissement** significatif ou envahi par l'étoile de mer ***Acanthaster planci***.



Dans tous les cas, les opérations de restauration ont été entreprises afin de répondre à une demande sociale et à des besoins économiques que ce soit pour maintenir et développer le tourisme ou pérenniser des ressources alimentaires vitales pour les riverains.

2.3 - TYPES DE RESTAURATION ET TECHNIQUES UTILISEES

La première étape de toute restauration est la **suppression de la cause de dégradation**, démarche qui s'inscrit dans une gestion intégrée de l'ensemble de la zone côtière, tant au niveau des détériorations générées à terre que sur les récifs eux-même.

Les opérations de restauration des récifs coralliens se répartissent en 3 catégories. Il peut s'agir de :

- *Restauration physique*
- *Restauration biologique*
- *Restauration « mixte » (physique et biologique)*



2.3.1. Restauration physique

La restauration physique est nécessaire lorsque le récif a subi une modification structurelle, que le substrat demande à être stabilisé. Elle se traduit par la réparation ou la création d'un substrat ou, encore, l'augmentation de sa surface pour favoriser le recrutement naturel (recrutement corallien, colonisation par la faune et la flore récifale) et améliorer la dynamique de l'écosystème. La restauration physique est particulièrement utile dans le cas où le substrat récifal est endommagé de telle manière que la recolonisation du milieu par des espèces récifales semble difficile ou que le récif ne joue plus son rôle (protection du littoral contre l'érosion par exemple).

La technique la plus couramment utilisée est la mise en place de structures naturelles (blocs ou pâtes coralliens morts) ou artificielles (pneus, épaves, structures métalliques ou en béton...).

Dans certains cas, lorsque la dégradation n'est pas trop importante, la restauration peut simplement se limiter à un nettoyage du site, comme ce fut le cas à Saint Martin (Antilles Néerlandaises) après l'échouage du navire Horizon (Goldberg et Caballero, 1999).



2.3.2. Restauration biologique

Elle fait intervenir la manipulation d'espèces vivantes du milieu récifal (coraux, poissons, oursins, algues...). Dans la plupart des cas, la restauration biologique se fait :

- Par la **re-fixation** de fragments ou de colonies coralliennes cassées, elle est généralement réalisée au moyen de fils, tuteurs et/ou clous en inox ou en acier.
- Par la **transplantation** d'espèces issues du milieu naturel (site non dégradé) ou de cultures (aquariums, fermes, etc.).

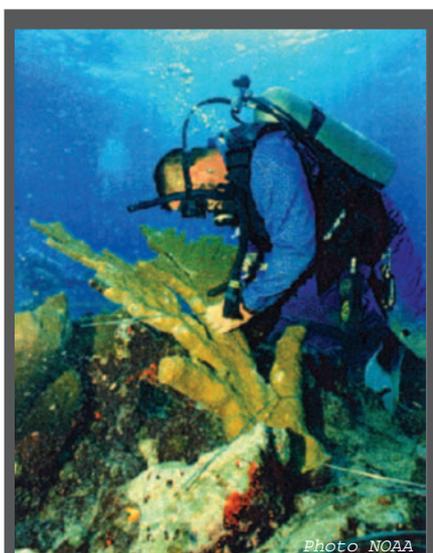


Photo NOAA
Refixation de branches cassées (*Acropora palmata*) après échouage d'un navire

- Par l'**ensemencement** d'un substrat, au moyen de fragments de coraux ou de larves préalablement cultivées *in vitro* puis libérées en pleine eau.

Une bonne connaissance du fonctionnement de l'écosystème récifal et du réseau d'interactions entre les différentes espèces qui le constituent permet d'agir sur certains paramètres de l'écosystème pour favoriser le retour à l'équilibre du site dégradé. C'est le cas, par exemple, de récifs dégradés par la

surexploitation des poissons récifaux au Kenya (McClanahan, 1999). Suite à une intervention visant à réduire la population d'oursins, les algues se sont développées sur le récif, attirant une faune ichtyologique herbivore. Cette faune a consommé les algues, principales compétitrices des coraux, favorisant ainsi le recrutement corallien.

2.3.3. Restauration " mixte "

Ce type de restauration, à la fois physique et biologique, est utilisé lorsque le substrat récifal a été sévèrement endommagé par une action humaine ponctuelle qui nécessite une réhabilitation physique, l'ampleur de la perturbation compromettant la recolonisation naturelle du milieu par des espèces récifales.

Dans la plupart des cas, la restauration physique du site (reconstitution du substrat, ré-ensablement, etc.) est accompagnée de la transplantation de coraux sur le nouveau substrat. Cette technique a été largement utilisée pour la restauration de récifs dégradés par l'échouage de navires.



Photo Carex environnement
Transplants coralliens sur structure artificielle. Jardin Corallien à Bora-Bora

2.4 - LA TRANSPLANTATION COMME MOYEN DE RESTAURER LES RECIFS : AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Une abondante documentation existe sur le rôle potentiel de la transplantation corallienne dans la gestion des récifs. Un des premiers rapports écrits à ce sujet décrivait la transplantation de deux espèces de coraux dans la Baie de Kanehoe (Hawaï) souffrant d'une importante mortalité corallienne par eutrophisation (Maragos, 1974).

Par la suite, la transplantation a été envisagée dans de nombreuses circonstances :

- Pour **augmenter la couverture corallienne** dans des sites à forte valeur économique, où les récifs ont été endommagés par des perturbations d'origine naturelle, invasion d'*Acanthaster planci* ou cyclones par exemple, ou si le site possède une couverture corallienne naturellement pauvre.
- Pour **accélérer la régénération** d'un récif dégradé par des opérations d'aménagement (construction hôtelière par exemple, pose d'un émissaire...).
- Pour **préserver des espèces rares** présentes dans des sites "à risque".
- Pour répondre aux besoins de **l'aquariophilie** (approvisionnement en coraux pour les aquariums privés ou publics).

L'objectif de la transplantation est d'augmenter le nombre de colonies coralliennes adultes (probabilité de survie et taux de croissance supérieurs) dans un écosystème dégradé.

En général, la transplantation concerne des coraux, mais également de manière plus rare des benthiques, mollusques et autres organismes.

Les **avantages** de la transplantation sont :

- D'éviter la phase juvénile vulnérable et à faible taux de croissance.
- D'augmenter le recrutement naturel par la production locale de larves.

Quelques **inconvenients** sont toutefois liés à la transplantation :

- Ce sont des techniques coûteuses en temps, en main d'œuvre, aux niveaux logistique, matériel et financier. Seul un nombre limité de coraux peuvent être "plantés" par un plongeur en une heure.
- Les pertes de transplants dues à la prédation et aux fissures du ciment/époxy peuvent être assez élevées.
- La transplantation induit l'introduction d'une quantité importante de matériel étranger dans le milieu ce qui pourrait avoir un effet néfaste sur l'écosystème. Par exemple, transplanter des coraux à fort taux de croissance (ex. *Acropora*) dans une zone où le recrutement est naturellement important peut éventuellement conduire à la mort d'espèces à taux de croissance plus faible (ex. formes massives) par excès de compétition sur ces dernières.

Il est donc essentiel de définir clairement les objectifs de la restauration, d'effectuer une étude de "rentabilité" écologique et économique avant toute opération de transplantation et de s'entourer de scientifiques et/ou techniciens compétents avertis des conséquences écologiques de ce type de manipulations.

D'où proviennent les transplants ?

- Du site même où ils sont transplantés (ex. re-fixation de colonies cassées).
- D'un site " donneur " qui possède les mêmes caractéristiques écologiques (hydrodynamisme, bathymétrie, physico-chimie, géomorphologie...), que le site de transplantation.
- De **fermes coralliennes** où ils ont été cultivés.

Il existe de nombreuses fermes coralliennes dont l'objectif est de produire des coraux pour répondre aux besoins de l'aquariophilie et de la recherche scientifique principalement, tout en minimisant les prélèvements dans le milieu naturel. En général, la plupart des fermes prélèvent les coraux sauvages, les cassent et les bouturent.

Différentes techniques de culture sont utilisées :

- par électrolyse,
- par culture en bassin,
- par culture en mer.



Bouturage de fragments coralliens

Une méthode alternative à la transplantation se développe ces dernières années : le **réensemencement** des récifs par dispersion dans le milieu naturel **de larves de coraux cultivées *in vitro***. Les larves sont récoltées après la ponte des coraux, cultivées dans des réservoirs puis relâchées sur le récif quand elles sont suffisamment développées et prêtes à se fixer. Les larves peuvent également être cultivées dans des cages flottantes libres. Ceci permet de diminuer la mortalité larvaire souvent très importante durant la phase pélagique. Des études sont actuellement menées afin de développer des techniques pour favoriser la fixation des larves sur le récif. Par exemple, il a été mis en évidence que la présence d'algues calcaires encroûtantes ou de substances chimiques naturellement présentes dans les organismes cotoyant les coraux, favorisent la fixation et la survie des larves sur un substrat.

La transplantation de coraux est une technique lourde qui ne devrait être envisagée que dans des sites où les perturbations environnementales ont été telles que le substrat n'est plus favorable à la fixation des larves et/où le recrutement naturel ne peut donc plus se faire.

Afin de pouvoir fournir un maximum d'informations utiles au lecteur, 5 études de cas ont été choisies sur la base des critères suivants :

- Disponibilité du bilan de la restauration
- Réussite de l'opération de restauration
- Variété des techniques utilisées (restauration physique, biologique, « mixte », transplantations de coraux, récifs artificiels...)
- Diversité du coût des opérations

Les opérations sélectionnées concernent :

- La restauration physique d'un récif dynamité (pêche à l'explosif) en Indonésie.



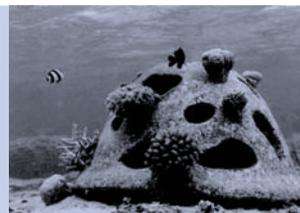
- La restauration physique d'un site après échouage de navires en Floride.



- La restauration biologique d'un site après échouage d'un navire à Porto Rico.



- La restauration « mixte » d'un récif détruit par les conséquences d'un cyclone à la Réunion.



- La restauration « mixte » d'un récif dégradé par des opérations d'extraction corallienne à Bora-Bora.



3.1 - RESTAURATION PHYSIQUE D'UN RECIF DYNAMITE EN INDONESIE

ORIGINE DE L'OPERATION :

Pêche à la dynamite

LIEU :

Parc National de Komodo, Indonésie

DEGATS :

Destruction des récifs : amas de gravats et blocailles

TECHNIQUE UTILISEE : RESTAURATION PHYSIQUE

3 méthodes de restauration physique ont été testées pour consolider le substrat meuble:

1. Filets attachés au substrat
2. Plaques de ciment
3. Enrochements de carrière



BILAN :

L'utilisation des enrochements de carrière a été la technique la plus efficace pour favoriser le recrutement corallien. Les algues rouges encroûtantes ont colonisé rapidement les roches et le recrutement corallien s'est produit dans l'année qui a suivi l'intervention. Les roches ont également présenté une résistance mécanique aux mouvements du sable et des gravats.

Particularités de la restauration :

- 1) ressources financières limitées,
- 2) zone où le recrutement corallien est important : transplantations non nécessaires.

COUT :

5-10 €/m²

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE :

Fox (2001)

3.2 - RESTAURATION PHYSIQUE APRES ECHOUAGES DE NAVIRES EN FLORIDE

ORIGINE DE L'OPERATION :

Echouage de 2 navires, ALEC OWEN MAITLAND et ELPIS (1989)

LIEU :

Sanctuaire Marin National des Florida Keys, Etats-Unis

DEGATS :

Destruction de la charpente du récif autour des sites d'échouage (cratères)

TECHNIQUE UTILISEE : RESTAURATION PHYSIQUE

•ALEC OWEN MAITLAND :

Profondeur : 2,5 mètres
Remplissage du cratère laissé par l'échouage du navire avec des plaques de béton (incrustées de rochers calcaires) fixées avec du ciment sous-marin.

•ELPIS :

Profondeur : 10 mètres
Remplissage du cratère avec du sable corallien et de gros rochers calcaires.



Photo NOAA

Restauration physique à l'aide de plaques de béton (site Alec Owen Maitland)

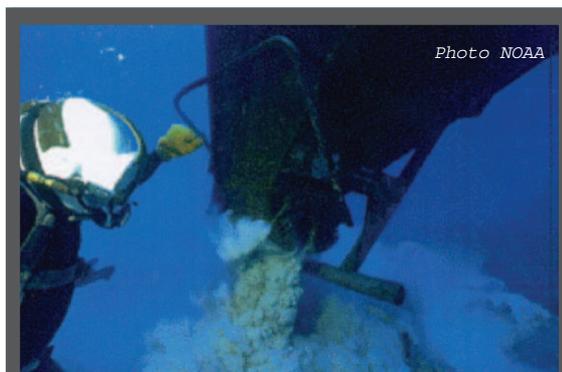


Photo NOAA

Remplissage du cratère avec sable corallien

BILAN :

• Dans les 2 cas, la stabilisation du substrat après l'échouage a été un succès. Les structures restaurées sont restées stables et ont résisté à l'ouragan Georges (1998).

• Le recrutement corallien a été supérieur sur le site le plus profond (ELPIS), en termes d'abondance et de diversité. Il semble que la structure du substrat à ELPIS (davantage de faces verticales et substrat plus complexe, plus irrégulier) ait constitué un facteur favorisant le recrutement corallien. Les structures horizontales, à l'inverse, paraissent favoriser l'accumulation de sédiments et l'installation d'algues filamenteuses, limitant ainsi le recrutement corallien.

COUT :

- ALEC OWEN MAITLAND : 400 €/m²
- ELPIS: 100 €/m²

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE :

Miller et Barimo (2001)

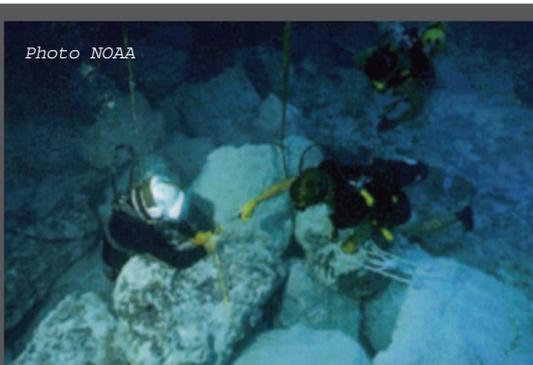


Photo NOAA

Restauration physique à l'aide de rochers calcaires (site Elpis)

3.3 - RESTAURATION BIOLOGIQUE D'UN SITE APRES ECHOUAGE D'UN NAVIRE A PORTO RICO

ORIGINE DE L'OPERATION :

Echouage du navire FORTUNA REEFER (1997)

LIEU :

Récifs frangeants de Mona Island, Porto Rico

DEGATS :

*Destruction des communautés coralliennes (*Acropora palmata*) sur le site d'échouage, menace de déversement de pétrole*

TECHNIQUE UTILISEE : RESTAURATION BIOLOGIQUE

Récupération des fragments coralliens balayés dans les zones sableuses. Immobilisation et re-fixation des fragments instables et cassés (*Acropora palmata*) aux éperons récifaux et structures coralliennes (*Acropora*) encore en place, en les sécurisant avec du fil et des clous en acier inoxydable. Du fait de la dureté et de la densité des fonds récifaux, les fragments coralliens ont été stabilisés en perçant des trous dans le substrat, pour y planter des clous en inox et y attacher les fragments.

BILAN :

1857 fragments coralliens ont été stabilisés en l'espace de 2 mois et demi et des stations de suivi de cette restauration ont été installées.

COUT :

1,25 million € pour la totalité de la restauration

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE :

<http://www.darp.noaa.gov/seregion/fr.htm>



Photo NOAA

Fixation de fragments coralliens à l'aide de fils et de clous



*Fragment de *Acropora palmata* refixé sur le substrat naturel*

3.4 - RESTAURATION MIXTE D'UN RECIF DETRUIT PAR LES CONSEQUENCES D'UN CYCLONE A LA REUNION

ORIGINE DE L'OPERATION :

Cyclone Firinga (1989)

LIEU :

Saint Leu, La Réunion

DEGATS :

*Destruction des habitats
(99% de mortalité corallienne)*

TECHNIQUE UTILISEE : RESTAURATION MIXTE

• Première phase (1996-1998)

RESTAURATION BIOLOGIQUE

- Capture et mise en bassin d'élevage de larves de *Dascyllus aruanus* (Pomacentridae), poissons demoiselle associés à *Acropora formosa*.

- Transplantation de coraux branchus (*Acropora formosa*) sur le substrat naturel. Remise en liberté des larves de *Dascyllus aruanus* destinées à coloniser les transplants coralliens (repeuplement du milieu).

• Deuxième phase (1999-2000)

RESTAURATION PHYSIQUE ET BIOLOGIQUE

- Mise en place de structures artificielles (en béton fibré), de forme adaptée aux platiers récifaux réunionnais.

- Transplantation de fragments d'*A. formosa* sur les récifs artificiels (collage au ciment prompt).

Suivi de la colonisation des récifs artificiels par la faune et flore fixées (coraux, algues), sédentaires (oursins, mollusques, crustacés) et vagiles (poissons) sur 5 mois. L'évolution et la croissance des transplants ont également été étudiées.



Photo Michaël RARD

*Transplantation de coraux branchus
sur structure artificielle*

BILAN :

• Première phase :

- Réussite de l'élevage en aquarium de larves de *Dascyllus aruanus* mais échec de la tentative de colonisation des récifs artificiels. Les poissons réintroduits sur le site ne se sédentarisent pas,

- Réussite de la transplantation : Pas de mortalité observée et bonne croissance des transplants.

• Deuxième phase :

- Réussite de la transplantation de *A. formosa* sur les récifs artificiels : taux de mortalité nul dans le premier mois puis mortalité due à l'impact de l'homme (piétinement, braconnage), des bioérodeurs

(oursins, poissons perroquets) ou à l'envahissement du site par des algues filamenteuses.

- Suivi de l'évolution des communautés récifales entre 1996 et 2000 : excellent taux de récupération de la couverture corallienne.

COUT :

8 100 € pour la totalité de l'opération

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE :

Chabanet et Naim (2000)



3.5 - RESTAURATION MIXTE D'UN RECIF DEGRADE PAR DES OPERATIONS D'EXTRACTION CORALLIENNE A BORA-BORA

ORIGINE DE L'OPERATION :

Extraction corallienne sur le platier récifal

LIEU :

Bora-Bora, pointe Matira, Polynésie Française

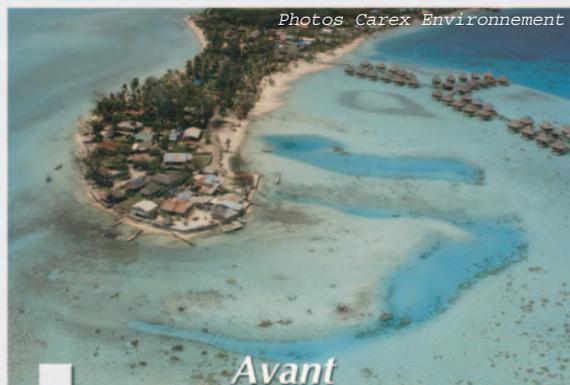
DEGATS :

Récifs détruits ou fortement nécrosés, érosion côtière accrue

TECHNIQUE UTILISEE :
RESTAURATION MIXTE

RESTAURATION PHYSIQUE

1. **Reprofilage des fonds** : Comblement du chenal et des fosses d'extraction (pièges à sédiments), avec du sable provenant de la pente interne du lagon (dragage hydraulique) pour permettre le transit des sédiments vers le littoral.



2. **Mise en place de blocs artificiels en béton** : Fonction de brise-lame des houles lagonaires (limite l'érosion du littoral). Les blocs artificiels ont été conçus pour simuler (forme, couleur, aspérités, cavités) de gros massifs coralliens naturels et pour conserver l'esthétique du site. Les blocs ont été disposés seuls ou en groupe de 2 ou 3 pour reconstituer des massifs dont l'agencement est le plus proche possible de celui observé dans le lagon non perturbé.

RESTAURATION BIOLOGIQUE

Création d'un **jardin corallien** : Fixation (collage) de transplants coralliens sur des blocs artificiels (fragments coralliens) et autour des blocs (colonies entières).

Les 22 espèces de coraux sélectionnées pour la transplantation :

- Ont été choisies en fonction des espèces recherchées pour le jardin corallien : différentes morphologies pour recréer un paysage naturel et diversifié ;
- Sont toutes potentiellement aptes à survivre à la transplantation et à vivre sur le jardin corallien ;
- Ont été collectées sur des sites similaires au jardin corallien (en termes de profondeur, exposition à la houle, turbidité, recouvrement corallien) faciles d'accès et proches, pour limiter le temps de transport ;
- Ont été transportés sous l'eau, dans des paniers.



Bloc artificiel et colonies coralliennes transplantées

Des opérations complémentaires ont été menées, consistant à mettre en place:

- Un **balisage** autour du jardin corallien pour prévenir d'éventuelles dégradations par des embarcations et visiteurs,
- Un **suivi scientifique biologique** pour un an, comprenant un relevé initial (identification et localisation de chaque transplant), des relevés trimestriels (taux de croissance, de mortalité, évolution du faciès récifal, colonisation des blocs artificiels par la faune et flore marines : échinodermes, algues, poissons), et un relevé terminal. Parallèlement, un ingénieur écologue a réalisé 3 missions techniques complémentaires afin de suivre l'évolution sédimentologique et géomorphologique des fonds et du littoral en rapport avec les problèmes d'érosion.

BILAN

- Stabilisation du trait de côte sur la zone restaurée.
- Faible taux de mortalité (3% sur l'ensemble des transplants).
- Taux de croissance des transplants élevé.
- Recrutement corallien naturel sur les blocs artificiels.
- Colonisation du jardin corallien par les poissons.



COUT :

- 627 000 € pour la restauration physique des fonds (comblement des fosses, réalisation d'épis, réensablement des plages, conception et pose de massifs en béton).
- 135 700 € pour la réalisation du jardin corallien (fabrication et pose de 6 massifs, recherche des sites donneurs et transplants, conception et réalisation du jardin et suivi scientifique sur un an), soit 18,75 €/m².

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Porcher *et al.* (2000)

Salvat *et al.* (2002)



L'écosystème corallien est très complexe. Chaque site, et les conditions écologiques qui y règnent, sont différentes. Chaque cas est particulier, il n'existe donc pas de méthode "universelle", tout comme

il est difficile voire impossible de reproduire exactement une opération de restauration viable sur des sites différents, même très proches.

4.1 - RECOMMANDATIONS GENERALES

- Une **étude préliminaire** spécifique (analyse de l'état initial) est requise pour chaque opération de restauration. Cette étude devra déterminer les caractéristiques du site à restaurer, au point de vue hydrodynamique, sédimentologique, biologique et écologique, afin d'optimiser la restauration. Elle doit impérativement être menée par des scientifiques, experts, ingénieurs en environnement récifal et travaux sous-marins. Pour plus de détails sur l'analyse de l'état initial, on se reportera au guide "Milieu littoral et récifal intertropical et aménagements". *Guide pratique. Méthodologie d'étude. Recommandations techniques. M. Porcher. Ministère de l'environnement français et de Polynésie française 1993.*

- Une **étude pilote** est également fortement recommandée pour tester la faisabilité de l'opération de restauration. L'étude pilote consiste à suivre le même protocole que celui choisi pour la restauration mais sur une surface ou un nombre d'échantillons réduit (exemple à Bora-Bora, Pointe Matira: Transplantation de colonies coralliennes et suivi de leur croissance sur 15 blocs artificiels, parmi les 50 devant être mis en place).

- Il est préférable de ne pas concentrer l'effort de restauration sur des sites où la **présence d'algues** est naturellement favorisée (apports de nutriments, forte turbidité, zones calmes...).

En effet, les algues sont les principales compétitrices des coraux; leur installation sur le site est plus rapide et leur développement limite alors le recrutement et la croissance des colonies coralliennes.

- Pour repeupler un récif en poissons herbivores, on peut agir sur les populations d'oursins : une **réduction de l'abondance en oursins** conduit initialement à une augmentation de la biomasse algale, d'où un retour des poissons herbivores sur le site (poissons perroquets, labres, poissons chirurgiens). Une fois les algues consommées, les coraux peuvent à nouveau s'installer sur le substrat récifal.



Photo Carex environnement

Prise de données sur un site à restaurer



Photo Carex environnement

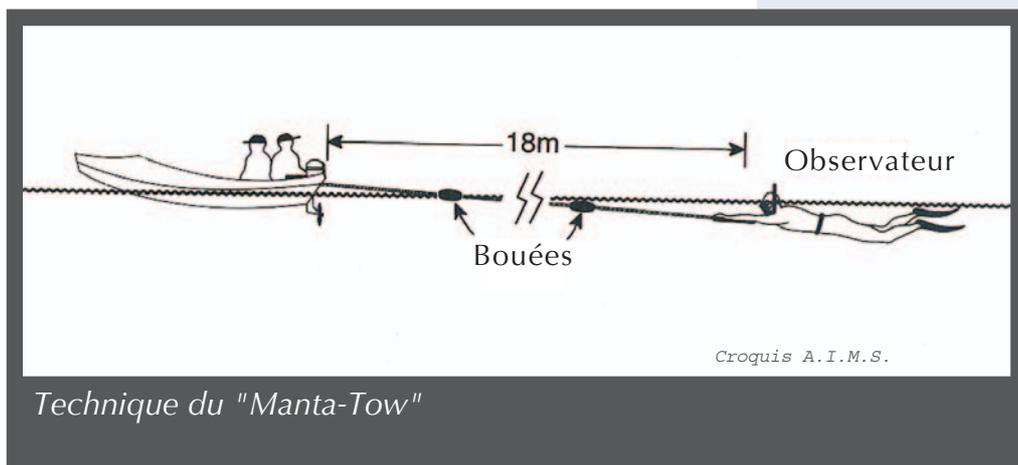
Site à fort recouvrement algal et densité d'oursins importante

• Un **suivi environnemental rigoureux** est nécessaire pour évaluer le succès d'une opération de restauration et éventuellement pouvoir la répéter ou l'améliorer. De nombreuses techniques peuvent être utilisées, comme le montre le tableau ci-dessous. Quelle que soit la méthode choisie, il est nécessaire :

(1) d'effectuer le suivi de façon annuelle, approximativement à la même époque, le plus **longtemps** possible (minimum 5-10 ans), (2) d'effectuer des **relevés complémentaires** en cas de perturbations naturelles majeures (cyclone, élévation anormale des températures...), (3) de **ne pas changer de méthode** au cours du temps afin d'obtenir des données qui soient comparables

Méthode	Observations	Avantages	Inconvénients
« Manta-tow » (sur des kilomètres)	% coraux vivants, morts, mous + comptages divers	- Permet l'étude de larges portions de récif en un temps réduit, sans fatigue - Ne requiert pas de matériel et de qualifications de plongée sous-marine	- Etude sur des portions de récif non appropriées (sable...) - Les animaux « cachés » ne sont pas recensés (espèces cryptiques) - Non appropriée dans des zones à visibilité réduite ($\leq 6m$)
« Line intercept » (sur 25 mètres)	% couverture corallienne, sable, rochers, algues... abondances relatives	- Peut être mené par des plongeurs peu expérimentés en identification - Requiert peu d'équipement	- Objectifs limités aux questions concernant les abondances relatives des différents groupes - Non approprié pour évaluer les taux de croissance, recrutement ou mortalité
Quadrat permanent (sur quelques m ²)	Mesures de croissance, stress mortalité et recrutement	- Informations détaillées par photographies, cartographies : bonne estimation des variations temporelles - Bonne estimation des taux de croissance, stress mortalité et mortalité et recrutement - Informations permanentes sur un site	- Méthode lente et fastidieuse - Méthode logistiquement lourde - Examen d'une petite portion du récif - Photographie : surface +/- plate
Recensement visuel des poissons récifaux (au dessus d'un couloir de 100 m ²)	Comptage de poissons récifaux dans un volume d'eau au dessus d'un couloir le long d'un transect	- Méthode rapide, non destructrice et non onéreuse - Peu de personnel nécessaire	- Observateurs expérimentés en identification de poissons - Comportement des poissons change avec la présence de plongeurs - Ne détecte pas des variations d'abondance chez les espèces rares

Description des méthodes d'étude des récifs coralliens (D'après " Survey Manual for Tropical Marine Resources " (1997) . S. English, C. Wilkinson et V. Backer).



4.2 - RECOMMANDATIONS CONCERNANT L'UTILISATION DE RECIFS ARTIFICIELS

■ Fonctions du récif artificiel :

- Offre un substrat dur pour la colonisation d'invertébrés.
- Sert de refuge pour les poissons et les invertébrés.
- Modifie les courants et l'action des vagues.
- Consolide les zones meubles (blocaille, etc.).
- Empêche certaines activités de pêche (par exemple l'utilisation des chaluts).
- Attire les poissons.
- Présente un intérêt touristique.

• A part quelques exemples de récifs artificiels à base de pneus, de plastique ou d'épaves, la plupart des récifs artificiels sont en **béton** ou sont des **blocs naturels** (rochers calcaires) ou encore **une combinaison des deux** (incorporation de débris de coraux morts dans le mélange béton). Les larves coralliennes semblent se fixer davantage sur des débris coralliens ou du béton que sur des surfaces en caoutchouc/plastique. Les avantages des premiers sont multiples : ils fournissent un substrat de composition similaire à celui qu'ils remplacent ; ils sont résistants et stables ; leur fabrication est économique et ils sont aisément maniables pour obtenir la forme désirée. Certains récifs artificiels sont créés par dépôt de $\text{CaCO}_3/\text{Mg}(\text{OH})_2$ (électrolyse). Les coraux sont placés sur des plaques en acier, ou autres matériaux conducteurs et un courant direct (1-24 V) est appliqué. Le substrat est ainsi créé à partir de matériaux naturels et permet une fixation rapide des transplants. Les effets à long terme de ce type de formation n'ont pas encore été étudiés.



Photo Michaël RAAD

Blocs artificiels utilisés lors de la restauration biologique du site de Saint-Leu (La Réunion)

• La fondation « **Reef Ball™** » a mis au point un type de récif artificiel spécifiquement adapté à l'écosystème corallien. La structure correspond à une demie-sphère d'un mètre de diamètre, creuse, dont la superficie est percée de trous circulaires plus ou moins larges. Environ 500 000 «Reef- Ball™» ont été mis en place, dans près de 3 200 projets de restauration récifale. Ils constituent des supports adaptés à la transplantation corallienne.

• En général, les coraux durs préfèrent s'installer sur des surfaces **rugueuses, verticales** et souvent **protégées** d'un hydrodynamisme fort. Il existe bien entendu des exceptions selon les espèces.

• Il a été observé que les poissons colonisent en priorité les récifs de **couleurs sombres** (rouge foncé, noir).

• Le récif artificiel doit avoir un pH proche de la **neutralité** (pH=7). Un constructeur de récifs artificiels (Reef Ball™) recommande d'ajouter de la microsilice au béton pour neutraliser le pH.

• La **prédation** étant considérée comme un des facteurs structurant les communautés récifales, il apparaît nécessaire que les récifs artificiels comportent des zones où vertébrés et invertébrés puissent trouver refuge : trous, fissures, espaces vides, interstices...

• La **stabilité** des récifs artificiels est une considération essentielle, en particulier dans les régions soumises aux dépressions tropicales. La stabilité d'une structure artificielle peut être déterminée par des calculs hydrauliques précis effectués par un spécialiste.

• Il est préférable de **fixer les structures artificielles au substrat** pour éviter tout déplacement ou leur dégradation lors d'épisodes cycloniques. Plusieurs techniques existent (crayonnage, collage avec béton).

- Certaines structures sous-marines sont particulièrement efficaces pour favoriser ou accélérer le repeuplement en poissons récifaux :

- **Dispositifs de Concentration des Poissons (DCP)** : flotteurs qui offrent aux petits poissons abri et nourriture, dans le but d'attirer les gros poissons carnivores (thons, maquereaux ...).

- **Récifs artificiels à base de pneus** : Comme les DCP, ces récifs servent d'abri et de substrat pour attirer les petits poissons, leur permettre de croître et se multiplier.

- **L'esthétique** est un facteur à prendre en compte lorsque le site à restaurer présente un attrait touristique (paysage exceptionnel, activités de plongée sous-marine, apnée...). Le récif artificiel doit simuler un aspect naturel. Ce qui nécessite de composer entre différentes sciences: l'ingénierie, la biologie, l'écologie et l'art.

- Dans le cadre de la création d'un jardin corallien, l'aménagement des récifs artificiels doit reposer sur une bonne connaissance des paysages coralliens naturels adjacents afin de bien **l'intégrer** au contexte local.



Photo Carex environnement

Exemple de jardin corallien à Bora Bora où l'esthétique a été un facteur déterminant dans le choix des techniques utilisées

4.3 - RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA TRANSPLANTATION CORALLIENNE

- Les coraux doivent être collectés dans un **habitat similaire** à celui où ils seront transplantés (hydrodynamisme, profondeur, turbidité).

- Le succès de la transplantation repose en grande partie sur le **choix de l'espèce** à transplanter. Seront préférentiellement sélectionnées celles qui étaient présentes **en abondance** dans l'écosystème avant sa détérioration. L'analyse de la structure de la communauté récifale avant la dégradation ou dans le proche environnement du site considéré est de ce fait cruciale. Certaines espèces sont plus adaptées que d'autres pour la transplantation. Les espèces ainsi choisies sont adéquates et ont en général un taux de survie et une capacité de colonisation du milieu élevés (taux de croissance rapide). Les formes **branchues tri-dimensionnelles** sont préférables aux colonies massives ou encroûtantes, plus à même d'être enfouies par les sédiments ou déplacées. Dans la zone Pacifique, les coraux **branchus** et **tabulaires** du genre *Acropora* sont recommandés pour leur croissance rapide à partir de fragments et leur capacité de survie. Les **alcyonnaires** (coraux mous) sont difficiles à déplacer sans être endommagés.

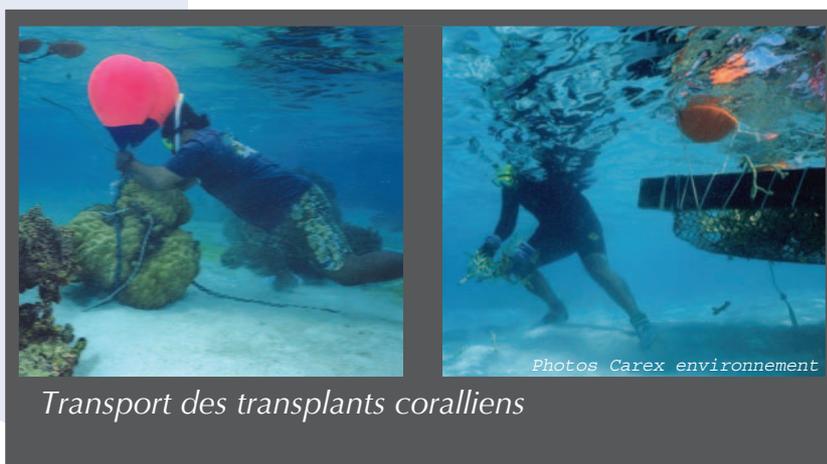
- La transplantation de colonies ou fragments de **taille modérée** (30-40 cm) est préférable à celles de colonies trop grandes ou de fragments de petite taille.

- Il est impératif de transporter les coraux du site donneur au site de transplantation **en immersion** continue pour minimiser le stress lié à la transplantation. De plus, les coraux ne doivent pas être en contact les uns avec les autres, ni avec le container.

- Transport par bateau : bacs d'eau de mer, à l'ombre, avec apport continu en eau.

- Transport sous-marin : à la main sur de faibles distances ; dans des containers tractés par bateau ; à l'aide de bouées gonflables ou de parachutes pour les grosses colonies ou pâtés coralliens.

- Le site de transplantation devrait préférentiellement être choisi dans une zone où **l'hydrodynamisme est faible** pour éviter la perte des transplants par l'action des courants, vagues, ressac... Les coraux étant très sensibles à l'étouffement par les sédiments ou le sable, il faut éviter de les placer dans des zones **sableuses** (sauf si l'hydrodynamisme est assez faible pour que les sédiments/sable ne soient pas remis en suspension) ou fortement chargées en matières en suspension (estuaires...). D'une façon générale, la transplantation de coraux scléactiniaires est viable dans des sites caractérisés par une **faible turbidité et sédimentation**. Il est également recommandé de choisir un site de transplantation **adjacent** à des récifs naturels en bon état afin de profiter de la dispersion naturelle des recrues coralliennes, des larves d'autres invertébrés et de poissons.



Transport des transplants coralliens

• Les coraux peuvent être transplantés:

- Sur de petits supports : supports en PVC, portoirs amovibles, carreaux de terre cuite, carreaux en béton, bâtonnets de bambou croisés, clous plantés dans le substrat...

- Dans des trous effectués à la perceuse pneumatique.

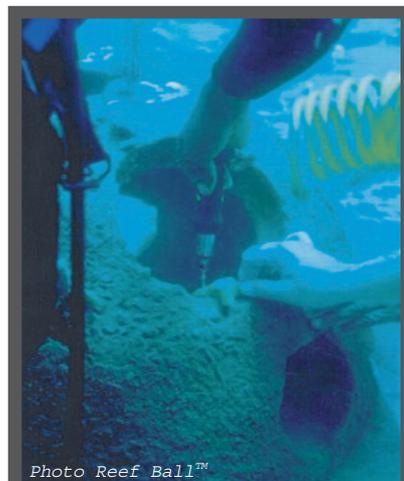
- Sur des surfaces plus importantes : réseau de cordages, géotextiles, cadres...



• Les méthodes de fixation des transplants au substrat sont multiples. Ils sont soit collés avec des résines époxy, du ciment sous-marin type Portland, du plastique moulant ou du ciment marin époxy ; soit attachés avec du fil métallique en acier inoxydable, fil électrique gainé de plastique, câble ou nylon. Le **ciment** et les résines **époxy** semblent plus efficaces pour attacher les transplants au substrat que les clous et câbles.

Elles favorisent la fixation basale des fragments sur le substrat, évitent que les fragments ne soient en contact les uns avec les autres (avec les mouvements de l'eau) ainsi que l'abrasion de la base des fragments.

Si **clous** et **câbles** sont utilisés, il est recommandé de se servir de matériaux en **acier inoxydable** afin de minimiser la corrosion et d'augmenter la longévité des ouvrages mis en place. Quelle que soit la méthode choisie, le système d'attache doit être rapide, esthétique, et permanent.



Fixation d'un transplant par vissage



• Le collage des transplants doit préférentiellement se faire par **temps calme** (clapotis inférieur à 0,15 m), la surface de collage être **préparée** (nettoyage et martelage de la zone de contact). Le choix et la disposition des transplants doivent être décidés par un scientifique ou expert en milieu récifal.

• Il est recommandé de **ne pas manipuler** les coraux durant les **mois les plus chauds** de l'année (taux de croissance réduit et risque de blanchissement mineur).

• Pour minimiser les effets de la collecte de coraux sur le site donneur, il est préférable d'effectuer les prélèvements sur une **zone large**.



Des opérations de restauration du milieu naturel sont réalisées en milieu terrestre depuis plusieurs dizaines d'années. L'expérience dans ce domaine est importante et les méthodologies pour la plupart très fiables.

En milieu récifal, bien que les premières opérations de restauration aient été réalisées il y a plusieurs décennies, le développement de cette activité est resté longtemps marginal et ce n'est que depuis quelques années, suite aux efforts de sensibilisation menés par les scientifiques auprès des décideurs que les opérations de restauration récifale ont commencé à se développer, principalement aux Etats-Unis (en Floride).

L'expérience est encore limitée, toutefois la majeure partie des opérations menées a mis en évidence la faisabilité de ce type d'intervention sur le milieu récifal. Au niveau biologique, les scientifiques savent aujourd'hui, en fonction des caractéristiques du site, optimiser les conditions de transplantation de coraux, et choisir les espèces offrant le minimum de risque de rejet. Globalement, les échecs en matière de restauration biologique sont réduits, et ce constat laisse présager un bel avenir pour ce moyen de restauration des zones dégradées.

Au niveau technique, la préparation des supports ou leur fabrication sont variées ainsi que les techniques de fixation des transplants. Le choix des moyens techniques à retenir sera fonction principalement des conditions de site et des objectifs de la restauration.

Dans les zones peu profondes nécessitant une optimisation de l'aspect paysager des fonds à restaurer, les moyens techniques sont au point, ils restent cependant relativement onéreux pour envisager d'être appliqués à de grandes étendues de récifs (plusieurs hectares par exemple).

Actuellement, on peut donc considérer que les moyens scientifiques et techniques sont disponibles et suffisamment fiables pour être mis en œuvre.

La restauration des écosystèmes récifaux nécessite toutefois une haute compétence scientifique et technique et demande la constitution d'une équipe de projet possédant

une bonne connaissance du milieu récifal et des travaux d'aménagement en milieu marin.

La réalisation d'une opération de restauration doit faire impérativement l'objet d'une étude de site détaillée (conditions biologiques, sédimentologiques, géomorphologiques et hydrodynamiques) et incluant les sites donneurs (ou les coraux seront prélevés pour être ensuite transplantés).

Les travaux doivent être réalisés par une équipe de spécialistes, et comprendre un suivi de l'évolution du site sur plusieurs années.

Moyennant le respect de la démarche décrite ci-dessus, la restauration récifale peut aujourd'hui être considérée comme applicable et les méthodes transférables. Elle n'appartient plus au domaine expérimental.

Enfin l'avenir de ce type de restauration nécessite de mener un travail de recherche appliquée afin d'optimiser la préparation et la fabrication des supports susceptibles de recevoir des transplants. De même, il apparaît utile d'améliorer les techniques de fixation des transplants (rapidité de pose), l'objectif étant de pouvoir diminuer le temps de réalisation d'une opération de restauration et en conséquence d'en réduire le coût. Enfin la technique de réensemencement d'un site récifal par des larves de coraux constitue une approche novatrice qu'il apparaît nécessaire de développer et dont les perspectives semblent prometteuses.

Cette optimisation de la mise en œuvre conduira alors à envisager à l'avenir des restaurations sur de grandes étendues (plusieurs hectares), avec une approche extensive, qui n'existe pas aujourd'hui.

Cette poursuite des travaux est absolument nécessaire à engager, en particulier pour favoriser les opérations de restauration récifale dans les pays en voie de développement où les moyens financiers sont limités et où malheureusement les zones à restaurer sont importantes sachant que l'objectif majeur dans ces régions concerne l'amélioration de la ressource vivrière.

BIBLIOGRAPHIE

- Bouchon, C., Aubert, J. & Bouchon-Navaro, Y. (1981). Evolution of a semi-artificial reef built by transplanting coral heads. *Thetys*, 10(2):173-176
- Bowden-Kerby, A (2001). Low-tech coral reef restoration methods modelled after natural fragmentation processes. *Bull. Mar. Sc.*, 69(2):915-931
- Chabanet, P. & Naim, O. (2000). Restauration d'un platier récifal corallien par le biais de transplantations de coraux scléactiniaires branchus, isolés et/ou associés à leur faune ichtyologique, et de la pose de structures artificielles. *Programme National de Recherche « Recréer la nature » - RMATE, MNH, Paris*, pp. 16-30
- Clark, S. & Edwards, A.J. (1994). Use of artificial reef structures to rehabilitate reef flats degraded by coral mining in the Maldives. *Bull. Mar. Sc.*, 55(2-3):724-744
- Clark, S. & Edwards, A.J. (1995). Coral transplantation as an aid to reef rehabilitation: evaluation of a case study in the Maldives Islands. *Coral Reefs*, 14:201-213
- Clark, S. (1999). Rehabilitation of degraded reefs using artificial reef blocks (R4533). University of Newcastle on Tyne.
- Fox, H.E. (2001). Pilot study suggests viable options for reef restoration in Komodo National Park. *Coral Reef*, 20:219-220
- Harriott, V.J. & Fisk, D.A. (1988). Coral transplantation as a reef management option. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp.*, 2:375-378
- Harris, L.E. & Woodring (2001). Artificial reefs for submerged and subaerial habitat protection, mitigation and restoration. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute Conference – November 2001*
- Hudson, J.H. & Diaz, R. (1988). Damage survey and restoration of M/V *Wellwood* grounding site, Molasses reef, Key Largo National Marine Sanctuary, Florida. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp.*, 2:231-236
- Hudson, J.H., Robbin, D.M., Tilmant, J.T. & Wheaton, J.L. (1989). Building a coral reef in southeast Florida: Combining technology and aesthetics. *Bull. Mar. Sc.*, 44:1067-1068
- Kaly, U.L. (1995). Experimental test of the effects of method attachment and handling on the rapid transplantation of corals. *CRC Reef Research – Technical Report*. James Cook University, Townsville, Australia.
- Laydo, R.S. (1996). Coral transplantation in reef management at Buccoo Reef, south-west Tobago. *Carib. Mar. Stud.*, 5:67-77
- Maragos, J.E. (1974). Coral transplantation : a method to create, preserve and manage coral reefs. SeaGrant Advisory Report UNIHI-SEAGRANT-AR-74-03 CORMAR-14
- Miller, M. W. & Barimo, J. (2001). Assessment of juvenile coral populations at two reef restoration sites in the Florida keys national marine sanctuary : indicators of success ?. *Bull. Mar. Sc.* 69(2) : 395-405
- Mueller, E.L. (1988). Managing interreefal environments and resources by artificial constructions. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp.*, 2:387-391
- Munoz-Chagin, R.F. (1997). Coral transplantation program in the Paraiso coral reef, Cozumel Island, Mexico. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.*, 2:2075-2078
- Porcher, M., Salvat, B., Morancy, R., Chancerelle, Y. & Schrimm, M. (2000). Creation of a coral garden to restore a damaged reef site (Bora-Bora, French Polynesia). *Proc. 9th Int. Coral Reef Symp.*, in press.
- Salvat, B., Chancerelle, Y., Schrimm, M., Morancy, R., Porcher, M., & Aubanel, A. (2002). Restauration d'une zone corallienne dégradée et implantation d'un jardin corallien à Bora Bora, Polynésie française. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, supplément 9 : 81-96
- Spieler, R.E., Gilliam, D.S. & Sherman, R.L. (2001). Artificial substrate and coral reef restoration: what do we need to know to know what we need. *Bull. Mar. Sci.*, 69(2):1013-1030.
- D'après «International Conference on Scientific Aspects of Coral Reef Assessment, Monitoring, and Restoration, Fort Lauderdale, Florida – April 14-16, 1999.**
- Amos, M. & Purcell, S.W.** Caging strategies for reef based grow-out of *Trochus nicoticus* (Gastropoda) in Vanuatu.
- Banks, B., Dodge, R.E., Fisher, L.E., Stout, D. & Jaap, W.C.** Grounding of the nuclear submarine, *USS Memphis*, on a southeast Florida coral reef: impact assessment and proposed restoration.
- Barneah, O. & Benayahu, Y.** Soft coral transplantation as a means for reef rehabilitation.
- Blair, S.M. & Flynn, B.S.** Habitat restoration on intermittently impacted hardground reef.
- Bruckner, R.J. & Bruckner, A.W.** Survivorship of restored *Acropora palmata* fragments secured using wire after a ship grounding in Puerto Rico.
- Dodge, R.E., Anderegg, D., Fergen, R. & Cooke, P.** Coral transplantation following repair of outfall.
- Eakin, C.M.** A test of post-bleaching recovery using coral fragments as seedlings.
- Fox, H.E., Pet, J., Dahuri, R. & Caldwell, R.L.** Coral reef restoration after blast fishing in Indonesia.
- Garrison, G.** Transplanting « at-risk » coral fragments in Virgin Islands National Park.
- Gilliam, D.S., Dodge, R.E., Thornton, S.L., Jaap, W. & Wheaton, J.L.** Scleractinian coral reattachment success and recruitment on a shallow water ship grounding site in southeast Florida.
- Gil-Navia, M.F., Sanchez, J.A. & Alvarado, E.** Transplantation of reef-building corals on the Rosario Archipelago, Colombian Caribbean.
- Goldberg, W.M. & Caballero, A.** Reef damage by large vessel impact and its mitigation by site cleanup.
- Heeger, T., Sotto, F., Gatus, J. & Langevoord, M.** Community-based coral farming: Economically viable reef rehabilitation and livelihood option for fisherfolk.
- Hudson, J.H. & Halley, R.B.** Oldest living star coral ? Growth history and restoration of a giant *Montastrea faveolata* in the Florida Keys National Marine Sanctuary.
- Hudson, J.H. & Spadoni, R.H.** Injury assessment and restoration of the R/V *Columbus Iselin* grounding site : Looe Key reef, Florida.
- Jaap, W.C., Morelock, J., Austin, T. & Bush, P.** Reef restoration and monitoring: Soto's reef, George Town, Cayman Island, B.W.I.
- McClanahan, T.R.** Sea urchin reduction as a restoration technique in a new marine park.
- Raymundo, L.J. & Maypa, A.P.** Using cultured coral to rehabilitate a degraded reef in the Central Philippines.
- Schmahl, G.P.** Analysis of the coral reef restoration for the grounding of the contship *Houston*, Florida Keys.
- Visram, S., Tamelander, J., Kilonzo, J. & Obura, D.** Prospects for coral recovery through transplantation and natural recruitment, Kenya.

ANNEXES - EXEMPLES DE RESTAURATIONS RECIFALES

Auteur et année	Lieu d'étude	Origine du projet	Méthode utilisée
Chabanet, P.& Naim, O. (2000)	La Réunion	Destruction des habitats récifaux par le cyclone Firinga (1989)	Restauration mixte : Restauration physique: Mise en place de structures artificielles Restauration biologique: Transplantation de coraux branchus, <i>Acropora formosa</i> , et introduction de larves de <i>Dascyllus aruanus</i> (poissons demoiselles) cultivées en bassin, sur les transplants coralliens
Porcher, M. & al. (2000) Salvat, B. et al (2002)	Bora-Bora	- Erosion du littoral - Tourisme	Restauration mixte : Restauration physique : <ul style="list-style-type: none"> • Ré-ensablement des fosses • Re-profilage du littoral • Mise en place de massifs artificiels Restauration biologique : Transplants coralliens sur les récifs artificiels (création d'un jardin corallien)
Barneah O. & Benayahu, Y. (1999)	Mer Rouge	Réhabilitation d'un récif à faible recouvrement naturel	Restauration biologique : Transplantation de coraux mous (attachement naturel)
Bouchon C. & al. (1981)	Mer Rouge (Jordanie)	Construction d'un récif semi-artificiel dans une région sableuse	Restauration biologique : Transplantation de massifs coralliens entiers
Hudson, J.H. & al. (1989)	Floride	Réhabilitation de récifs à faible recouvrement naturel ou endommagés par l'échouage de navires	Restauration mixte : Restauration physique : Mise en place de blocs artificiels Restauration biologique : Transplantation de fragments coralliens sur les blocs artificiels
Bruckner, R.J. & Bruckner, A.W. (1999)	Porto Rico	Echouage du navire Fortuna Reefer	Restauration biologique : Transplantation de fragments coralliens sur le substrat récifal ou aux squelettes coralliens en place (câble inox)
Schmahl, G.P. (1999)	Florida Keys	Echouage du navire Contship Houston	Restauration mixte : Restauration physique : Stabilisation du substrat et mise en place de blocs artificiels Restauration biologique : Transplantation de fragments coralliens au substrat récifal et blocs artificiels
Gilliam, D.S. & al. (1999)	Floride	Echouage du navire Hind	Restauration biologique : Ré-attachement des fragments coralliens cassés au substrat récifal
Jaap, W.C. & al. (1999)	Iles Grand Caïman (UK West Indies)	Echouage du navire Maasdam	Restauration mixte : Restauration physique : <ul style="list-style-type: none"> • Récupération des coraux encore viables • Nettoyage du site (bocailles...) • Re-profilage des fonds Restauration biologique : Transplantation des coraux viables sur le substrat restauré (ciment époxy)
Banks, B. & al. (1999)	Floride	Echouage du sous marin nucléaire Memphis	Restauration mixte : Restauration physique : <ul style="list-style-type: none"> • Nettoyage du site (bocailles, débris...) • Stabilisation des flancs récifaux • Mise en place de 6 différents types de modules de récif artificiel Restauration biologique : Transplantation de fragments coralliens sur substrat naturel nu et récifs artificiels
Goldberg, W.M. & Caballero, A. (1999)	Saint Martin Antilles Néerlandaises	Echouage du navire Horizon	Restauration physique : Nettoyage du site
Hudson, J.H. et Diaz, R. (1988)	Floride	Echouage du navire Wellwood	Restauration mixte : Restauration physique : Stabilisation du substrat et reconstitution de la topographie récifale Restauration biologique : Transplantation de fragments de coraux mous et durs sur le substrat restauré
Hudson, J.H. & Spadoni, R.H. (1999)	Florida Keys	Echouage du navire Columbus Iselin	Restauration mixte : Restauration physique : Reconstitution des éperons et mise en place de blocs artificiels Restauration biologique : Transplantation de coraux durs et mous sur les blocs artificiels

Auteur et année	Lieu d'étude	Origine du projet	Méthode utilisée
Hudson, J.H. e& Halley, R.B. (1999)	Florida Keys	Collision d'un navire avec une colonie massive Montastrea faveolata	Restauration mixte : Restauration physique : renforcement de la partie injurée de la colonie (tiges Inox et ciment) Restauration biologique : implantation de morceaux de tissu vivant sur la partie injurée de la colonie
Visram, S. & al. (1999)	Kenya	Blanchissement	Restauration biologique : Transplantation de fragments coralliens sur substrat naturel et portoirs amovibles (ciment époxy)
Gil-Navia, M.F. & al. (1999)	Caraïbes colombienne	Zone dégradée par des opérations de dragage, pêche à la dynamite et tourisme	Restauration biologique : Transplantation de colonies entières du site dégradé vers un site protégé
Clark, S. (1999)	Maldives	Exploitation de matériaux coralliens	Restauration physique : Mise en place de structures artificielles pour le recrutement naturel des coraux
Heeger, T. et al. (1999)	Philippines	Surexploitation des ressources récifales et pêche à l'explosif	Restauration biologique : Transplantation de fragments coralliens cultivés en ferme corallienne
Fox, H.E. et al (1999) Fox, H.E. (2001)	Indonésie	Dégâts liés à la pêche à l'explosif	Restauration physique : Mise en place de structures artificielles pour le recrutement naturel des coraux
McClanahan, T.R. (1999)	Kenya	Surexploitation des ressources récifales	Restauration biologique : Réduction de la population d'oursins
Mueller, E.L. (1988)	Papouasie Nouvelle Guinée	Surexploitation des ressources récifales et collecte intensive	Restauration physique : Mise en place de : • Dispositifs de concentration des poissons • Cages flottantes • Récifs artificiels à base de pneus • Pièges à poissons
Bowden-Kerby, A (1999)	Iles du Pacifique	Collecte de coraux pour bijoux, ornements, production de chaux	Restauration biologique : Collecte de fragments coralliens dans des zones «à risque» (exposées) et transplantation dans des zones dégradés ou non favorables au recrutement par reproduction sexuée
The Mauritius Marine Conservation Society (1998)	Ile Maurice	Perturbations naturelles et anthropiques variées	Restauration physique : Immersion de vieux navires désaffectés et de pneus comme récifs artificiels pour le recrutement naturel des coraux
Yap, H.T. et al. (1999)	Philippines	Perturbations naturelles et anthropiques variées	Restauration biologique : Transplantation de fragments coralliens et de bédiers
Raymundo, L.J. & Maypa, A.P. (1999)	Philippines centrales	Perturbations naturelles et anthropiques variées	Restauration biologique : Transplantation de larves coralliennes cultivées en aquarium
Dodge, R.E. et al. (1999)	Floride	Sauvegarde des coraux fixés à un émissaire endommagé par un cyclone	Restauration biologique : Collection des colonies fixées sur l'émissaire et transplantation des colonies sur des carreaux en béton
Blair, S.M. & Flynn, B.S. (1999)	Floride	Destruction des habitats par dragage (projet de restauration de plage)	Restauration physique : Mise en place de 4 différents types de modules de récif artificiel pour le recrutement naturel de la faune et flore récifale
Munoz-Chagin, R.F. (1997)	Mexique	Construction d'une jetée	Restauration mixte : Restauration physique : Mise en place de structures artificielles en ciment Restauration biologique : Déplacement du benthos (coraux, éponges...) de la zone de construction vers des habitats similaires et transplantation sur des structures artificielles (ciment époxy)
Harris, L.E. & Woodring, M.P. (2001)	Turks et Caicos Islands	Erosion côtière	Restauration mixte : Restauration physique : Mise en place de structures artificielles (« Reef Ball ») Restauration biologique : Transplantation de coraux sur structures (ciment époxy)

Experts en restauration récifale

M. PORCHER Michel : porcher@carexenvironnement.com
M. MORANCY Richard : r.morancy@carexenvironnement.com
Melle JOB Sandrine : s.job@carexenvironnement.com
M. SALVAT Bernard: bsalvat@univ-perp.fr
Melle SCHRIMM Muriel : schrimm@univ-perp.fr
Mme NAIM Odile : naim@univ-reunion.fr
M. HARRIS Lee : lharris@fit.edu
Mme FOX : hfox@socrates.berkeley.edu
M. BOWDEN-KERBY : bowdenkerby@is.com.fj

Sites à consulter :

Exemples de restaurations récifales :

National Coral Reef Institute : www.nova.edu/ocean/ncri
National Oceanic & Atmospheric Administration: www.noaa.gov

Création et fabrication de récifs artificiels :

Reef Ball Foundation : www.reefball.org
EcoReef: www.ecoreefs.com/index.shtml

Responsable technique

et scientifique : Michel PORCHER - Directeur de Carex Environnement

Auteurs : Sandrine JOB, Muriel SCHRIMM - Carex Environnement

Infographistes : S. GUIRONNET, P.GUEYRARD Carex Environnement

Remerciements : Bernard SALVAT E.P.H.E., Richard MORANCY - Carex Environnement

LA RESTAURATION RECIFALE

Guide pratique à l'usage des décideurs et aménageurs



Rés. Les Collines de Cuques
Bât B3 Avenue de l'Armée d'Afrique
13100 AIX EN PROVENCE
tel : 04 42 93 95 98
fax : 04 42 93 95 97

www.carex-environnement.com

Carex environnement est
une société du groupe Ginger

