



# Restauration Récifale

## Concepts & Recommandations

Faire des choix raisonnés de gestion dans un environnement incéris



Alasdair J. Edwards<sup>1</sup> and Edgardo D. Gomez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Division of Biology, Newcastle University, Newcastle upon Tyne NE1 7RU, United Kingdom

<sup>2</sup> Marine Science Institute, University of the Philippines, 1101 Quezon City, Philippines

Les vues exprimées sont celles des auteurs qui reconnaissent leur dette envers d'autres membres du groupe de travail sur la restauration corallienne « Restoration and Remediation Working Group » du programme de recherche « Coral Reef Targeted & Capacity Building for Management » pour les idées et informations échangées et les discussions animées sur les concepts et techniques de restauration récifale. Nous remercions Richard Dodge, Andrew Heyward, Tadashi Kimura, Chou Loke Ming, Makoto Omori et Buki Rinkevich pour avoir partagé leurs vues. Nous remercions Marea Hatzios, Andy Hoote, James Guest et Chris Muhando pour leurs précieux commentaires sur le texte et finalement nous remercions le programme CRISP « Coral Reef Initiative for the South Pacific », Eric Clua, Sandrine Job et Michel Porcher pour leur participation à l'écriture du chapitre « Tirer les leçons des projets de restauration ».

Données de publication : Edwards, A.J., Gomez, E.D. (2007). *Reef Restoration Concepts and Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty*. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Programme: St Lucia, Australia. iv + 38 pp.

Publié par : The Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program

Adresse : Project Executing Agency  
Centre for Marine Studies  
Level 7 Gerhmann Building  
The University of Queensland  
St Lucia QLD 4072 Australia

Téléphone : +61 7 3346 9942

Fax : +61 7 3346 9987

E-mail : [info@gefcoral.org](mailto:info@gefcoral.org)

Site web : [www.gefcoral.org](http://www.gefcoral.org)

*Le programme « Coral Reef Targeted & Capacity Building for Management » est une initiative internationale leader dans la recherche sur les récifs coralliens qui propose une approche coordonnée des connaissances factuelles, crédibles et prouvées scientifiquement pour l'amélioration de la gestion des récifs coralliens.*

*Le programme CRTR est un partenariat entre le « Global Environment Facility », la Banque Mondiale, l'Université du Queensland (Australie), l'Administration Océanique et Atmosphérique des Etats -Unis (NOAA) et environ 40 instituts de recherche et autres tiers de par le monde.*

ISBN: 978-1-921317-00-2

Code produit : CRTR 001/2007

Conception et composition par : The Drawing Room, Newcastle upon Tyne, United Kingdom.  
[www.thedrawingroom.net](http://www.thedrawingroom.net)

Imprimé par : AT&M-Sprinta, Launceston, Tasmania, Australia.

Janvier 2007

© Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program, 2007



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Eléments de référence</b>	<b>1</b>
1.1	Pourquoi les récifs coralliens sont-ils importants ?	1
1.2	Quelles sont les menaces pesant sur les récifs coralliens ?	1
1.3	Quels sont les objectifs de la restauration ?	3
1.3.1	Fixer des objectifs et des critères de réussite pour les projets de restauration	4
1.4	Pourquoi effectuer la restauration de récifs ?	6
1.5	Que peuvent achever avec réalisme les interventions de restauration ?	8
1.6	La restauration active est-elle le bon choix ?	9
<b>2</b>	<b>Restauration physique</b>	<b>10</b>
2.1	Réparation de récifs endommagés	10
2.2	Création de récifs artificiels	12
<b>3</b>	<b>Restauration biologique</b>	<b>13</b>
3.1	Pourquoi se concentrer sur les récifs ?	14
3.2	Approvisionnement en transplants de corail	14
3.3	Culture du corail	15
3.3.1	Propagation asexuée des coraux	15
3.3.2	Propagation sexuée des coraux pour l'ensemencement de récifs	16
3.4	Fixer les transplants de corail	18
3.5	Quelles espèces choisir ?	20
3.6	Tailles des transplants	21
3.7	Diversité et densité des transplants	21
3.8	Quand transplanter ?	23
3.9	Contrôles et entretien	24
<b>4</b>	<b>Quel est le coût de la restauration des récifs ?</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Tirer des leçons des projets de restauration</b>	<b>28</b>
	Etudes de cas	
1:	Restauration d'un récif endommagé par des opérations d'extraction de sable et la création d'un jardin corallien – Polynésie française	29
2:	Restauration d'un récif frangeant impacté par un cyclone – Ile de la Réunion	31
3:	Transplantation des coraux du port de Longoni – Mayotte	32
4:	Restauration d'un récif dégradé par des événements de blanchissement – Fidji	34
5:	Transplantation des coraux du port de Goro Nickel – Nouvelle Calédonie	36
<b>6</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>37</b>



## Deux avertissements importants :

« Bien que la restauration puisse améliorer les efforts de conservation, elle est toujours un pauvre pis-aller à la préservation des habitats d'origine.

L'utilisation de la restauration comme moyen de remplacement égal à la destruction ou dégradation d'un habitat et de sa population est au mieux, généralement non confirmé par des preuves formelles, et au pire une force irresponsable de dégradation. »

Young, T.P. (2000). Restoration Ecology and Conservation Biology  
Biological Conservation – 92: 73-83

# Comment utiliser ce guide



Ce guide contient des conseils simples sur la restauration des récifs coralliens destiné aux gestionnaires côtiers, conseillers techniques et toute autre personne qui pourrait être impliquée dans des efforts communautaires de restauration des récifs. Il est important de garder en mémoire qu'il reste encore beaucoup d'incertitudes dans la science soutenant la restauration, notamment à cause de la grande complexité des écosystèmes récifaux.

Un grand nombre de recherches scientifiques sont actuellement en cours de par le monde pour aborder ces manques dans nos connaissances et améliorer notre compréhension de ce que les interventions de restauration peuvent accomplir. Malgré ces incertitudes, des leçons peuvent être tirées des travaux précédents, à savoir qu'est ce qui fonctionne et ne fonctionne pas.

Les lignes directrices suivantes ont pour but de résumer ces leçons sous une forme succincte pour les utilisateurs afin qu'ils aient une idée plus claire de ce qui peut ou ne peut pas être accompli par la restauration des récifs et qu'ils puissent ainsi fixer des objectifs et attentes en conséquence.

Une grande partie de la littérature disponible détaille la pléthore de méthodes qui peuvent ou qui ont été appliquées dans les projets de restauration, mais ne considèrent pas leur utilisation dans un contexte de gestion, ni n'offre de conseils ou de savoir-faire techniques, de notion de réussite, de risques ou coûts probables. Il existe aussi une réticence à diffuser les informations sur les échecs de la restauration, les analyses des causes et à faire connaître les leçons tirées. Souvent les conseils sur ce qui ne fonctionne pas peuvent être aussi précieux que les conseils sur ce qui fonctionne et peuvent permettre aux autres d'éviter de répéter les erreurs du passé. Cela peut parfois constituer les seuls conseils qui peuvent être donnés. Malgré toutes les incertitudes, nous prenons le risque de tenter d'offrir une approche générale là où nous le pouvons pour que les responsables puissent au moins avoir une certaine idée de jusqu'où leurs actions vont les emmener.

Ces lignes directrices ne visent pas à donner des conseils pratiques détaillés sur comment procéder à la restauration de récifs. Pour cela nous préparons un Manuel de Restauration des Récifs qui couvrira ces aspects, complétera les divers manuels déjà disponibles (ex : Clark 2002 ; Harriot and Fisk 1995 ; Heeger and Sotto 2000 ; Miller *et al.* 1993 ; Omori and Fujiwara 2004 ; Porcher *et al.* 2003 – voir la bibliographie pour plus de détails) et synthétisera les résultats de plusieurs projets internationaux majeurs effectuant actuellement des recherches sur ce thème.

Pour des informations plus détaillées les utilisateurs peuvent se référer aux manuels ci-dessus et aux 363 pages de l'ouvrage intitulé Coral Reef Restoration Handbook édité par William F. Precht publié en 2006 par CRC Press (ISBN 0-8493-2073-9). Cet ouvrage est le premier voué à la science de la restauration des récifs coralliens et ses 20 chapitres rédigés par un grand nombre de leaders dans le domaine résument une grande partie de la littérature scientifique disponible aujourd'hui.

L'ouvrage est conçu pour guider les scientifiques et les gestionnaires de ressources dans les processus de prise de décision depuis l'évaluation initiale, la création conceptuelle du projet de restauration, la mise en place et le suivi du projet. Il est aussi une ressource essentielle pour ceux qui souhaitent explorer plus profondément les environnements scientifique, juridique et socioéconomique de la restauration des récifs. Environ un tiers des chapitres est fortement axé sur la perspective américaine mais des questions plus largement internationales sont aussi couvertes.

Pour une vue d'ensemble générale de la restauration écologique l'utilisateur est renvoyé vers *The SER International Primer on Ecological Restoration* (version 2; octobre 2004) qui est disponible sur le site web de la « Society for Ecological Restoration International » sur le site [www.ser.org/content/ecological\\_restoration\\_primer.asp](http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp), qui donne une vue d'ensemble utile et succincte des concepts de base de la restauration avec un fort focus pratique.

Ces lignes directrices sont faites pour s'y plonger, plutôt qu'une lecture de bout en bout. Les points 1, 2, 3.1 & 4 offrent des conseils importants aux gestionnaires côtiers et aux décideurs qui considèrent la restauration de récifs coralliens comme une option de gestion, alors que les points 3.2 à 3.9 et le point 5 sont davantage destinés aux conseillers techniques (c'est-à-dire les biologistes marins qui ont une bonne expérience du sujet mais qui ne sont peut être pas spécialisés dans l'écologie de la restauration récifale). Tout projet de restauration récifale nécessite au moins une telle personne pour piloter le projet !

Pour ceux qui n'ont besoin que d'une rapide vue d'ensemble, les points clé dans le texte sont résumés sous forme de « tableaux de messages » et de « check-lists de bonnes pratiques ».

# Messages clé



La restauration écologique est le processus d'assistance au rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit.



La restauration de récifs coralliens en est à ses débuts. Nous ne pouvons pas créer des récifs totalement fonctionnels.



Bien que la restauration puisse améliorer les efforts de conservation, la restauration est toujours un pis-aller à la préservation des habitats d'origine.



Les récifs coralliens qui sont relativement peu affectés par les impacts anthropogéniques peuvent souvent se rétablir naturellement des perturbations sans intervention humaine.



La restauration active a été réalisée avec un certain succès à des échelles de quelques hectares uniquement.



La restauration comprend des mesures de gestion directe ou indirecte pour éliminer les obstacles à un rétablissement naturel et aussi des interventions directes ou indirectes telle que la transplantation.



La restauration active n'est pas un remède miracle. La clé consiste en une gestion intégrée des zones récifales.



Les objectifs de la restauration des récifs seront vraisemblablement dictés par des contraintes économiques, juridiques, sociales et politiques, mais également par les réalités écologiques. Ignorer ce dernier point signifie un grand risque d'échec.



Les objectifs des projets de restauration doivent être formulés dès le début des projets et aussi précisément que possible ; les différentes façons de les atteindre doivent être considérées dans un contexte élargi de planification de gestion côtière.



Des objectifs ou indicateurs mesurables doivent être fixés permettant à la fois de suivre la progression du projet vers les buts fixés et une gestion adaptative du projet de restauration.



Le contrôle de l'avancement vers les objectifs doit être entrepris à des intervalles réguliers pendant plusieurs années.



Les réussites, les échecs et les leçons tirées doivent être disséminés pour que d'autres puissent bénéficier de vos expériences. Peu de choses sont connues, chaque chose peut aider.



La restauration physique majeure de récifs est l'affaire des experts. Obtenez les conseils des spécialistes en ingénierie civile.



La restauration physique d'un récif est parfois nécessaire avant d'entreprendre une restauration biologique.



Il existe au moins 300 000 km<sup>2</sup> de récifs coralliens dans le monde. Le manque de substrat dur n'est pas un problème critique. La question critique est davantage la gestion des facteurs de dégradation des récifs.



L'utilisation de récifs artificiels pour la restauration doit être examinée soigneusement, avec un œil particulièrement critique sur leur nécessité, leur rentabilité et l'esthétique.



Il faut considérer la restauration non pas comme un épisode unique mais comme un processus continu sur une échelle temps de plusieurs années et qui nécessitera probablement une adaptation au fil du temps.



La restauration physique majeure de récifs coûte excessivement cher, de centaines de milliers de dollars à des millions de dollars US/ha.



La transplantation peut être peu coûteuse, aux alentours de 2 000 à 13 000 \$ US/ha ; avec des objectifs plus ambitieux ce coût atteint environ 40 000 \$ US/ha.



Par comparaison, une estimation d'ordre de grandeur global pour une moyenne annuelle totale de la valeur des biens et services issus des récifs coralliens est de 6 075 \$ US/ha.

L'objectif de ce chapitre est de placer la restauration récifale dans un contexte de gestion. Nous présumons une certaine familiarité avec ce que sont les récifs coralliens. Il est primordial de garder en mémoire que la restauration des récifs doit être traitée comme une option dans le cadre de la gestion intégrée des zones côtières intégrée. Trop souvent, des adeptes enthousiastes de la restauration active omettent de considérer un contexte plus large et les facteurs en dehors de leur contrôle qui peuvent mettre leurs efforts en danger.

## 1.1 Pourquoi les récifs coralliens sont-ils importants ?

En plus de prévenir l'érosion côtière, les récifs coralliens fournissent une source de nourriture et de moyens d'existence à des millions de personnes vivant sur le littoral dans plus de 100 pays, par la récolte des ressources marines qu'ils génèrent et par les touristes attirés par leur beauté, la biodiversité et les plages de sable blanc qu'ils maintiennent et protègent. On pense qu'au moins un milliard de personnes de par le monde sont partiellement ou totalement dépendants des ressources des récifs coralliens pour leur moyen d'existence. Ces moyens comprennent la pêche, le glanage, la mariculture, le commerce lié aux aquariums marins et une grande diversité d'emplois et d'opportunités commerciales associés au tourisme. Ils sont aussi une source prometteuse de nouveaux médicaments pour le traitement de maladies telles que le cancer ou le SIDA. En terme de biodiversité, environ 100 000 espèces décrites, représentant 94% de l'embranchement de la planète, ont été enregistrées sur les récifs coralliens et certains scientifiques pensent qu'il pourrait y en avoir cinq fois plus, voire même davantage qui restent encore non décrites.

Sur une échelle globale, la valeur totale des biens et services économiques fournis par les récifs coralliens a été estimée à environ 375 milliards de \$ US par an, la plupart provenant des loisirs, de leur rôle de protection des côtes et de la production alimentaire. Cela correspond à une valeur moyenne d'environ 6 075 \$ US/ha de récif corallien par année. Aux Philippines, qui possèdent environ 27 000 km<sup>2</sup> de récif corallien (dont seulement 5% sont en excellente condition), on pense que les récifs contribuent pour au moins 1,35 milliard de \$ US par an à l'économie nationale, provenant des valeurs conjuguées de la pêche, du tourisme et de la protection côtière.

La dégradation des récifs signifie la perte de ces biens et services économiques, la perte de la sécurité alimentaire et de l'emploi des populations côtières, dont nombre d'entre elles sont situées dans des pays en développement, beaucoup vivant dans la pauvreté.

## 1.2 Quelles sont les menaces pesant sur les récifs coralliens ?

Le rapport « Status of Coral Reef of the World : 2004 » (rapport sur le statut des récifs coralliens du monde : 2004) évalue à 20% les récifs coralliens du monde qui ont été effectivement détruits sans perspective de rétablissement immédiat, à 24% les récifs du monde qui sont à risque imminent d'effondrement dû à la pression humaine et à 26% ceux qui sont sous la menace à plus long terme d'effondrement. Jusqu'à il y a 20 ans il semblait que les plus grandes menaces pesant sur les récifs étaient des perturbations chroniques

humaines telles que l'augmentation de la sédimentation résultant des changements dans l'utilisation des terres et de la mauvaise gestion du partage des eaux, l'évacuation des eaux usées, le chargement en substances et l'eutrophisation par les changements de pratiques agricoles, l'exploitation du corail et la surpêche (Figure 1). Toutefois récemment les changements climatiques, avec d'une part des événements de blanchissement massifs provoquant la mort du corail et par ailleurs l'acidification des océans, sont apparus comme la plus grande menace probable à la survie des récifs coralliens. Indubitablement la capacité des récifs à se rétablir des événements anormaux du réchauffement climatique, des cyclones et autres perturbations graves est profondément affectée par le niveau de perturbation anthropogénique chronique. Quand les récifs sont sains et peu affectés ils peuvent souvent se rétablir rapidement (parfois aussi rapidement que 5 à 10 ans). Ces récifs peuvent être décrits comme « résilients » dans la mesure où ils peuvent se régénérer jusqu'à un niveau proche de leur état avant perturbation. Alors que les récifs qui sont déjà affectés par les activités humaines montrent souvent une faible capacité de rétablissement (c.à.d. ils manquent de résilience).

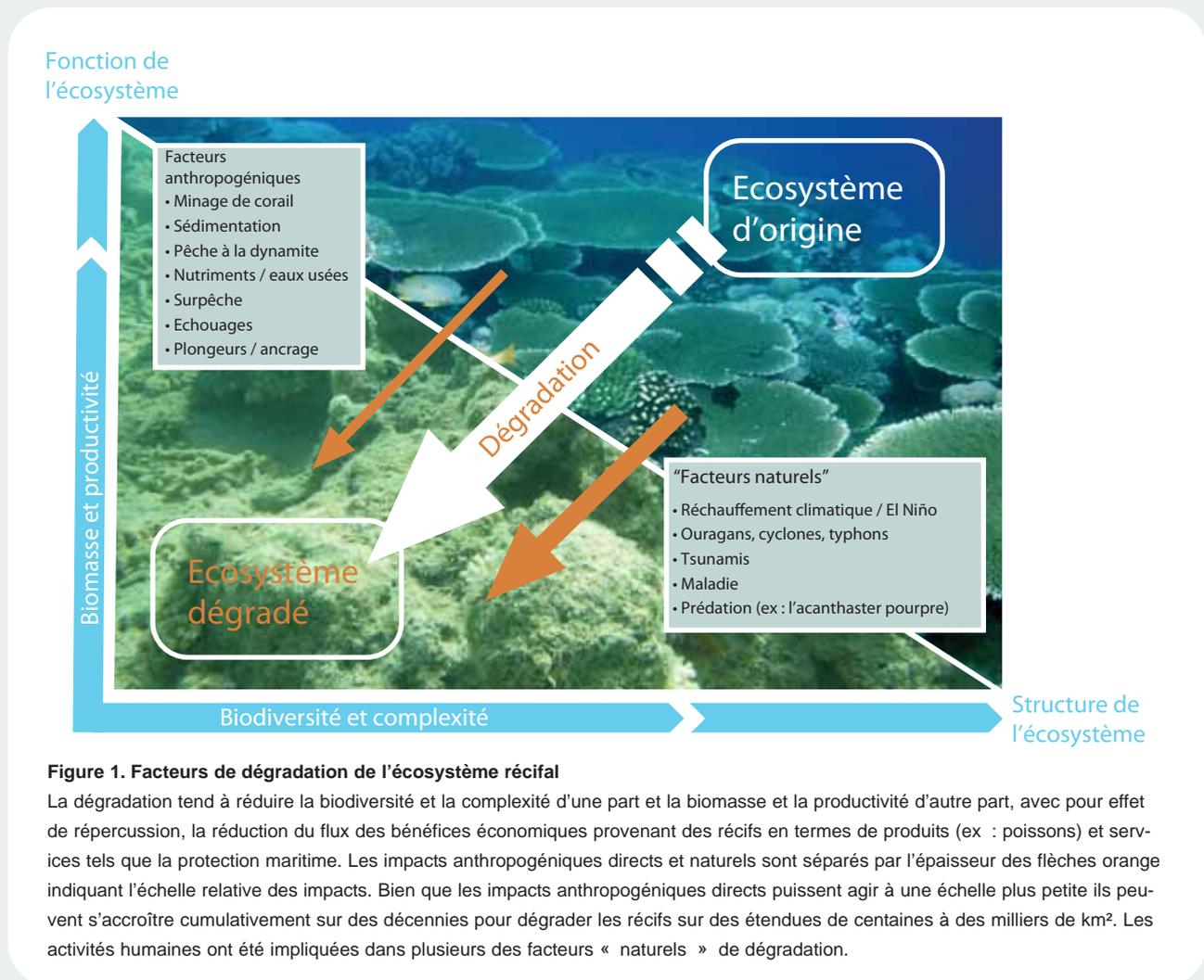
Les perturbations naturelles ont impacté les récifs coralliens pendant des millénaires avant qu'il n'y ait des impacts induits par les hommes et les récifs se rétablissaient naturellement de ces impacts. Même maintenant, les récifs sains peuvent se rétablir et se rétablissent des perturbations majeures. Il est estimé qu'environ 40% des 16% des récifs coralliens du monde qui ont été sérieusement endommagés par des eaux inhabituellement chaudes au cours du phénomène El Nino de 1998 sont en voie de rétablissement ou se sont rétablis.

Dans le contexte de la restauration il est important de faire la distinction entre des perturbations chroniques et aiguës. Il est peu probable que les interventions de restauration réussissent sur des récifs qui ont été chroniquement affectés. Des mesures de gestion doivent être entreprises en premier lieu pour améliorer ou éliminer les facteurs d'agression anthropogéniques chroniques (ex : écoulement des sédiments, eaux usées, surpêche). Toutefois, les responsables peuvent faire peu de choses face aux éléments naturels qui induisent une dégradation à grande échelle telle que le changement de climat, le blanchissement en masse qui en résulte, les tempêtes, les tsunamis et les éruptions de maladies. Cependant ces facteurs stochastiques ne doivent pas être ignorés pendant la restauration et doivent être pris en compte au cours de la conception des projets de restauration et des efforts doivent être faits pour minimiser les risques posés par de tels événements.

Les arguments économiques pour une meilleure gestion sont importants. Par exemple, en Indonésie il est estimé que le bénéfice net aux personnes, dérivé de la pêche à la dynamite, est de 15 000 \$ US par km<sup>2</sup> de récif, alors que pour la société, les pertes nettes quantifiables issues de cette activité sont de 98 000 à 761 000 \$ US par km<sup>2</sup>. Des exemples tels que celui-ci et d'autres menaces en Indonésie sont montrés dans le tableau 1. En utilisant les chiffres de la fourchette moyenne on voit qu'en moyenne les pertes nettes pour la société sont pratiquement 10 fois supérieures aux bénéfices nets pour les personnes.

**Tableau 1.** Total des bénéfices nets et des pertes quantifiables dues aux menaces sur les récifs coralliens en Indonésie (valeur actuelle ; taux de réduction de 10%; durée 25 ans). Adapté de Cesar (2000).

Menace	Total des bénéfices nets pour les personnes	Total des pertes nettes pour la société
Pêche par empoisonnement	33 000 \$ par km <sup>2</sup>	43 000 à 476 000 \$ par km <sup>2</sup>
Pêche à la dynamite	15 000 \$ par km <sup>2</sup>	98 000 à 761 000 \$ par km <sup>2</sup>
Minage de corail	121 000 \$ par km <sup>2</sup>	176 000 à 903 000 \$ par km <sup>2</sup>
Sédimentation due à l'exploitation forestière	98 000 \$ par km <sup>2</sup>	273 000 \$ par km <sup>2</sup>
Surpêche	39 000 \$ par km <sup>2</sup>	109 000 \$ par km <sup>2</sup>



L'échelle à laquelle les divers facteurs de dégradation des récifs coralliens agissent est importante pour déterminer ce que la restauration peut accomplir (voir point 1.5). Les perturbations à grande échelle telles que la mortalité en masse des coraux induite par le phénomène El Nino, les cyclones (ouragans, typhons) et par l'acanthaster pourpre peuvent causer des dommages à des échelles dont l'ordre de grandeur est plusieurs fois supérieur à celles pour lesquelles la restauration peut être tentée. Toutefois, les zones qui sont typiquement endommagées à cause des échouages de navires, de l'écoulement occasionnel d'eaux usées, de la pratique de la pêche à la dynamite, de la fréquentation de plongeurs sous-marins ou des ancres de navires, sont de tailles similaires à celles pour lesquelles des opérations de restauration ont déjà été tentées

avec un certain succès.

Pour résumer, si les récifs sont affectés par des activités anthropogéniques (ex : surpêche, sédiments et écoulement de nutriments), il est moins probable qu'ils se rétablissent après des perturbations à grande échelle. Il est fort peu probable que la restauration active puisse aider à leur rétablissement à cause de l'énorme disparité d'échelle, mais une bonne gestion côtière (appelée par certains « restauration passive ») pourrait leur donner de bonnes chances de régénération. Si l'homme agit sur ces facteurs de dégradation, pour peu qu'ils soient potentiellement gérables, alors la restauration à petite échelle peut aider à la gestion des ressources.

### 1.3 Quels sont les buts de la restauration ?

Avant toute chose, il faut se demander ce qu'on entend par restauration écologique. La Société Internationale pour la Restauration Ecologique (*Society for Ecological Restoration International*) propose la définition suivante :

«La restauration écologique est le processus d'aide au rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit.»

Le mot indiqué en italique accentue le fait que les interventions de restauration sont conçues pour aider les processus de rétablissement naturel. Si ces processus sont sévèrement affaiblis, d'autres mesures de gestion pourraient probablement être nécessaires avant que les interventions de restauration puissent avoir une chance de réussite. « L'aide » au rétablissement naturel peut être réalisée soit sous forme de mesures passives ou indirectes, soit sous forme d'interventions actives ou directes. La première forme implique généralement l'amélioration des activités anthropogéniques qui gênent les processus de rétablissement naturel ; la deuxième forme implique généralement la restauration physique active et / ou les interventions de restauration biologique (ex : transplantation de corail et d'autres organismes sur des zones dégradées).

La restauration de récifs coralliens en est encore à ses débuts et il n'est pas raisonnable d'exagérer ce que la restauration peut accomplir. Si l'on fait croire aux décideurs que des récifs

fonctionnels peuvent être créés par des interventions de restauration (ex : transplantation d'organismes récifaux à partir d'un site sacrifié pour le développement, sur une zone en dehors de la zone d'impact), ils agiront en conséquence. Il faut souligner avec insistance auprès des décideurs que nous sommes loin de pouvoir recréer des écosystèmes récifaux totalement fonctionnels (et nous ne le pourrons probablement jamais) les décisions qui s'appuient sur l'atténuation compensatoire ne font en réalité que souligner la perte nette du récif.

Il est également utile de définir ce que nous voulons dire par restauration, réhabilitation et la remédiation/réparation.

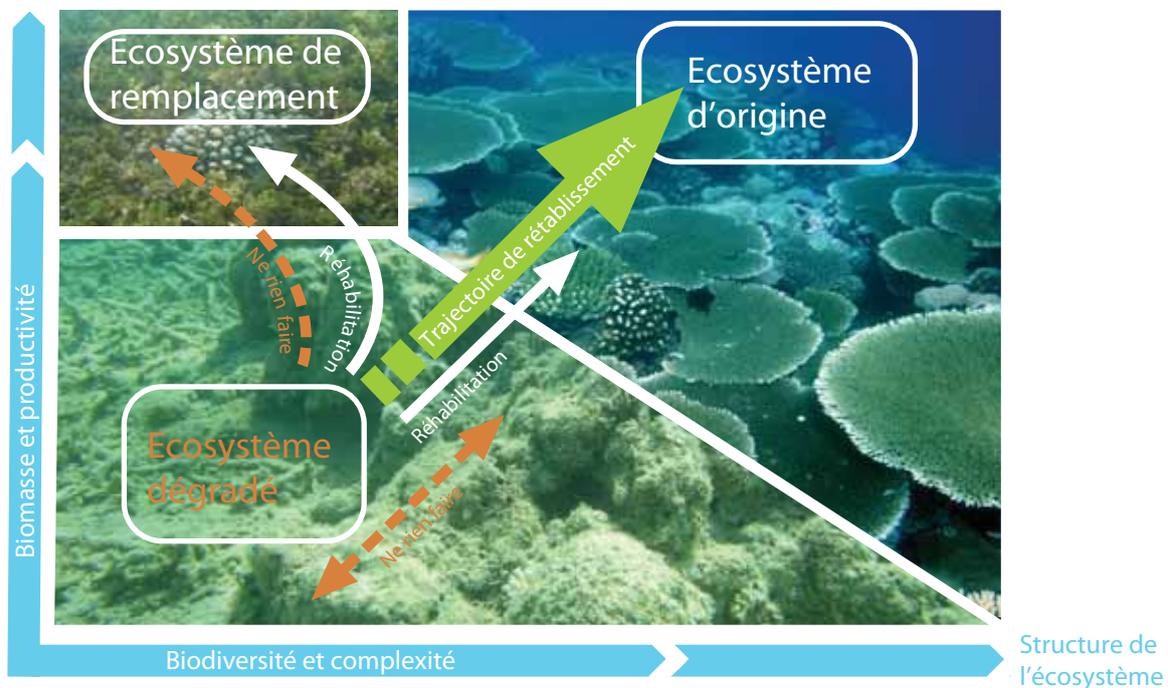
**Restauration** : action qui consiste à ramener un écosystème dégradé, au plus près possible de ses conditions d'origine.

**Réhabilitation** : action de remplacer partiellement ou plus rarement totalement des caractéristiques fonctionnelles ou structurelles d'un écosystème qui ont été diminuées ou perdues, ou la substitution de qualités caractéristiques, alternatives à celles présentes à l'origine, à la condition qu'elles aient davantage de valeurs sociales, économiques ou écologiques que celles qui existaient à l'état perturbé ou dégradé.

**Remédiation/réparation** : action ou processus de remédier ou réparer les dommages subis par un écosystème.

En ce qui concerne les récifs nous réalisons habituellement des actions de restauration, mais pouvons être satisfaits si nous pouvons simplement atteindre une certaine forme de réhabilitation.

#### Fonction de l'écosystème



**Figure 2 : voies possibles de rétablissement** ou changement d'état d'un écosystème dégradé avec ou sans interventions actives de restauration. Voir texte ci-dessous pour une explication. (Graphique basé sur Figure 5.2 dans Bradshaw A.D. – 1987. *The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems*. Dans : Jordan III W.R. – Gilpin – M.E. et Aber J.D. (eds). *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge University Press)

Le but premier de la restauration est d'améliorer les récifs dégradés en termes de structure et de fonction. Les attributs qui doivent être considérés peuvent être la biodiversité et la complexité d'une part et la biomasse et la productivité d'autre part (Figure 2). Dans un système récifal sain qui n'a pas été physiquement endommagé, on peut prévoir qu'une zone impactée se rétablisse naturellement à son état avant perturbation avec une trajectoire de succession (flèche verte épaisse). Dans ce cas, laisser faire la nature et patienter pourrait suffire à accomplir la restauration. Toutefois, si la dégradation est importante ou géographiquement étendue ou si le système récifal est soumis à des stress chroniques supplémentaires induits par l'homme (ex : surpêche, chargement en nutriments, sédimentation) alors rien faire pourrait engendrer davantage d'effets néfastes ou un changement pour un état alternatif stable (ex : un récif dominé par des macroalgues), pouvant être indésirable pour les utilisateurs locaux des ressources. Dans ces cas là, la restauration active et, si nécessaire, conjuguée à des actions de gestion pour réduire le stress anthropogénique, est probablement utile pour que le récif ait une chance de rétablissement à un état souhaitable. Même avec des mesures de restauration active, le rétablissement peut progresser vers un état différent de celui de l'écosystème d'origine. Cela peut être un état généralement similaire (ex : dominé par le corail mais avec des espèces dominantes différentes) auquel cas la « réhabilitation » (amélioration de la structure et de la fonction de l'écosystème) a été achevée, mais pas la restauration complète. Alternativement la restauration active pourrait décevoir et mener à un état d'écosystème plutôt différent (système de « remplacement »), dont la désirabilité perçue dépendra des objectifs de l'intervention de restauration. Décider si des mesures actives sont nécessaires et ce qu'elles doivent être, est peut être la question la plus difficile à résoudre. Nous essaierons de donner des conseils sur la façon d'aborder cette question dans les chapitres suivants.

Dans ce qui précède, nous nous sommes concentrés sur les objectifs biologiques de la restauration des récifs et les possibles résultats. Toutefois, dans le monde réel, les objectifs de restauration seront probablement dictés par des contraintes économiques, sociales, juridiques et politiques. Ces contraintes pourraient déterminer les objectifs écologiques d'un projet et au pire être en conflit avec les conseils relatifs aux meilleures pratiques écologiques. Les projets qui ignorent les réalités écologiques encourent probablement un grand risque d'échec, d'obtenir une faible rentabilité et pourrait causer plus de tort que de bien.

Tous les projets de restauration ne correspondent pas au schéma décrit ci-dessus. Dans le secteur du tourisme, il y a souvent un désir de promouvoir l'accès facile à des parcelles de corail pour que chacun, dans le complexe hôtelier, puisse voir par lui-même les coraux et les poissons de récifs aux couleurs chatoyantes dans un environnement peu profond, abrité et sécuritaire. Pour ce faire, des parcelles de récifs pourraient être (re)créées dans un lagon sablonneux sur des substrats naturels ou artificiels. Habituellement, la transplantation de corail et d'autres techniques de « restauration » sont impliquées. Des projets de ce type peuvent intéresser des zones de parcs marins et peuvent clairement avoir un rôle éducatif et de sensibilisation du public. Ces projets ne sont pas des restaurations de récif au sens strict, mais plutôt une substitution d'habitat ou création d'habitat, néanmoins elles sont souvent considérées comme des activités de restauration et sont soumises aux mêmes contraintes écologiques. Ici les objectifs sont simples : créer certains habitats de récif coralliens qui soient facilement accessibles et esthétiquement agréables aux touristes ou visiteurs

des parcs qui ne sont pas des plongeurs accomplis.

Un deuxième type de projet de restauration ne correspondant pas réellement au schéma décrit est l'exemple d'une zone de récif détruite par un projet de développement (ex. remblaiement d'un terrain, développement d'une centrale électrique, d'un port) où les coraux vivants et autres organismes récifaux mourront si laissés in situ, sont transplantés sur une zone de récif hors de la zone impactée. La décision de gestion a déjà été prise étant entendu qu'il y aura une perte nette d'habitat. L'objectif principal de la mesure compensatoire est le sauvetage du plus grand nombre possible d'organismes sessiles du site impacté. Il est probable que la zone réceptrice soit bénéficiaire si le projet est bien planifié et exécuté. Là aussi la transplantation et d'autres techniques de restauration récifale sont impliquées et ces projets peuvent être utilement considérés dans un contexte de restauration, même si l'élément conducteur principal est l'atténuation et non pas le besoin perçu pour la restauration.

### 1.3.1 Etablir des objectifs et des critères de réussite pour les projets de restauration

Avant que tout projet de restauration ne soit entrepris, les objectifs des travaux de restauration doivent être soigneusement considérés et décrits aussi précisément que possible. Étonnamment, cela est rarement fait, avec pour résultat que les objectifs sont souvent pauvrement définis, ou non examinés et peuvent être écologiquement irréalistes, à un tel point que le projet est voué à l'échec dès le début. Sans objectif, il est aussi impossible d'évaluer le succès et difficile d'en tirer les leçons. Une fois que les objectifs sont convenus et clairs pour toutes les parties prenantes, alors un ensemble d'indicateurs (ou cibles) objectivement vérifiables et mesurables doit être établi pour permettre l'évaluation du succès (ou de l'échec) du projet de restauration. Les indicateurs doivent correspondre aux objectifs afin que, si les buts sont atteints, les objectifs auront alors été atteints. Les buts doivent être réalistes et suffisamment faciles à évaluer, par ailleurs le délai au cours duquel ils doivent être atteints doit être défini. Un délai explicite avec des étapes permet à la progression de la restauration d'être contrôlée dans le temps et à des actions correctives (gestion adaptative) d'être entreprises si appropriées, par exemple quand les indicateurs montrent que les objectifs ne sont pas réalisés dans les limites du délai prévu. Les indicateurs peuvent être des critères limites tels que des pourcentages de couverture de corail vivant ou des évidences de restauration de processus clé d'écosystèmes tel que le recrutement du corail ou le broutage par les poissons.

Il n'est pas facile de décider des critères qui démontrent le succès de la restauration, ni de choisir les indicateurs et leurs valeurs cibles. La durée prévue du rétablissement peut être incertaine et l'état de l'« écosystème de référence » visé peut ne pas être évident sauf si la zone dégradée est petite et un récif comparable qui est en bonne condition existe à proximité et peut servir de guide. Il pourrait être nécessaire de rechercher des données historiques ou données sur des sites relativement éloignés, dont l'aspect, la profondeur, l'exposition, etc. sont similaires, pour fournir des indices quant à l'état que vous essayez d'atteindre en restaurant un récif. Il est probable que face aux changements climatiques l'état de « l'écosystème de référence » soit en changement permanent, une approche pragmatique est donc nécessaire. Etant donné cette incertitude, il est sage de fixer des buts et des indicateurs qui montrent si le rétablissement est sur la bonne trajectoire en termes de direction de changement, sans être forcément très explicites sur la quantité de

changements attendus.

Mesurer le succès peut être plus facile pour la restauration active si vous fixez un nombre de zones de « contrôle » sur le site dégradé où aucune intervention active n'est effectuée (Figure 3). Vous pouvez alors comparer ce qui se passe dans le temps dans les zones où vous avez activement aidé au processus de rétablissement naturel et ce qui se passe dans les zones adjacentes où vous avez simplement laissé le rétablissement (s'il existe) naturel se faire. Les coûts correspondent à ce que vous avez payé ; les bénéfices sont toutes les améliorations d'indicateurs (ex : % couverture de corail vivant, nombre de poissons brouteurs, taux de recrutement de corail) dans les zones restaurées, au-dessus de ceux mesurés dans les zones de contrôle. Etant donné la quantité croissante de récifs dégradés, les coûts élevés de la restauration active et les potentiels bénéfiques en termes d'apprentissage à partir de leçons des projets

qui comprennent un élément de conception expérimentale, cette approche est fortement recommandée partout où elle est possible. La durée pendant laquelle les changements sont évalués doit être de plusieurs années au moins, pour correspondre à la durée attendue d'un rétablissement naturel. Les études montrent que le rétablissement naturel prend au moins 5 à 10 ans. La restauration à long terme (5 à 10 ans ou plus) devrait être encouragée, et non l'amélioration des indicateurs de suivi à court terme, souvent éphémères.

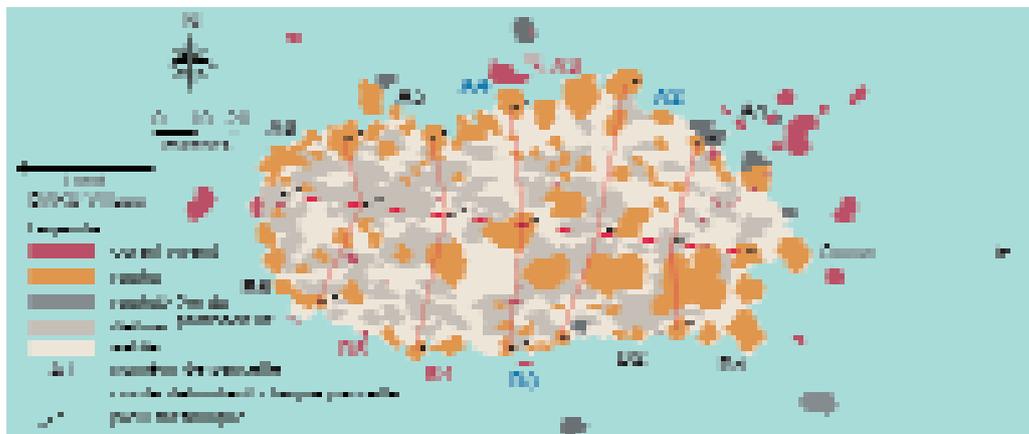


Figure 3 : Carte d'un site de restauration à Fidji montrant comment la zone de récif dégradé a été divisée en 12 parcelles, dont trois ont été sélectionnées pour la restauration (A3, B4 & B5) et trois ont été sélectionnées pour servir de zones contrôle (A2, A4 & B3). (De Job, S., Bowden-Kerby, A., Fisk, D., Khan, Z, Nainoca, F. (2006). Rapport d'avancement sur le travail de restauration et de suivi d'une portion de récif dégradée par le blanchissement. Moturiki Island – Fidji. Rapport Technique. Coral Reef Initiative for the South Pacific)

## Messages

- La restauration écologique est le processus d'aide au rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit.
- La restauration comprend des mesures de gestion passives ou indirectes pour éliminer les entraves au rétablissement naturel et aussi des interventions actives ou directes telles que la transplantation.
- Il est probable que les buts de la restauration des récifs soient dictés par des contraintes économiques, juridiques, sociales et politiques mais aussi des réalités écologiques. Ignorer ce dernier élément signifie un grand risque d'échec.
- Les buts des projets de restauration doivent être formulés dès le début et aussi précisément que possible et les éventuelles manières de les atteindre doivent être considérées dans le cadre d'une gestion côtière intégrée et d'un contexte de planification.
- Des cibles ou indicateurs mesurables doivent être fixés, qui permettent à la fois de mesurer dans le temps la progression vers les buts et la gestion adaptative du projet de restauration.
- Le contrôle de la progression vers les cibles doit être entrepris à des intervalles réguliers sur plusieurs années.
- Les succès, les échecs et les leçons tirées doivent être disséminés pour que les autres puissent bénéficier de vos expériences. Peu de choses sont connues ; chaque chose peut aider.

#### 1.4. Pourquoi effectuer la restauration de récifs ?

Les systèmes coralliens ont évolué pour faire face aux perturbations naturelles et bien entendu ces perturbations sont importantes dans la structuration des communautés récifales d'aujourd'hui. Dans l'ensemble, s'ils sont sains et non stressés par les activités humaines, ils ont tendance à bien se rétablir suite à des perturbations aiguës, mais le rétablissement complet des zones peut prendre des décennies ; une courte durée à l'échelle écologique ou évolutive, mais une longue durée à notre échelle.

Les impacts anthropogéniques sont souvent chroniques (long terme) et même quand ils sont aigus, comme par exemple l'échouage d'un navire, ils peuvent causer des dommages physiques qui compromettent les processus de rétablissement naturel. Pour avoir une chance de rétablissement là où existent des impacts humains chroniques, des mesures de restauration passives ou indirectes, telles que le traitement des eaux usées, la gestion des bassins versants, la mise en vigueur de mesures relatives à la pêche, etc. peuvent être nécessaires pour permettre aux processus de rétablissement naturel d'opérer, suivis par des interventions de restauration actives ou directes telles que la transplantation ou la stabilisation du substrat. Quand le rétablissement est entravé à cause de dommages physiques, alors la restauration physique active peut être un préalable au rétablissement. Ainsi, c'est essentiellement là où les humains impactent le récif que la restauration (passive ou active) est nécessaire. La raison socio-économique principale pour restaurer est de rétablir le flux de biens et services fournis par les récifs sains (voir point 1.1).

De nouveau, les décisions relatives à la restauration des récifs sont souvent dictées par l'environnement économique, juridique, social et politique local. Ainsi on s'aperçoit que nombre de restaurations ont été associées à la réparation de récifs endommagés par l'échouage de navires. Dans ces cas là, les assurances qui couvrent les responsabilités/obligations des compagnies maritimes (appelé « partie responsable » dans le jargon juridique) fournissent une source de financement. Dans les pays tels que les Etats-Unis, il existe un cadre juridique pour soutenir la restauration compensatoire, pour remplacer les ressources et services issus des récifs qui ont été perdus. L'échelle des dommages (de l'ordre de 100 à 1000 m<sup>2</sup> par incident d'échouage) correspond bien à l'échelle de ce qui peut être tenté par les techniques actuelles de restauration.

En conséquence, les projets de restauration liés aux échouages de navires comme ceux du sanctuaire marin des Florida Keys ont fourni de nombreuses informations utiles. Une leçon importante résultant de ces études est que même suite à des impacts anthropogéniques aussi localisés, les récifs peuvent ne pas se rétablir à l'état avant perturbation, mais peuvent « basculer » vers des communautés dominées par les algues ou par des sols durs, non comme les récifs avant impact.

Un développement encourageant dans la restauration de récifs est l'intérêt croissant des communautés locales dans les pays en développement pour l'amélioration de la qualité et de la productivité des ressources récifales qui ont été dégradées par la pêche à la dynamite, la surpêche à long terme, la sédimentation, le chargement en nutriments ou d'autres impacts. Dans ces cas là, les communautés ont tendance à utiliser une combinaison de mesures de gestion (ex : mise en place d'aires marines protégées ou de zones fermées à la pêche) et des actions de restauration localisées pour tenter de restaurer le flux des ressources marines (particulièrement le poisson) avec lesquelles la communauté subsistait. Dans ces cas là, la restauration active est un des outils dans la réserve d'armes des responsables et gestionnaires et doit être vue comme une des composantes d'un plan élargi de gestion intégré et non pas un remède miracle. Ces activités peuvent aussi avoir des retombées liées au tourisme (voir Heeger et Sotto – 2000).

Deux autres types de projets impliquant des techniques de restauration et pouvant résulter en la restauration de zones récifales, sont la création de parcelles d'habitats récifaux facilement accessibles pour le tourisme et l'éducation, et le sauvetage par translocation d'organismes récifaux, qui autrement seraient tués à cause d'un projet de développement. Les motifs sont clairs dans les deux cas.

Un autre argument pour la restauration a trait au risque de « basculement » des systèmes dominés par le corail vers des états alternatifs stables (voir encadré 1). La restauration de récifs est très coûteuse, plus que celle des herbiers ou de la mangrove. Essayer de restaurer des parcelles d'habitats qui ont basculé vers un état alternatif stable sera encore plus coûteux et peut être prohibitif. Toutefois, une combinaison de mesures de gestion (pour réduire les facteurs de stress anthropogéniques chroniques) et la restauration active sur un système récifal dégradé, peuvent améliorer la résilience et réduire le risque de glissement de l'écosystème vers un état alternatif.

#### Encadré 1 : Le cas jamaïcain

Les dangers posés par une combinaison d'impacts anthropogéniques chroniques et de perturbations naturelles sur des récifs sont illustrés par ce qui est arrivé en Jamaïque au cours des dernières décennies. Récit simplifié : Dans les années 70 les récifs de la Jamaïque étaient des écosystèmes dominés par le corail avec environ 45 à 75 % de couverture de corail vivant, selon la profondeur et le lieu. La pêche était déjà intense avec des évidences claires de surpêche sur les récifs depuis les années 60. Il a été estimé que sur les récifs les plus accessibles la biomasse de poisson a été réduite de 80%. Ainsi, les grands prédateurs tels que les requins et les grands vivaneaux, carangues, balistes et mérours ont été pêchés jusqu'à presque épuisement de la ressource, suivis par les grands herbivores tels que les grands perroquets. Alors que la pression continuait tout au long de la chaîne alimentaire, d'autres poissons herbivores ont été réduits en abondance et en taille, mais l'écosystème maintenait son taux d'herbivorie grâce aux oursins brouteurs (*Diadema antillarum*) qui ont pris le contrôle d'une grande partie du broutage autrefois effectué par

les poissons. La pêche a réduit l'abondance des poissons qui faisaient leur proie des oursins (ex : les balistes) et celle des poissons herbivores qui les concurrençaient pour les ressources en algues. En conséquence la population d'oursins *Diadema* s'est rapidement développée.

Le broutage d'algues est important car, si les macroalgues deviennent dominantes, elles peuvent occuper la plupart de la place disponible sur les récifs et empêcher l'établissement des coraux et autres invertébrés. Normalement il existe un équilibre, avec la biomasse des macroalgues limitée par les brouteurs, qui en s'alimentant continuellement créent de petites parcelles de substrats dénudés où les invertébrés peuvent s'établir. Toutefois, en l'absence de broutage, les macroalgues (qui, quand elles sont à un stade de croissance avancée, pourraient être peu appétissantes pour la plupart des herbivores) peuvent proliférer. Dans ce cas là, il peut se produire un basculement dramatique, vers un état alternatif d'écosystème dominé par les macroalgues.

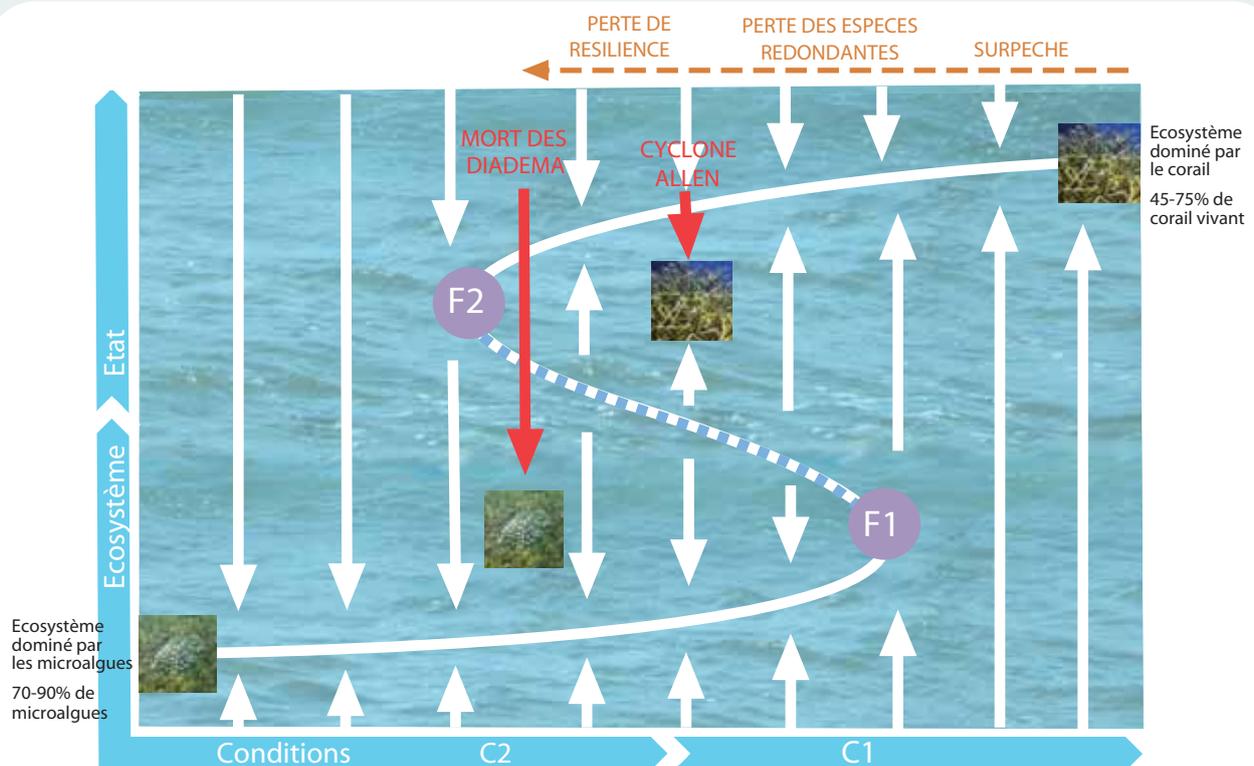
La surpêche, couplée aux changements dans l'utilisation des terres, a probablement conduit à une augmentation des nutriments et de la sédimentation sur certains récifs côtiers et aussi à l'augmentation de la prévalence des maladies du corail. Puis en 1980 le cyclone Allen frappe. Cette perturbation majeure a causé une perte importante de la couverture en corail des eaux peu profondes et une floraison éphémère d'algues. Toutefois, les récifs semblaient résilients avec les oursins *Diadema* capables de contrôler la croissance des algues de telle sorte qu'il y avait suffisamment de recrutement corallien, et la couverture en corail commença à se rétablir doucement. Puis trois ans après, en 1983, les oursins *Diadema* sont morts massivement d'une maladie, leur densité a été réduite de 99%. A ce stade le dernier bastion de contrôle par les herbivores a été rompu, et les récifs peu profonds d'abord, puis les récifs plus profonds ont été envahis par les macroalgues. A la fin des années 80 les récifs avaient largement basculé vers un état stable alternatif avec 70 à 90 % de couverture en algues.

Du point de vue de la restauration, cet état alternatif est probablement d'un ordre de magnitude plus difficile à restaurer que les diverses versions dégradées précédentes de systèmes dominés par le corail qui persistaient avant la mort massive des oursins *Diadema*. Pour retrouver

l'état d'origine, non seulement des mesures de gestion (restauration passive) sont nécessaires pour que les conditions basculent de C2 vers C1 dans la Figure 4 (gestion de la pêche et / ou culture d'oursins pour rétablir le broutage), mais il probable qu'il y ait besoin d'une perturbation par une restauration active importante pour enlever les macroalgues et ajouter des coraux avant que le système n'ait une opportunité de rebasculer.

Les leçons tirées sont que les impacts anthropogéniques chroniques agissant sur des décennies diminuent cumulativement petit à petit la résilience de l'écosystème, montrant peu de signes que le système soit à risque. Après le cyclone Allen il semblait encore être résilient et montrait des signes de récupération. Puis une perturbation de trop devient la goutte qui fait déborder le vase et le système s'effondre en un état alternatif.

Avec les changements climatiques, les perturbations semblent déferler et sauf si nous pouvons mieux gérer les récifs qui subissent des stress anthropogéniques, il semble de plus en plus probable que nous verrons des récifs dans de nombreux endroits tomber comme des dominos, dans cet état alternatif.



**Figure 4 : Basculement vers un état alternatif.** La courbe blanche pleine représente les « attracteurs » pour deux états différents et stables, un dominé par le corail (en haut à droite) et un dominé par les macroalgues (en bas à gauche). Quand l'état de l'écosystème est proche de chaque attracteur divers processus de feed-back (retour) tendront à maintenir la stabilité, la tirant vers l'attracteur. Alors que les conditions se détériorent pour l'écosystème dominé par le corail, de C1 vers C2, son état dérive vers le point de bifurcation F2 et sa résilience diminue. La courbe en tirets bleus entre F2 et F1 est un « repousseur » où l'état de l'écosystème est instable et pourrait basculer vers l'un ou l'autre des états stables.

Alors que les conditions changent, des modifications non perceptibles peuvent opérer, mais en réalité le système devient de moins en moins capable de réagir face à des perturbations importantes. Dans le cas de la Jamaïque, les récifs semblaient se rétablir des effets du cyclone Allen et revenir vers les attracteurs, mais ensuite, la mort en masse des *Diadema* a fait basculer le système en un état alternatif stable. Pour restaurer le système, non seulement la gestion est nécessaire pour faire revenir les conditions vers C1, mais des interventions de restauration active ou certaines perturbations majeures seront nécessaires pour surmonter la résilience de l'attracteur en l'état de macroalgues.

(Hughes – T.P. – 1994) Catastrophes, phase shifts, and large scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* 265: 1547 – 1551 ; Suding K.N. Gross K.L. and Houseman G.R. – 2004. Alternative states and positive feedback in restoration ecology. *Trends in Ecology and Evolution*. 19 (1) : 46 – 53

### 1.5 Que peuvent achever avec réalisme les interventions de restauration ?

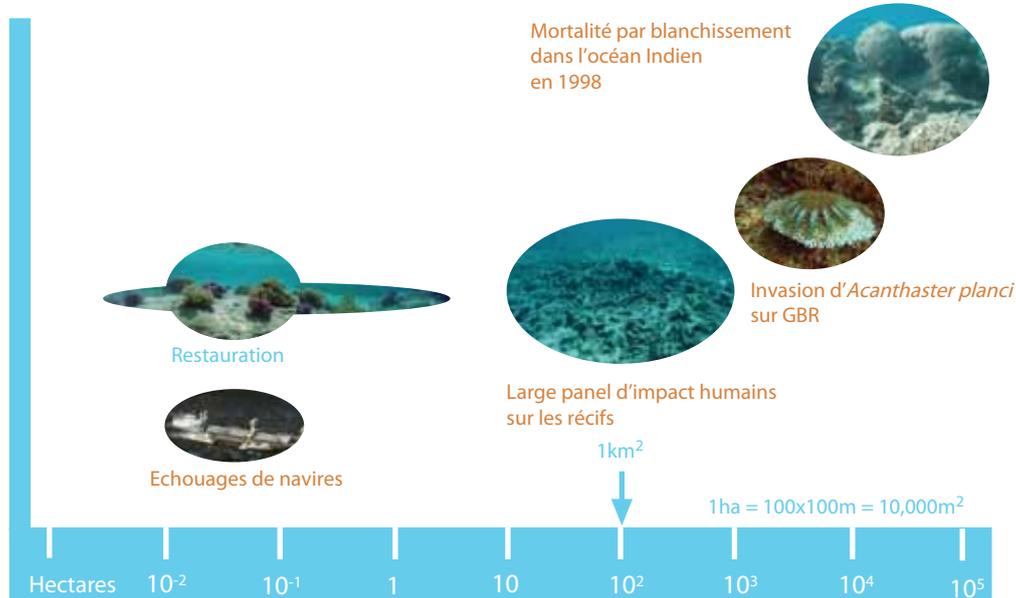
Comme il devrait maintenant être clair, la restauration de récifs coralliens en est encore à ses débuts. Le système que nous essayons de restaurer est très complexe et il n'est pas suffisamment bien compris pour que nous soyons sûrs des résultats des essais de restauration. Nous sommes encore en train d'apprendre d'une façon empirique en général, ce qui marche et ce qui ne marche pas.

Comme souligné plus haut, cela signifie que les actions de restauration, potentiellement limitées, ne devraient pas être utilisées comme moyen de justification par les décideurs pour approuver des projets qui dégraderont des récifs sains.

La restauration de récifs ne devrait jamais être survendue et ses limitations doivent être clairement comprises (Richmond – 2005). Il est humiliant et quelque peu déprimant de comparer l'envergure relative des tentatives de restauration et l'étendue des dégradations

Il existe clairement un décalage (de plusieurs ordres de magnitude) entre l'échelle à laquelle la restauration de récifs peut actuellement être tentée et l'échelle à laquelle des impacts majeurs dégradent les récifs. Dans le cas de perturbations naturelles aiguës à grande échelle, ce n'est pas nécessairement un problème dans la mesure où les récifs sains sont résilients et devraient se rétablir par eux-mêmes si non stressés par ailleurs.

Un domaine clé pour la recherche serait de déterminer si la restauration localisée à l'échelle d'hectares peut rejaillir en cascade à des échelles de dizaines d'hectares ou kilomètres carrés. De même, il serait intéressant de déterminer si de petits projets de restauration communautaires peuvent aboutir à la production de zones récifales fonctionnelles durables et viables et s'il y a une taille minimum pour atteindre cette durabilité. Ceci nous ramène au questionnement plus large de la taille minimum d'une aire marine protégée afin qu'elle soit efficace.



**Figure 5 : Echelle de dégradation versus échelle de restauration**

Comparaison des échelles approximatives de dégradation résultant de diverses causes, avec l'échelle à laquelle des restaurations récifales ont été effectuées avec une certaine réussite. L'étendue des impacts humains est peut être conservatrice et les impacts peuvent s'accumuler pour toucher des zones immenses comme vues aux Philippines et en Jamaïque.

des récifs (Figure 5). Des restaurations ont été effectuées avec un certain succès à des échelles allant de dizaines de mètres carrés à plusieurs hectares. Cependant une large panoplie d'impacts humains localisés sur les récifs agit à des échelles de plusieurs kilomètres carrés et l'accumulation de ces impacts sur plusieurs décennies ont conduit à des estimations allant de centaines à des milliers de kilomètres carrés de récifs dégradés dans des pays tels que la Jamaïque et les Philippines. Dans cet ordre de grandeur, d'immenses zones de récifs ont été affectée par la mortalité massive du corail post-blanchissement au cours du phénomène El Nino de 1998 dans l'océan Indien. A un niveau intermédiaire de l'échelle surviennent des phénomènes tels qu'une invasion d'acanthasters pourpres (*Acanthaster planci*) sur la Grande Barrière de Corail, qui au cours d'une mauvaise année peut impacter sévèrement des centaines de kilomètres carrés de récifs.

### Messages

-  La restauration des récifs en est à ses débuts. Nous ne pouvons pas créer de récifs complètement fonctionnels.
-  La restauration active a été effectuée avec un certain succès à des échelles allant jusqu'à quelques hectares seulement.
-  Les perturbations naturelles et les impacts humains peuvent affecter les récifs à des échelles allant de dizaines de km<sup>2</sup> à plusieurs milliers de km<sup>2</sup>.
-  La restauration active n'est pas un remède miracle. La clé est la gestion intégrée des zones récifales.



Récif sévèrement endommagé avec peu de corail vivant. Gazon algal et sédiments recouvrant les colonies de corail mort.

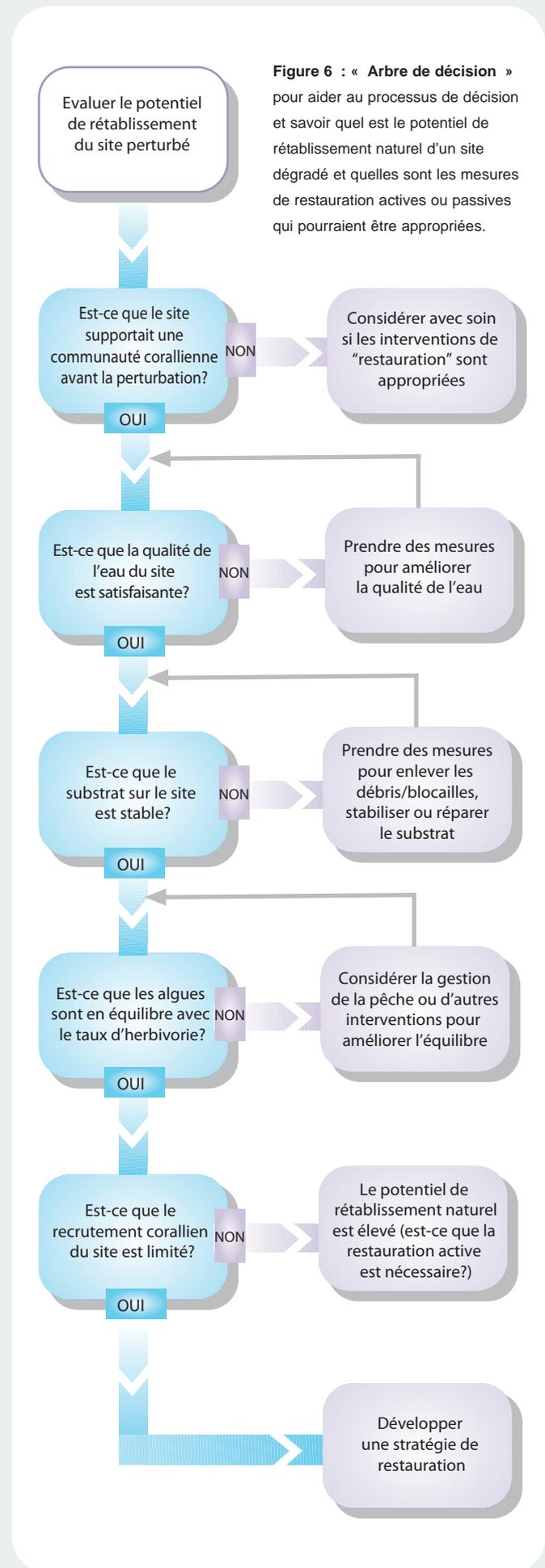
### 1.6 Est-ce que la restauration active est le bon choix ?

La restauration doit être considérée comme une option dans un contexte plus large de gestion côtière intégrée. Un facteur clé pour déterminer si la restauration active doit être tentée, est l'état de l'environnement local. A un extrême, si les conditions environnementales sont bonnes, la zone dégradée peu étendue et qu'il n'y a pas d'empêchement physique au rétablissement (ex. fond meuble de débris coralliens), la parcelle dégradée a des chances de pouvoir se rétablir naturellement dans les 5 à 10 ans. Dans ce cas là, la restauration active présente des bénéfices très limités. A l'autre extrême, si les conditions environnementales ne sont pas favorables (ex. quantités importantes de nutriments, sédimentation, sur-pêche, etc.), les chances d'établissement durable d'une population corallienne pourraient être négligeables. Dans ce cas là, des initiatives majeures de gestion (restauration passive ou indirecte) seront nécessaires avant que toute tentative de restauration active ne soit entreprise. C'est, d'une certaine façon, un art de décider à quel niveau le long du continuum entre ces deux extrêmes il est probable que la restauration active soit efficace et quelles sont les autres actions qu'il est nécessaire d'entreprendre avant de tenter la restauration.

Pour aider dans ce processus, un « arbre de décision » qui aborde bon nombre de questions clé qui doivent être posées, est présenté en Figure 6. Examinons ces questions plus en détail.

Pour de vrais projets de restauration, il n'est pas nécessaire de se poser la première question (« Est-ce que le site supportait une communauté corallienne avant la perturbation ? »), mais pour certains projets de développement touristique où on désire créer des parcelles de corail dans des zones lagunaires sûres et abritées, cette question pourrait être pertinente. Quels coraux peuvent survivre là où le propriétaire du complexe hôtelier souhaite les implanter ? En fin de compte, les contraintes écologiques le détermineront ; et non pas l'argent ou les désirs humains.

Même si un site a supporté une communauté corallienne saine dans le passé, la qualité de l'eau pourrait avoir été détériorée et il pourrait maintenant ne supporter que quelques espèces tolérantes. Si votre but est de restaurer un récif à un certain état précédemment plus diversifié, il est nécessaire d'améliorer d'abord la qualité de l'eau par des mesures de gestion, sans quoi tenter de restaurer activement le site se montrerait probablement infructueux.



La question suivante se rapporte à savoir si une restauration physique est d'abord nécessaire. Si oui, cela pourrait être très coûteux. Si ce n'est pas possible financièrement, mais nécessaire, alors il est probable que des tentatives de restauration biologique active échouent. Dans ce cas là, il pourrait être judicieux de ne restaurer qu'une partie du récif avec le financement disponible.

La question suivante est peut être celle à laquelle il est le plus difficile de répondre et se rapporte à la probabilité de durabilité du peuplement corallien transplanté sur le site. Le but de la restauration est de restaurer une communauté de manière durable et autonome. S'il n'y a pas suffisamment de broutage dû à la surpêche et/ou à la diminution des invertébrés brouteurs à cause d'une maladie et que les macroalgues dominent, alors il y a peu de chance de recrutement pour établir la prochaine génération. Les transplants pourraient survivre, mais si les processus écologiques qui leur permettent de produire les générations futures de coraux juvéniles sont compromis, la population est par la suite non durable. Sans certaines mesures de gestion pour restaurer un fonctionnement écologique, la restauration active pourrait être futile. Aujourd'hui nous ne connaissons pas le niveau de broutage qui est nécessaire à l'équilibre du système, mais mener une étude peut révéler s'il y a beaucoup d'herbivores (ex. perroquets, chirurgiens, poissons-lapins, oursins), le pourcentage de recouvrement en macroalgues et si beaucoup de petits coraux (disons < 5cm) sont présents. Par exemple, si les herbivores sont rares, que les macroalgues sont foisonnantes et qu'il n'y a aucun coraux juvéniles, cela suggère que la transplantation seule n'est pas viable à long terme.

## 2. Restauration physique

**Il est utile de faire la distinction entre la « restauration physique » qui est axée sur la réparation de l'environnement récifal et fait appel à des notions d'ingénierie et la « restauration biologique » qui est axée sur la restauration du biote et des processus écologiques. Le premier cas peut concerner des ordres de magnitude plus étendue que le second. Les coraux, les bédouilles et les grandes éponges peuvent être considérés à la fois comme des composants biotiques et des composants structurels, ainsi la distinction est parfois floue. Pour certains impacts, un seul type de restauration (soit active soit passive) est nécessaire ; pour d'autres, une combinaison de restauration active physique et biologique est nécessaire. Ceci est parfois surnommé « restauration mixte ». Lors de la planification d'une restauration écologique vous devez toujours prendre en compte les deux composantes ensemble.**

Certains impacts, tels que les échouages de navire, le minage du corail et la pêche à la dynamite, peuvent causer des dommages physiques majeurs à la structure du récif, ou générer des zones importantes de débris coralliens et de sable, instables, et dont il est peu probable qu'elles se rétablissent d'elles mêmes même sur plusieurs décennies sauf si un certain degré de restauration physique est effectuée. Les restaurations physiques majeures sont des opérations d'ingénierie très coûteuses (de l'ordre de cent mille à plusieurs millions de \$ US/ha) et qui nécessitent des conseils d'experts. Pour cette

Certaines autres mesures de gestion (ex. réglementation de la pêche, réduction de l'apport en nutriments) sont d'abord nécessaires.

Finalement, vient la question de savoir si le site présente un recrutement limité, c'est à dire, est-ce que l'approvisionnement en larves de corail est déficient ? Même sur les récifs sains, certaines zones reçoivent peu de larves de corail et de larves d'autres invertébrés par le jeu des courants ; ces sites se rétablissent probablement beaucoup plus lentement suite à des perturbations que des zones avec un meilleur apport. Dans ces cas là, utiliser la transplantation pour établir une population corallienne locale viable pourrait grandement accélérer le rétablissement. Toutefois, sur les récifs sains avec un bon apport naturel en larves (particulièrement dans l'Indo-Pacifique), il est probable qu'il y ait peu de besoins écologiques pour la restauration active. Malgré cela, il pourrait y avoir d'autres conducteurs poussant à la restauration active, tels que la conformité à des mesures de compensation, un besoin politique pour qu'un effort de restauration soit tenté (ex. tollé public, inquiétude ou insistance pour qu'une injustice environnementale soit corrigée), ou juste l'impatience humaine.... Dans ces cas là, étant donné les coûts importants, les fonds rendus disponibles pour la restauration active pourrait probablement être mieux utilisés pour la prévention des impacts humains ou pour des mesures de restauration passives (ex. meilleure gestion côtière).

**raison la plupart des lignes directrices de ce guide sont axées sur la restauration biologique. Des réparations mineures de récifs et un triage d'urgence sont néanmoins cités, dans le cadre de projets communautaires.**

### 2.1 Triage et réparation de récifs endommagés

Quand des impacts aigus ont fendu des blocs de corail, retourné des coraux massifs, délogé et fragmenté des colonies de corail et d'autres organismes sessiles ou déposé des objets étrangers sur le récif, un triage d'urgence à court terme peut grandement aider au rétablissement. Cela peut impliquer le cimentage ou l'utilisation d'époxy dans les grandes fêlures de la structure du récif, pour redresser et rattacher les coraux, les éponges et les autres



organismes récifaux ou du moins entreposer les organismes détachés dans un environnement sûr jusqu'à ce qu'ils puissent être rattachés.

*Plongeur Thaïlandais redressant une colonie de Porites renversée après le tsunami de 2004*

Les tâches doivent être établies par priorité avec des critères tels que la taille et l'âge des organismes, leur rareté et leur contribution à la diversité topographique, pour déterminer quels composants des récifs doivent recevoir de l'aide en premier. Les objets étrangers qui mettent en danger des zones intactes s'ils sont déplacés par l'action des vagues (ex. tronc d'arbre) ou qui contiennent des polluants (ex. voitures, comme celles déposées sur les récifs après le tsunami de 2004) doivent être enlevés des récifs.

À la suite d'un échouage de navire, l'intégrité structurale du récif est souvent menacée par de grands cratères, trous et fractures du squelette calcaire récifal et dont il est probable qu'ils s'étendent en cas de tempête. On fait appel à la restauration physique dans ces circonstances et il est essentiel de rechercher des conseils d'experts. Quand il y a une perte importante de la complexité topographique, et si cette complexité n'est pas restaurée, il y a un risque que la zone se rétablisse en un état alternatif. Pour restaurer la complexité topographique, une restauration physique majeure sera probablement nécessaire ; là aussi des conseils experts doivent être recherchés.

Il est peu probable qu'un site recouvert de champs de débris instables, sauf s'ils sont très petits, montrent des signes de rétablissement avant de nombreuses décennies. En effet les coraux qui s'y fixent ont toutes les chances d'être retournés, abrasés, étouffés ou ensablés. La survie est très faible et de telles zones de débris mobiles ont été appelées « les champs de la mort » des coraux. De plus, les parcelles de débris et de sédiments créés par les perturbations peuvent éventuellement se propager à travers les récifs au cours de tempêtes et causer des dommages aux zones voisines non impactées. Les débris peuvent être soit enlevés soit stabilisés. La stabilisation de champs de débris dans des environnements à forte énergie est à la fois coûteuse et difficile. Des succès partiels ont été obtenus en utilisant des plaques de béton souple ou en coulant du béton sur les débris, mais à grands frais et avec des signes de creusements et d'ébranlement à la suite de tempêtes. Ces travaux doivent être considérés comme une restauration physique majeure et des conseils experts en ingénierie doivent être recherchés.

Dans les situations quelque peu moins exposées, des résultats prometteurs ont été obtenus (et pour des coûts inférieurs) en couvrant les débris avec de grands blocs de calcaire. Les blocs doivent être d'une taille suffisante pour rester stable, même pendant les

tempêtes. Les impacts liés à la présence de sédiments fins reposant sur les surfaces de récifs sont l'inhibition de l'établissement de larves coralliennes et la diminution de la croissance du corail. Ils doivent être enlevés si les processus naturels ne le font pas. Si le sable a recouvert des zones de corail et autres biotes récifaux pendant une perturbation, il sera nécessaire de l'enlever dans les quelques jours suivant le recouvrement pour avoir de bonnes chances que les organismes ensablés survivent. Les champs de débris dans des environnements à faible énergie (ex. lagons ou eaux plus profondes) peuvent être suffisamment stables pour être recolonisés par les coraux et autres biotes sessiles et peuvent être consolidés dans le temps par les éponges, algues calcaires et autres organismes qui scellent les fragments de débris ensemble.

Il faut se souvenir que les récifs coralliens sont un patchwork d'habitats qui peuvent inclure des zones sablonneuses, des zones de blocailles, des récifs d'algues calcaires, des zones dominées par les macroalgues, des plaines de gorgones et aussi des zones avec une grande couverture de corail vivant. Si le sable et des parcelles de débris créés par un impact ne constituent pas une menace pour le corail sain sur les zones adjacentes et que des ressources financières substantielles ne sont pas disponibles pour la restauration physique, les laisser ainsi et concentrer ses efforts ailleurs constituent alors probablement une meilleure utilisation des fonds.

Avant que la restauration biologique ne soit tentée, la nécessité d'une restauration physique doit être évaluée (voir point 1.6). Si une restauration physique majeure est nécessaire sur un site mais que les fonds ne sont pas disponibles, il est probable alors que les tentatives de restauration biologiques du site soient un échec.



*Tronc d'arbre balayé sur un récif en Thaïlande par le tsunami de 2004*



*Colonie d'Acropora endommagée par des débris balayés sur un récif en Thaïlande par le tsunami de 2004*

## Messages



La restauration physique de récifs peut coûter de cent mille à plusieurs millions de dollars US/ha.



Les actions de restauration physique majeures sont l'affaire des experts uniquement. Rechercher des conseils spécialisés en ingénierie civile.



Un certain degré de restauration physique pourrait être un pré-requis pour toute chance de réussite de restaurations biologiques.



Un triage rapide d'un récif après une perturbation peut-être rentable (efficace et peu onéreux) et peut-être effectué par tout plongeur compétent sous supervision d'un expert.



De gros blocs de calcaire peuvent fournir un moyen peu coûteux et efficace de restaurer la stabilité et la complexité topographique de champs de blocailles dans des environnements peu exposés.

## 2.2 Création de récifs artificiels

Dans le cadre de restaurations physiques on peut utiliser toutes sortes de récifs artificiels : blocs de calcaire, modules conçus en béton (ex. ReefBall™) ou en céramique (ex. EcoReef™), minéraux (brucite et aragonite) déposés par électrolyse sur des structures métalliques maillées (ex. BioRock™), etc. L'utilisation de telles structures dans les projets de restauration doit être considérée avec soin et avec un œil critique. Il existe un risque que l'introduction de substrats artificiels devienne une activité de déplacement qui évite la question réelle de la gestion des récifs naturels, tout en suggérant qu'une action utile est entreprise dans un but de restauration. Un exemple est l'utilisation, dans certains pays, de récifs artificiels comme dispositifs d'agrégation de poissons pour créer des « récifs de pêche », en réponse à une mauvaise gestion de la surpêche sur les récifs naturels. Il y a aussi la question des échelles relatives. Il est estimé qu'il y a plus de 500 000 « reef balls » de diverses tailles déployées dans le monde. Elles fourniront tout au plus quelques kilomètres de substrats topographiquement complexes, à un coût de dizaines de millions de \$ US. On estime qu'il y a 300 000 km<sup>2</sup> de récifs coralliens en eaux peu profondes dans le monde, il y a donc beaucoup de substrats récifaux disponibles. Le problème principal est qu'une grande partie est médiocrement gérée ou dégradée.

En tenant compte de ces avertissements, il existe des cas particuliers où les récifs artificiels ont un rôle utile dans la restauration. L'introduction de structures artificielles fournit : (1) une augmentation immédiate de la complexité topographique, (2) des substrats stables pour le corail et d'autres populations d'invertébrés (ou pour la transplantation de corail), (3) des structures dures qui découragent diverses formes de pêche au filet (y compris le chalutage et la pêche à la seine) qui causent des dommages aux récifs, (4) des sites alternatifs pour la plongée en bouteille dans des zones dont les récifs naturels sont soumis à une forte pression de plongée et (5) elles sont susceptibles d'attirer les poissons. Cela suppose que les structures artificielles soient bien construites et bien déployées afin de rester stables dans des conditions de tempête. Pour la restauration, les aspects esthétiques et « d'apparence naturelle » doivent être pris en compte tant au début qu'après la colonisation par les coraux et les autres organismes récifaux. Les diverses marques citées plus haut revendiquent toutes un certain degré d'esthétisme et d'aspect naturel et les responsables et gestionnaires qui ont l'intention d'utiliser de telles structures peuvent en juger par eux-mêmes via les sites web des entreprises citées.

L'utilisation de pneus et autres bric-à-brac fabriqués par les hommes pour la création de récifs artificiels n'est pas recommandée tant pour des raisons d'esthétiques que structurales.

Les rôles potentiels des récifs artificiels dans la restauration de récifs sont :

1. La stabilisation et la restauration de la complexité topographique dans des zones de débris tels que ceux produits par la pêche à la dynamite et ainsi ramener les poissons et les coraux dans les zones qui ont peu de chance de se rétablir naturellement.
2. L'éducation dans les parcs marins et lieux touristiques et la sensibilisation du public là où l'accès sûr et facile à des morceaux « d'habitats récifaux » est nécessaire. Plusieurs complexes hôteliers dans le monde ont utilisé de cette façon des structures artificielles comme supports pour la transplantation de corail.
3. La réduction de la pression exercée par les plongeurs sur des récifs naturels très fréquentés. Quelques complexes hôteliers ont ainsi créé des récifs artificiels attractifs pour les plongeurs en vue de réaliser les premières plongées sur ces structures, pour les débutants plongeurs ayant peu de contrôle de leur flottabilité, et de réduire l'ensemble de la pression de plongée sur les récifs naturels (par environ 10% si chaque plongeur visite le site au moins une fois au cours d'une semaine de vacances).

Des modules artificiels appropriés (spécialement conçus pour la protection côtière) peuvent aussi être utiles là où les services de protection par les récifs frangeants ont été perdus. Ces services peuvent coûter de 1 à 10 millions de dollar US par kilomètre, en fonction du littoral.

Les surfaces artificielles courantes et standards fournies par certains modules artificiels sont aussi utilisées par les biologistes pour effectuer des recherches sur la restauration comme moyen de standardiser les expériences. Cela ne veut pas dire qu'ils approuvent leur utilisation dans des projets réels de restauration. Notez également que bien que dans certains endroits presque tout substrat artificiel (béton, PVC, pneu, ou navire) soit rapidement colonisé par les coraux, dans d'autres lieux, les récifs artificiels restent obstinément dénués de recrutement corallien et ne servent ainsi pas à grand-chose.

## Messages



Il y a au moins 300 000 km<sup>2</sup> de récifs coralliens dans le monde. Le manque de substrat dur n'est pas une question critique. La question critique est la gestion des facteurs de dégradation des récifs coralliens.



L'utilisation de récifs artificiels pour les besoins de la restauration doit être considérée avec soin et avec critique en termes de besoin, de rentabilité et d'esthétique.



Les récifs artificiels, bien conçus et bien construits, peuvent fournir (1) une augmentation immédiate de la complexité topographique, (2) des substrats stables pour l'établissement du corail ou comme support pour la transplantation, (3) l'agrégation de poissons, (4) des services de défense maritime, (5) des structures dures pour décourager la pêche au filet (chalutage, seine) dans les zones coralliennes, (6) des sites de plongée pour réduire les impacts par les plongeurs sur les récifs naturels dans les zones avec une forte concentration de touristes plongeurs.

### 3. Restauration biologique

La restauration biologique doit toujours être considérée dans le contexte de l'ensemble de l'environnement du site qui est restauré, tant l'environnement physique et biotique, que l'environnement humain et le contexte de gestion. Comme indiqué dans le point 1.3, « la restauration écologique est le processus d'aide au rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit ». L'aide peut se faire sous forme de mesures de gestion indirecte ou passive (ôter les obstacles au rétablissement naturel) ou de mesures actives directes (la transplantation de coraux et autres organismes). Des exemples du premier type d'aide seraient des actions de gestion pour réduire la pression de la pêche, l'apport de sédiments ou l'écoulement d'eaux usées. Ainsi la restauration biologique passive peut être réalisée au travers d'une gamme d'actions de gestion côtière qui réduisent les pressions anthropogéniques sur les systèmes coralliens.

Le plus souvent la restauration active consiste à transplanter des coraux (et autres biotes) sur un site dégradé. Dans ce type de projet il est crucial de minimiser les dommages aux zones récifales « donneuses » saines (ou moins dégradées) à partir desquelles les transplants sont obtenus, et de maximiser la survie des transplants sur le récif qui est restauré. Un projet de restauration ne sera

un succès à long terme que si une communauté autonome et fonctionnelle est établie.

Les parties suivantes abordent les aspects de la restauration biologique active et traitent des questions majeures. Etant donné la prévalence de la transplantation du corail dans les projets de restauration, nous consacrerons la plus grande partie de l'argumentaire à cette activité. Il existe maintenant une gamme d'options qui permettent aux utilisateurs de minimiser les dommages collatéraux impliqués dans la collecte des transplants et de maximiser l'efficacité du matériau corallien utilisé. Ces options vont du soin apporté à la collecte des transplants, à la propagation sexuée ou asexuée des coraux cultivés ex situ (dans des aquariums) ou in situ (dans l'océan) (Figure 7). Ces options sont abordées plus en détail ci-dessous.



**Figure 7 : Propagation directe versus propagation indirecte des coraux.** Le moyen le moins coûteux est de récolter des coraux directement du récif et de les transplanter sur la zone dégradée. Toutefois, pour obtenir une bonne chance de survie, les individus transplantés doivent être relativement grands (disons > 5 à 10cm). Des fragments plus petits (disons 2 à 3cm) peuvent être cultivés en pleine mer, dans l'océan ou dans des nurseries benthiques, jusqu'à ce qu'ils soient suffisamment grands pour bien survivre. Ceci a un coût mais offre une meilleure utilisation du matériau corallien. Les très petits fragments ne survivent pas bien en culture in situ, mais peuvent survivre et croître en culture ex situ. Ainsi, pour un coût encore plus élevé et un processus de culture plus long en deux étapes, il est possible de créer des dizaines de milliers de petites colonies à partir d'un nombre similaire de fragments (disons 10mm). Plus la période de culture est longue, plus le coût de production de culture de chaque transplant est élevé. La mise en œuvre de la culture ex situ est beaucoup plus coûteuse que celle de la culture in situ. Les larves de corail planctoniques peuvent aussi être cultivées, une fois établies sur des morceaux de substrat, elles grossissent en cage en pleine mer pendant 6 à 12 mois jusqu'à ce qu'elles soient suffisamment grandes pour avoir une chance raisonnable de survie sur le récif.

### 3.1 Pourquoi se concentrer sur les coraux ?

Le fait que les projets de restauration récifaux soient focalisés sur les coraux est souvent critiqué. Ainsi les critiques remarquent que les divers autres groupes d'animaux marins semblent être ignorés par la transplantation et que la complexité de l'écosystème récifal n'est alors pas restaurée. Toutefois, comme indiqué dans le point 1.3, les utilisateurs de la restauration n'essaient pas de reconstruire un écosystème morceau par morceau, mais tentent d'aider les processus naturels de rétablissement. Actuellement, la structure, les règles d'assemblage et le fonctionnement des écosystèmes récifaux sont bien trop pauvrement compris pour que la restauration tente quelque chose de plus ambitieux. Par ailleurs, la restauration est coûteuse et les ressources doivent être attribuées là où elles sont le plus nécessaire.

Les coraux sont des espèces clé des écosystèmes récifaux tout comme les arbres sont des espèces clé des forêts. Les coraux semblent être essentiels à la restauration des récifs tout comme les arbres sont essentiels pour la reforestation. Ils sont aussi particulièrement sensibles à une variété d'impacts (point 1.2), en partie à cause de leur étroite symbiose avec les zooxanthelles qui les rendent sensibles aux petites augmentations de température des eaux au-dessus de normales maximales annuelles.

- Les coraux représentent le principal élément de construction et d'accrétion pour les services de défense maritime fournis par les récifs.

- Les coraux fournissent une complexité structurale (habituellement en corrélation avec la biodiversité) et des abris pour les poissons et les invertébrés.

- Les habitats coralliens offrent des abris aux herbivores qui peuvent aider au contrôle de l'invasion par les algues.

- Les coraux vivants sont attractifs et représentatifs de récifs sains dans l'esprit des touristes.

Quand les coraux sont perdus, alors la biodiversité et l'abondance des poissons peuvent décliner, tout comme les revenus issus des touristes plongeurs et de la pêche. Si une population durable de corail et une complexité structurale peuvent être établies, alors il est probable que les autres éléments du système se rétabliront naturellement. La plupart des études sur la transplantation se sont concentrées sur les coraux durs hermatypiques (présentant une symbiose avec les zooxanthelles) qui sont les principaux constructeurs des récifs, mais d'autres coraux durs tels que le corail bleu *Heliopora*, le corail tuyau d'orgue *Tubipora* (corail mou de la sous-classe des Octocorallaires) et le corail de feu *Millepora* (classe des Hydrozoaires) peuvent être importants dans certains habitats et peuvent être transplantés avec succès.

D'autres composants de l'écosystème récifal ne doivent pas être ignorés dans la restauration. Les coraux mous, les éponges, les bédouilles géants, les trocans et les oursins, parmi d'autres groupes font l'objet de culture et de transplantation. Les coraux mous, les éponges et les bédouilles géants peuvent fournir une complexité topographique et des individus ou colonies d'individus peuvent être âgés de plusieurs décennies. Dans les projets de restauration tels que ceux liés aux échouages de navires, ils doivent être secourus et si nécessaire rattachés.

Les oursins brouteurs tels que *Diadema* et les escargots tels que les *Trochus* pourraient avoir un rôle crucial en aidant au rétablissement de l'herbivorie dans les zones où les poissons herbivores sont rares car surpêchés.



Un récif magnifique et topographiquement varié des îles Similan en Thaïlande, avec d'énormes colonies de *Porites* fournissant des abris aux poissons et aux invertébrés.

### 3.2 Approvisionnement en transplants de corail

Pour obtenir un transplant corallien, il faut prélever du corail du récif (sauf si le corail est cultivé à partir de zéro). Ainsi pour chaque transplant asexué produit il y a un certain nombre de dommages collatéraux. Il existe différentes façons de minimiser ces dommages. La première règle est d'utiliser le matériau corallien de la meilleure manière qui soit. Notez que les réglementations locales exigent parfois d'obtenir un permis avant de collecter des transplants ou de les introduire dans une zone dégradée.

Dans certains cas, quand les dommages sont réparés immédiatement après impact tel qu'un échouage de navire, des colonies entières de corail sont détachées de leur socle et leurs chances de survie peuvent être augmentées si elles sont rattachées in situ comme des colonies entières. Ceci est davantage de la restauration physique que biologique dans la mesure où aucun matériau vivant n'est introduit. Dans les cas où des récifs sont menacés par des travaux de remblaiement ou un développement industriel (ex. centrale électrique), des zones entières de récif peuvent être transplantées et des colonies entières déplacées vers un site refuge. Toutefois, l'utilisation de colonies entières a tendance à être une exception. Etant donné la forte probabilité de mortalité des transplants, si des colonies entières sont utilisées leur mort représentera une grosse perte pour le récif. Même si logiquement les colonies entières semblent moins vulnérables au stress que les fragments, pour certaines espèces sensibles, une moyenne de 50% des colonies transplantées meurent dans les deux ans. Ainsi, dans ces cas là, il serait recommandé de fragmenter ces colonies afin de minimiser les pertes probables. De même au sein d'une même espèce, différents génotypes peuvent montrer des susceptibilités variables au stress de la transplantation.

En principe les transplants de corail seront collectés sous forme de fragments. De petits fragments peuvent ensuite être élevés pendant un temps en nurserie (voir point 3.3) où ils peuvent être cultivés en petites colonies qui sont ensuite transplantées, mais ils doivent bien à l'origine provenir de quelque part.

Sur la plupart des récifs on peut trouver des fragments de corail (souvent des morceaux de branches cassées) qui se sont détachés et qui, en dehors des espèces qui se reproduisent naturellement par fragmentation, ont une faible chance de survie, sauf s'ils sont rattachés. Souvent des parties de ces fragments sont déjà mortes ou en train de mourir. Ils sont appelés « coraux d'opportunité » et représentent en général une source de transplants

non controversée. La logique étant que la plupart mourraient de toute façon si non utilisée pour la transplantation (sauf pour les espèces qui se reproduisent naturellement par fragmentation). Des fragments de branches partiellement morts, une fois que les parties mortes ou mourantes ont été coupées avec des pinces, peuvent fournir des transplants sains avec une bonne chance de survie. Les espèces branchues représentent la plupart des « coraux d'opportunité », les espèces les plus fragiles fournissant le plus de fragments et les espèces les plus robustes en fournissant moins. Ainsi ces « coraux d'opportunité » peuvent ne pas être représentatif des espèces communes et d'autres sources peuvent aussi être nécessaires.

Si des colonies donneuses intactes sont utilisées comme source de fragments pour la transplantation directe, ou pour une mise en culture suivie d'une transplantation, il est conseillé que seule une petite partie de la colonie (moins de 10% environ) soit prélevée pour minimiser le stress de la colonie donneuse. Jusqu'à ce que davantage de recherches soient effectuées dans ce domaine et que nous ayons une meilleure compréhension de l'impact lié à la coupe des colonies, nous suggérons qu'il est préférable d'appliquer le principe de précaution et de ne pas exciser plus de 10% des colonies donneuses. Pour des colonies massives de corail il semblerait qu'il soit préférable de prélever des fragments sur le bord de la colonie.

## Check-list de bonnes pratiques

- ✓ Vérifier la législation locale pour déterminer si vous avez besoin d'un permis avant de pouvoir collecter des transplants ou pour les introduire dans une zone dégradée.
- ✓ S'approvisionner en transplants dans des zones les plus similaires possible au site qui doit être restauré (même profondeur, même exposition, même régime de sédimentation, même salinité, même substrat, même échelle de température d'eau).
- ✓ Considérer avec soin comment faire le meilleur usage des transplants coralliens collectés.
- ✓ Essayer d'utiliser les « coraux d'opportunité », c.-à.-d. les fragments naturellement générés sur les récifs et qui ont une faible chance de survie sauf si rattachés.
- ✓ Si des colonies donneuses intactes sont utilisées pour l'approvisionnement en transplants, ne pas utiliser plus de 10% de leur surface pour minimiser le stress de la colonie donneuse.
- ✓ Ne pas forer les colonies massives pour obtenir des transplants mais prendre des fragments sur le pourtour des colonies.

## 3.3 Culture du corail

Le succès des méthodes, tant pour la propagation sexuée qu'asexuée d'un grand nombre de coraux, à maintenant été démontré. Comme nous le verrons ci-dessous, la principale lacune scientifique est de savoir si des coraux cultivés peuvent être ensemencés avec succès sur des récifs dégradés et s'ils survivront bien. Comme nous l'avons déjà vu, l'option la moins coûteuse est la transplantation directe ; la culture de coraux fait un meilleur usage du matériau corallien mais présente un certain coût. Plus la culture est sophistiquée, plus les coûts sont élevés ; de même plus la mise en culture est longue plus les coûts seront élevés (Figure 7). La restauration de récifs est déjà onéreuse par rapport à la restauration d'herbiers ou de mangroves. Ainsi des méthodes peu coûteuses sont recherchées et maximiser l'efficacité et la rentabilité de la culture de corail devient un challenge clé. La culture ex situ en aquarium est généralement plus coûteuse que la culture in situ en mer, en pleine eau ou en nurseries benthiques. Cependant, la survie pendant les toutes premières phases de développement ou dans le cas de très petits transplants (ex. petits morceaux < 5 à 10mm de diamètre) est critique et généralement uniquement satisfaisante en aquarium ex situ. Ainsi de nombreux compromis sont à faire entre la survie, le type de culture et le coût, qui ne sont pas encore bien quantifiés.

### 3.3.1 Propagation asexuée des coraux

Il est possible de faire pousser des coraux de manière asexuée à partir de fragments (connus sous le nom de « ramets » quand ils sont dérivés de la même colonie (clones), et quand ils sont très petits souvent appelés « nubbins » ou souches), ce qui constitue la forme la plus courante de culture. L'expérimentation montre que des colonies ont grandi à partir de la coupe d'un seul polype en culture ex situ. Toutefois, pour la plupart des projets, des fragments plus grands (3 à 10cm) sont utilisés, dans la mesure où ils peuvent être cultivés in situ en nurseries benthiques ou en pleine mer, pour un coût raisonnable. Les technologies impliquées sont accessibles à de petits projets communautaires sous réserve de conseils scientifiques et l'expérience a démontré le succès de tels projets. Les buts de la culture asexuée sont : 1) de maximiser les bénéfices d'une quantité donnée de matériau source et ainsi minimiser les dommages aux zones donneuses, 2) de faire pousser des fragments en petites colonies qui devraient mieux survivre que les fragments ne l'auraient fait s'ils avaient simplement été transplantés directement sur le récif et 3) d'avoir des banques de petits coraux facilement disponibles pour la transplantation en cas d'évènement catastrophique tel que l'échouage d'un navire.



Culture in situ de souches d'*Acropora muricata* en nurserie en eau peu profonde aux Philippines

Un des bénéfices liés à la culture en nurserie est que des centaines de petites colonies peuvent être produites à partir de fragments d'une seule colonie. Les coûts sont ceux impliqués dans la mise en place des nurseries, la collecte des fragments, la fixation des fragments sur des substrats puis les soins nécessaires jusqu'à ce qu'ils soient jugés aptes pour la transplantation. Cet élevage, qui s'accompagne de l'enlèvement d'algues et autres organismes qui menacent de recouvrir les fragments cultivés, ou de l'enlèvement de prédateurs tels que les escargots marins *Drupella* mangeurs de corail, peut prendre beaucoup de temps. Plus les fragments sont petits, plus il le temps de culture sera long avant qu'ils ne puissent être transplantés et il sera nécessaire que l'environnement soit le plus sain possible pour qu'il y ait une bonne chance de survie. Pour les espèces branchues, des souches d'environ 3cm peuvent nécessiter 9 à 12 mois pour se développer en colonies de taille substantielle, de la taille d'un poing. On connaît actuellement trop peu de choses sur les compromis entre la taille et la survie (voir point 3.6) pour connaître la durée de mise en culture optimale. Il est probable que cela varie d'une espèce à l'autre et que cela dépende aussi de l'état du site dégradé.



Plateau de souches de corail cultivées en nurserie en pleine eau

De la même manière que le site donneur doit présenter des conditions environnementales similaires au site transplanté, le site d'implantation de la nurserie devrait présenter des conditions aussi similaires que possible au site donneur et au site de transplantation. Les expériences montrent que si l'environnement du site de la nurserie diffère significativement de celui du site source, les taux de survie de la culture seront faibles. Il existe une exception, si les conditions régnaient au niveau de la nurserie sont meilleures (ex. moins de sédimentation, meilleure clarté de l'eau, etc.) que celles du site source alors les coraux pourront prospérer. Néanmoins, le devenir de ces coraux cultivés une fois remis dans un environnement plus rude est encore incertain. Les nurseries doivent être situées à l'abri des courants forts, de la houle et de l'action des vagues – conditions typiques sur les récifs coralliens – ainsi la nurserie est souvent éloignée du récif lui-même, mais doit malgré tout présenter des conditions appropriées pour la survie et la croissance du corail.

La production de centaines de colonies clonées à partir d'une seule colonie peut être utile sur le plan expérimental, mais pour des projets concrets de restauration la diversité génétique de la nurserie doit être prise en compte. L'approvisionnement en fragments de culture à partir des « coraux d'opportunité » (c.-à.-d. des fragments de coraux gisants autour du récif) ou le prélèvement de 10% ou moins de la masse d'un individu, à partir de différentes colonies donneuses appropriées, est une façon d'assurer une diversité génétique raisonnable parmi les futurs transplants. S'il devient possible d'identifier les génotypes résistants ou tolérants au

blanchissement, alors la culture asexuée présentera une voie prometteuse de propagation de grandes quantités de ces souches.



Souches d'*Acropora* qui ont poussé en petites colonies dans une nurserie en pleine eau.

A ce jour il y a plusieurs exemples de nurseries benthiques et nurseries en pleine eau où la culture asexuée de plusieurs milliers de petites colonies a été effectuée avec généralement une bonne survie (souvent plus de 90% sur 6 mois). En tant que telles, la culture asexuée de coraux semble avoir un fort potentiel dans la restauration des récifs, d'une façon analogue à celle de la sylviculture avec des pépinières terrestres dans les projets de reforestation. Toutefois, la prochaine étape, qui est la transplantation réussie de colonies élevées en nurserie sur des zones récifales dégradées et leur survie à long terme dans ces zones, reste encore à être démontrée sur une grande échelle (0,1 à 1 hectare) et fait l'objet d'un nombre considérable de recherches actuellement en cours.

Il a été estimé que dans le cadre de nurseries in situ benthiques ou en pleine eau, le coût pour la culture de 5 à 10 transplants s'élève à 1 dollar US. A un espacement de 0,5m sur un récif dégradé cela supposerait un coût de culture de 4 000 à 8 000 \$ US/ha (pour les 40 000 transplants par hectare qui seraient nécessaires).

### 3.3.2 Propagation sexuée de coraux pour l'ensemencement de récifs

Les coraux se reproduisent sexuellement par la ponte d'œufs ou par l'expulsion de larves dans la colonne d'eau. Les coraux produisent souvent une grande quantité d'œufs et/ou de larves. Dans la nature une grande majorité de ces œufs ou larves ne survit pas. Toutefois si ces larves peuvent être collectées et artificiellement cultivées, les taux de mortalité peuvent être considérablement réduits et les larves représenter ainsi une source potentielle de coraux dans les projets de restauration. La propagation sexuée des coraux présente deux avantages majeurs par rapport aux techniques de propagation asexuée.



Pistage de la traînée d'une ponte de corail.



Elevage des œufs et larves dans un bassin flottant.

Premièrement, il n'y a pas besoin de fragmenter les colonies donneuses, réduisant ainsi les dommages collatéraux aux récifs sources ; deuxièmement, les colonies coralliennes produites sexuellement ne sont pas des clones et par conséquent possèdent une diversité génétique beaucoup plus grande. Cette méthode peut nécessiter le prélèvement de quelques colonies ou fragments de grande taille, amenés en aquarium pour pondre. Bien que les colonies puissent être replacées sur les récifs après la ponte, le stress du prélèvement et de la transplantation qui s'ensuit peut occasionnellement causer la mort de la colonie.

Les larves peuvent être collectées et élevées pendant des périodes variées avant d'être refixées directement sur le récif ou sur des substrats en aquariums. Une fois installés en aquarium, les petits coraux peuvent être cultivés jusqu'à une taille suffisante pour être capables de survivre à la transplantation sur le récif. Des méthodes sont encore à l'essai par des scientifiques et ces technologies nécessitent davantage d'expertise technique avant de les appliquer avec succès, que celles de la culture asexuée et des méthodes de transplantation explicitées ci-dessus, plus communément appliquées.



*Colonie de Montastraea en train de pondre - Philippines*



*Des bassins flottants simples et peu coûteux peuvent fournir un moyen pour la culture contrôlée de ponte de corail dans des régions isolées.*

Bien que certains coraux qui expulsent des larves puissent en produire mensuellement, un grand nombre de coraux qui pondent des œufs ne peuvent libérer des œufs et du sperme qu'une ou deux fois par an uniquement. La ponte est généralement synchronisée, avec les colonies matures d'une même espèce libérant leurs gamètes les mêmes nuits, pendant quelques nuits. Ce phénomène est appelé « ponte massive » et lorsque beaucoup d'espèces pondent à peu près au même moment, cela produit de grandes traînées de larves et d'œufs visibles à la surface de l'eau. La ponte est le mode le plus commun de reproduction du corail et le moment à laquelle elle se produit est raisonnablement prévisible en un lieu donné. Ainsi la connaissance des schémas de reproduction de l'assemblage corallien local est nécessaire car l'approvisionnement en larves n'est possible que pendant quelques semaines par an.

Il existe deux approches pour s'approvisionner en larves. Soit des colonies matures d'espèces qui expulsent des larves ou qui pondent peuvent être collectées et maintenues en aquarium jusqu'à libération des planulae ou gamètes respectivement, ou, pour les espèces qui pondent des larves, des traînées de millions de larves de corail peuvent être collectées à la surface de l'océan, à un ou deux moments définis dans l'année. Ces traînées peuvent être soit maintenues *in situ*, soit transférées *ex situ* dans des aquariums.

Dans le premier cas, les traînées peuvent être stockées dans des bassins de culture flottants dans l'océan (même les pataugeoires en plastiques semblent adéquates) pendant environ une semaine,

après quoi la plupart des larves sont prêtes et aptes à se fixer sur un récif. A ce stade, elles sont pompées pour être amenées jusqu'au récif dégradé où elles sont maintenues dans des « tentes » à mailles fines. Les « tentes » en filet sont utilisées pour éviter que les larves ne soient emportées hors du récif par les courants. Avec ces techniques il est possible d'obtenir un taux d'établissement corallien environ 100 fois supérieur comparé à ce qu'il est possible d'obtenir naturellement. Toutefois, une grande inconnue reste à savoir si cela fait une différence significative à long terme dans la mesure où très peu de ces nouveaux coraux fixés survivront pour devenir des colonies matures reproductives ; par ailleurs la mortalité pourrait être densité-dépendante.

En transférant les coraux nouvellement fixés dans des aquariums *ex situ*, ils peuvent être élevés avec soin loin des périls de l'environnement naturel du récif et uniquement transplantés sur le récif quand ils ont une chance raisonnable de survie. La survie sur les récifs augmente dramatiquement avec la taille/âge. Par exemple, une étude de *Pocillopora damicornis*, corail libérant des planulae, a montré un taux de survie des nouvelles recrues 8 fois supérieur en aquarium (69%), après une semaine, comparé à un récif naturel (9%), et une survie négligeable sur le récif naturel après 3 semaines. La même étude a aussi montré que les coraux cultivés pendant 6 mois, jusqu'à ce qu'ils atteignent un diamètre >10mm, avaient environ 25 à 30 fois plus de chances de survivre pendant 5 mois quand transplantés sur le récif naturel, que ceux transplantés avec un diamètre <3mm (âgés d'environ 1 mois).

Toujours en utilisant ces traînées de ponte, plusieurs milliers de polypes de corail peuvent se fixer sur des tuiles (pré-conditionnées dans l'eau de mer pendant environ 2 mois) en aquariums *ex situ*. La fixation peut être aidée par l'utilisation de substances attractrices dérivées de certaines espèces d'algues corallines rouges, qui stimulent l'établissement et la métamorphose des larves en coraux juvéniles.



*Planulae d'Acropora tenuis et juvéniles récemment établis et métamorphosés attachés à une algue coralline encroûtante vivante.*



*Des escargots juvéniles herbivores tels que des Trochus de 5 à 7,5mm peuvent être utilisés pour brouter les algues qui pourraient autrement étouffer les jeunes coraux.*

Après quelques semaines les tuiles et les coraux juvéniles peuvent être co-cultivés en cages en pleine eau avec de petits escargots herbivores (tels que des *Trochus* de 5 à 7,5mm) qui broutent les algues qui pourraient autrement étouffer les jeunes coraux. En utilisant ces méthodes, des milliers de colonies d'*Acropora* d'environ 4cm de diamètre peuvent être obtenues dans les 12 mois. Encore une fois, l'étape qui reste encore à démontrer est la transplantation et la croissance réussie de ces petites colonies sur des récifs dégradés. Dans la mesure où la culture a un coût, il est nécessaire d'explorer en détail les compromis entre le temps passé en culture (coûts) et l'augmentation de la survie suite à la transplantation qui en résulte (bénéfices), ce qui fait actuellement l'objet de recherches.



Contrôle de la croissance et de la survie des coraux. Nettoyage des algues et autres organismes encroûtants dans des cages en pleine eau dans lesquelles les *Acropora* juvéniles sont élevés sur des tuiles - Palau. .



Œufs et embryons d'*Acropora* aux premiers stades de développement, deux heures après la ponte du corail.



*Acropora* âgé de 9 mois (3 à 4cm de diamètre) fixé sur des tuiles en aquariums et ensuite élevés dans des cages en pleine eau, en co-culture avec des *Trochus* qui broutent les algues.

## Messages



Les coraux peuvent être cultivés avec succès à partir de fragments produits asexuellement ou de larves produites par la reproduction sexuée.



La raison principale de la culture de fragments asexués est de maximiser les bénéfices à partir d'une quantité donnée de matériau source et ainsi minimiser les dommages aux zones donneuses. La culture de fragments peut générer des gains multipliés par cent en matériau transplantable.



Des précautions doivent être prises pour assurer la diversité génétique des transplants cultivés.



La culture à partir de larves a été effectuée de façon expérimentale mais nécessite davantage d'expertise technique que la culture asexuée. Pour beaucoup d'espèces, la ponte est saisonnière ce qui restreint la disponibilité en larves. Toutefois, la propagation sexuelle en culture a le potentiel de produire d'énormes quantités de petits coraux.



Le grand point d'interrogation sur la culture en tant que source de matériau corallien pour la restauration, est de savoir si les coraux survivront bien quand transplantés sur un récif dégradé.

### 3.4 Fixer les transplants de corail

Les transplants doivent généralement être fixés de façon sûre au récif, sauf s'ils sont bien abrités de sorte que les fragments restent en place sans aucune aide. La fixation peut se faire à l'aide de ciment, différents adhésifs à base d'époxy, des clous, du fil en acier inoxydable, du câble isolant ou des serres câbles. Des clous ou de longues agrafes fixées dans le récif peuvent fournir des points de fixation pour les serres câbles ou le fil, si difficiles à attacher autrement. De petites souches ont pu être fixées avec succès à des épingles en plastique (pour la culture en nurserie en pleine eau) et d'autres substrats (ex. bénitiers géants) en utilisant des colles à base de cyanoacrylate (Superglue). Les espèces qui naturellement se reproduisent par fragmentation sont habituellement capable de s'auto-fixer en quelques semaines, si elles sont stables. Sur des récifs exposés, le détachement des transplants peut être la cause principale de mortalité et peut décimer toute une

population transplantée.

La méthode la plus efficace dépendra de : (1) la taille et la forme de croissance des transplants, (2) l'exposition de l'habitat aux actions des courants et des vagues et (3) la nature du substrat du récif. Dans divers projets, de faibles taux de perte (détachement) ont été obtenus en utilisant des composés époxy, du ciment et du fil. Les méthodes de fixation qui permettent au fragment le moindre mouvement peuvent causer une abrasion du tissu en contact avec le substrat et ne sont pas recommandées, ce qui survient parfois quand les fragments sont attachés au récif, plutôt que cimentés.

Les fragments de coraux sont souvent capables de croître sur les fils ou les serres câbles qui les maintiennent attachés, après plusieurs mois. Toutefois, et d'une manière générale, il faut essayer de minimiser l'introduction de matériaux fabriqués par l'homme sur le récif. Quand le tissu vivant du corail est stable et en contact avec une surface raisonnablement propre (sans sédiment épais ou gazon algal), il peut s'auto-fixer en poussant sur le substrat, réduisant ainsi le risque de détachement. Ce processus d'auto-fixation peut survenir dans les quelques semaines à quelques mois et les méthodes qui favorisent ce processus sont recommandées.

Une méthode peu coûteuse, qui a été utilisée avec succès pour la transplantation de branches sur des substrats rocheux, consiste à insérer ces branches dans des trous naturels des roches ayant environ le même diamètre que la base de la branche. La zone autour du trou est d'abord nettoyée et la branche est insérée. Elle est ensuite fixée avec un mastic époxy sur un côté, laissant l'autre côté de la branche s'appuyer contre le substrat nu, afin de favoriser l'auto-fixation des polypes sur la roche. Cette méthode semble bien fonctionner.



Une colonie d'Acropora un mois après transplantation, montrant une auto-fixation rapide au substrat autour de la base (croissance bleutée)

Les fragments de corail cultivés sont habituellement déjà fixés sur un substrat. Ce substrat peut être de simples épingles en plastique utilisées dans les nurseries en pleine eau, des morceaux de calcaire de 20 x 5cm utilisés en nurseries benthiques ou tout autre matériau. Il est probable que les fragments ou petites colonies provenant des nurseries soient déjà auto-fixés aux substrats sur lesquels ils ont été cultivés. Ainsi, les épingles en plastique peuvent être fixées dans des trous naturels ou faits par l'homme dans le récif, avec utilisation d'époxy si nécessaire. La zone autour du trou doit être récurée et la zone basale du corail doit être encouragée à s'étendre sur le substrat du récif. Quand les fragments ont poussé sur des morceaux de calcaire, ils peuvent être calés sur le récif entre les branches de corail mort et des points de fixation supplémentaires encouragés en posant ces branches contre le substrat.



Tarière pour percer un trou dans la roche d'un corail mou et un mastic époxy en deux parties pour fixer le transplant dans le trou.



Transplant inséré dans une roche avec un côté de la base ancré à l'aide d'un mastic époxy et l'autre côté en contact avec le substrat.

## Check-list de bonnes pratiques

- ✓ Les transplants doivent en général être fixés de façon sûre au récif sur le site qui est restauré.
- ✓ Une variété d'adhésifs époxy, de ciments, fils et serre câbles ont tous été utilisés pour fixer avec succès des transplants sur des zones de récif dégradés.
- ✓ La méthode la plus efficace de fixation dépendra de : (1) la taille et la forme de croissance des transplants, (2) l'exposition de l'habitat aux actions des courants et des vagues et (3) la nature du substrat du récif.
- ✓ Si possible essayer d'éviter d'introduire des matériaux fabriqués par l'homme, ex. clous et agrafes, dans l'environnement récifal.
- ✓ Essayer d'encourager l'auto-fixation des transplants en juxtaposant du tissu vivant corallien au substrat nu. Une fois que les colonies se sont auto-cimentées la possibilité de détachement est grandement réduite.

### 3.5 Quelles espèces choisir ?

Il existe actuellement peu d'informations relatives aux espèces qui sont adéquates ou non pour la transplantation. Pour certaines espèces, les résultats des études effectuées par des chercheurs différents sont apparemment contradictoires, ce qui pourrait être le résultat d'une mauvaise identification, de différences dans ces manipulations ou de différences dans les sites de transplantation. Le manque d'expérimentations contrôlées dans la restauration des récifs explique que peu de recommandations spécifiques peuvent être données. Toutefois, il existe une conduite générale que nous pouvons donner.

La première priorité doit être de trouver quelles espèces seraient susceptibles de survivre sur le site qui est restauré. L'étude des espèces encore survivantes sur le récif dégradé ou sur des sites moins impactés aux alentours, qui soient proches ou similaires (potentiels « écosystèmes de référence »), ou des données historiques sur la zone, peuvent donner une idée de quelles espèces peuvent être appropriées. Par exemple, si uniquement des espèces tolérantes aux sédiments semblent survivre sur un site dégradé, alors il est peu probable que l'introduction d'espèces non tolérantes aux sédiments sera un succès, sauf si la source de sédimentation est réduite ou éliminée. Les espèces candidates à la transplantation sont celles qui persistent sur des sites non dégradés (ou moins dégradés) dans une même configuration environnementale. Elles doivent être transplantées uniquement si tout impact anthropogénique chronique adverse, qui est susceptible de causer leur mort, est pris en compte par des mesures de gestion, autrement il est probable que la transplantation soit futile.

Les espèces branchues, telles que celles des familles des Acroporidae et Pocilloporidae ont tendance à croître rapidement et peuvent être facilement fragmentées (ou des fragments naturels peuvent être facilement trouvés). Ainsi, elles ont été privilégiées pour la transplantation dans la mesure où elles peuvent produire, en un temps relativement court, une augmentation importante du recouvrement en corail vivant. Les inconvénients liés à leur utilisation sont : 1) être plus sensibles à la transplantation que des coraux massifs ou sub-massifs à croissance plus lente, 2) être plus sensibles au réchauffement des eaux associé aux phénomènes El Niño et ainsi plus susceptibles au blanchissement pouvant entraîner une mort massive de ces espèces (si le réchauffement est prolongé) et 3) être plus sensibles aux maladies que certaines autres familles. Ainsi, se reposer uniquement sur ces espèces dans des projets de restauration comporte des risques. Dans l'Indo-Pacifique où ces familles sont prédominantes, elles sont également dans bon nombre d'endroits les premières à recruter et peuvent dominer le

recrutement naturel. Il est ainsi probable que dans les sites où le recrutement n'est pas limité, leurs populations se rétablissent rapidement par elles-mêmes. Par exemple, aux Maldives, on a pu mesurer une croissance des colonies d'*Acropora* tabulaires d'environ 1.3m de diamètre en 7 ans, à partir d'une larve corallienne fixée naturellement sur le récif.

D'autres formes de croissance (massive, sub-massive, foliacée) et des espèces branchues provenant d'autres familles telles que Poritidae et Merulinidae, qui ont tendance à croître plus lentement, ont été moins étudiées en termes de potentiel pour la restauration. Bien qu'il existe des variations considérables entre les genres et même les espèces à l'intérieur de ces familles, il est clair qu'au moins certaines de ces espèces (*Porites lutea*, *P. lobata*, certaines espèces de *Pavona*) sont moins sensibles à la transplantation et aux phénomènes réchauffement et sont ainsi susceptibles de mieux survivre à long terme malgré une croissance plus lente. L'inconvénient pour ces espèces qui croissent plus lentement est que la complexité topographique souhaitée (qui fournit des abris pour les poissons et autres organismes) est réalisée beaucoup plus lentement.

Un compromis judicieux est de transplanter un cortège d'espèces diversifiées et de ne pas mettre tous les œufs dans le même panier en transplantant uniquement des espèces d'Acropores et de Pocillopores. Dans les environnements où ces familles sont dominantes, la question clé est de savoir si leur recrutement est limité. Si ce n'est pas le cas, il est plus judicieux de laisser la nature reprendre ses droits. Si c'est le cas, il est alors probable que ces risques valent d'être pris.

Des recherches sont en cours pour fournir un index de susceptibilité au blanchissement des espèces coralliennes couramment rencontrées sur les récifs ; cela constituera un guide utile lors du choix des individus à transplanter. Même pour une même espèce, certaines colonies exhibant des groupes particuliers de zooxanthelles symbiotiques se sont révélées plus résistantes au blanchissement que des colonies en présentant d'autres. Il serait intéressant de pouvoir identifier ces espèces sur le terrain afin de les sélectionner pour la transplantation ou pour les mettre en culture en nurserie (voir point 3.3.1.) et c'est un domaine de recherche qui reste à explorer.



Vue d'un site de transplantation à Fidji : branches d'*Acropora* récemment transplantées.



Plongeur en apnée positionnant un transplant sur un site dégradé à Fidji.

## Check-list de bonnes pratiques

- ✓ Transplanter uniquement des espèces appropriées à l'environnement récifal qui est restauré. C'est-à-dire des espèces qui survivent sur des sites proches, dans des conditions environnementales très similaires ou identiques (« écosystèmes de référence »).
- ✓ Avant toute action de restauration, assurez-vous que les impacts anthropogéniques chroniques qui auraient pu contribuer à la dégradation, soient d'abord améliorés ou éliminés.
- ✓ Transplanter un mélange d'espèces couramment rencontrées en utilisant des écosystèmes de référence comme guides.
- ✓ Garder en mémoire que même si les espèces branchues à fort taux de croissance peuvent fournir une augmentation rapide de la couverture en corail et de la complexité topographique, elles ont aussi tendance à être plus sensibles au blanchissement, au stress de la transplantation et aux maladies.
- ✓ Pendre en considération que même si les espèces massives et sub-massives présentent des taux de croissance plus faibles, elles ont tendance à mieux survivre aux épisodes de blanchissement et à être moins sensibles au stress de la transplantation et aux maladies.

### 3.6 Taille des transplants

Il a été prouvé que la taille des transplants est importante pour leur survie, avec une meilleure probabilité de survie pour les fragments de grandes tailles. Les travaux effectués sur de très petits transplants suggèrent une amélioration marquée de la survie à partir de 10mm (1cm) de diamètre (voir point 3.3.2), alors que certaines expériences sur des transplants plus grands ont montré une meilleure survie des transplants dont la taille atteint 10cm comparé aux transplants plus petits. Les tailles critiques varient tant avec les espèces qu'en fonction des sites, étant dépendantes de la quantité et du type d'algues (et d'autres organismes en compétition avec les coraux) qui rivalisent pour l'espace, l'abondance et la taille des brouteurs potentiels de corail tels que les perroquets. Si un transplant ne représente simplement qu'une bouchée alors un brouteur peut le détruire très rapidement. En revanche, si sa taille représente plusieurs bouchées alors le transplant pourrait survivre.

S'il y a beaucoup de macroalgues alors un petit corail peut facilement être ombragé et recouvert, alors qu'un plus grand peut être capable de persister.

Nos connaissances sont actuellement trop limitées quant à savoir comment la taille et la survie varient d'une espèce à l'autre, quels sont les compromis entre taille et survie des transplants, s'il y a réellement une taille critique à partir de laquelle la survie s'améliore considérablement, ou s'il y a un continuum d'amélioration de la survie avec la taille. Toutefois, il semble que la transplantation de fragments obtenus asexuellement, d'une taille minimum de 5 à 10cm, auront de meilleures chances de survie et participeront davantage à l'amélioration de la diversité topographique. Etant donné le temps et le travail impliqués dans la transplantation il semble plus judicieux et plus rentable d'utiliser des transplants plus grands et moins vulnérables jusqu'à ce que de meilleures informations soient disponibles.

## Check-list de bonnes pratiques

- ✓ Prendre en considération le fait que les transplants plus grands semblent mieux survivre.
- ✓ Prendre en considération que pour les transplants obtenus asexuellement (fragmentation) une taille minimum d'environ 5 à 10cm peut offrir de meilleures chances de survie.
- ✓ Si vous cultivez des transplants produits sexuellement à partir de larves, il est préférable d'attendre qu'ils aient atteint une taille de 1cm avant de les transplanter sur le récif.

### 3.7 Diversité et densité des transplants

Dans la mesure où le but de la restauration est de restaurer un site à son état avant perturbation, alors l'état de l'« écosystème de référence » (voir point 1.3.1.) devrait fournir des indications pertinentes sur la diversité des espèces présentes et les densités approximatives des espèces principales présentes sur les récifs sains dans des conditions environnementales similaires. Ces informations peuvent être obtenues par des relevés le long de transects

(Line Intercept Transect) ou de Quadrats (voir English et al, 1997) sur les potentielles zones de collecte de transplants coralliens, qui doivent présenter des conditions environnementales comparables à celles du récif à restaurer. Ces informations seront utilisées pour guider la transplantation, ou, au moins, définir les objectifs à atteindre à long terme. Ainsi, on comprend bien qu'il est crucial de déterminer des buts précis et de définir l'état de l'« écosystème de

référence » avant de commencer les travaux de restauration. On a vu qu'il est parfois difficile de définir cet état face aux changements climatiques et au déclin général des récifs coralliens par les impacts humains. Toutefois, les risques à s'engager dans un projet de restauration sans aucun but et sans aucune idée de l'état que vous souhaitez atteindre, sont très importants et offrent peu de chances de réussite. Sans état de référence, vous n'avez aucune idée des espèces à transplanter, des quantités à transplanter, des types de poissons ou de communautés coralliennes, algales, ou autres invertébrés on peut s'attendre à trouver une fois le site restauré. Le simple fait de réfléchir à ce que l'état de l'écosystème de référence pourrait être, permettrait d'éviter des pièges tels que transplanter des coraux de la crête récifale dans un lagon, pour ensuite les regarder mourir.



*Transplants expérimentaux arrangés sur une patate corallienne aux Philippines*

Alors que les densités augmentent, les coûts augmentent aussi très rapidement. La transplantation de coraux espacés d'un mètre nécessiterait environ 10 000 transplants/ha. En revanche, la transplantation de coraux, espacés de 0,5m sur un hectare nécessiterait plus de 40 000 transplants/ha. Divers projets de restauration récifale ont suggéré que la restauration serait accomplie par la transplantation de 2 individus/m<sup>2</sup> sur un récif présentant déjà une couverture corallienne d'environ 20%, à environ 25 individus/m<sup>2</sup> sur des récifs complètement dénudés de coraux. Cette dernière densité a été basée sur une densité existante sur un « écosystème de référence » et le coût impliqué dans cette restauration dépasserait largement 400 000 \$ US/ha. Compte tenu des coûts, un « ratio de plantation » de 10% de la densité cible a été considéré comme faisable. D'autres ont opté pour l'augmentation de la couverture corallienne à une quantité fixée, par exemple, initialement 10% sur un site dégradé à 20% post-transplantation. Définir une densité optimum de transplants reste actuellement très clairement un art plus qu'une science. A ce stade de la discussion, nous insistons à nouveau sur le fait que le but de la restauration est d'aider au rétablissement naturel et non pas de reconstruire un récif morceau par morceau. Le principal est d'aider le récif à adopter une trajectoire positive (Figure 2) vers l'amélioration de sa fonctionnalité. Ainsi la densité des coraux sur un écosystème de référence n'est qu'un guide vers un objectif à long terme et non pas un but de la transplantation. Si les ressources sont limitées il est préférable de bien restaurer une zone

relativement petite, plutôt qu'une zone plus grande pauvrement restaurée.

Néanmoins, l'utilisation de la densité corallienne sur un écosystème de référence comme guide représente une mesure quelque peu simpliste. Certains coraux peuvent être larges de 1cm, d'autres de 1m. Si les distributions de fréquence de taille étaient disponibles à partir des relevés de l'écosystème de référence, alors utiliser la densité des coraux à la taille moyenne des transplants ou supérieure serait une bien meilleure mesure. Que cette mesure soit le but à atteindre immédiatement après transplantation, ou le but ultime après 5 à 10 ans de rétablissement naturel, après une transplantation initiale, fait une différence considérable quant à la densité des transplants utilisés. Une approche alternative est de fixer un objectif, qui soit par exemple que la couverture corallienne du site restauré atteigne 75% de la couverture de l'écosystème de référence après 5 ou 10 ans. Si on connaît la couverture corallienne initiale, la taille des transplants au départ ainsi que leur taux de croissance moyens, on peut alors estimer le nombre de transplants qui serait approprié pour atteindre le but. C'est un domaine où la modélisation peut clairement aider et où elle est particulièrement nécessaire. Il est intéressant de noter qu'une étude récente de modélisation avec des hypothèses relativement simples a suggéré que les bénéfices les plus importants de la restauration sont obtenus si les transplants sont arrangés de manière régulière. Toutefois, des modèles plus sophistiqués avec des paramètres supplémentaires sont nécessaires pour explorer ce sujet plus en détail.

Un certain nombre de contraintes doivent être prises en compte. Le but est d'obtenir une population de corail autonome. Ainsi, les colonies des mêmes espèces auront besoin d'être suffisamment proches les unes des autres pour pouvoir se reproduire avec succès. Grouper les transplants pourrait être plus efficace que d'éparpiller les transplants sur une zone dégradée. En termes de bénéfices pour la complexité topographique, le groupage des transplants peut aussi être plus efficace pour attirer les poissons qu'avec de petits transplants isolés. A l'autre extrême, certaines espèces de corail sont très agressives et peuvent en tuer d'autres si placées trop proches d'elles. Les espèces incompatibles ne doivent pas être placées proches les unes des autres. Comme dans de nombreux domaines de la restauration des récifs, ces questions qui demeurent sans réponses jouent un rôle crucial dans la réussite des projets.

## Check-list de bonnes pratiques

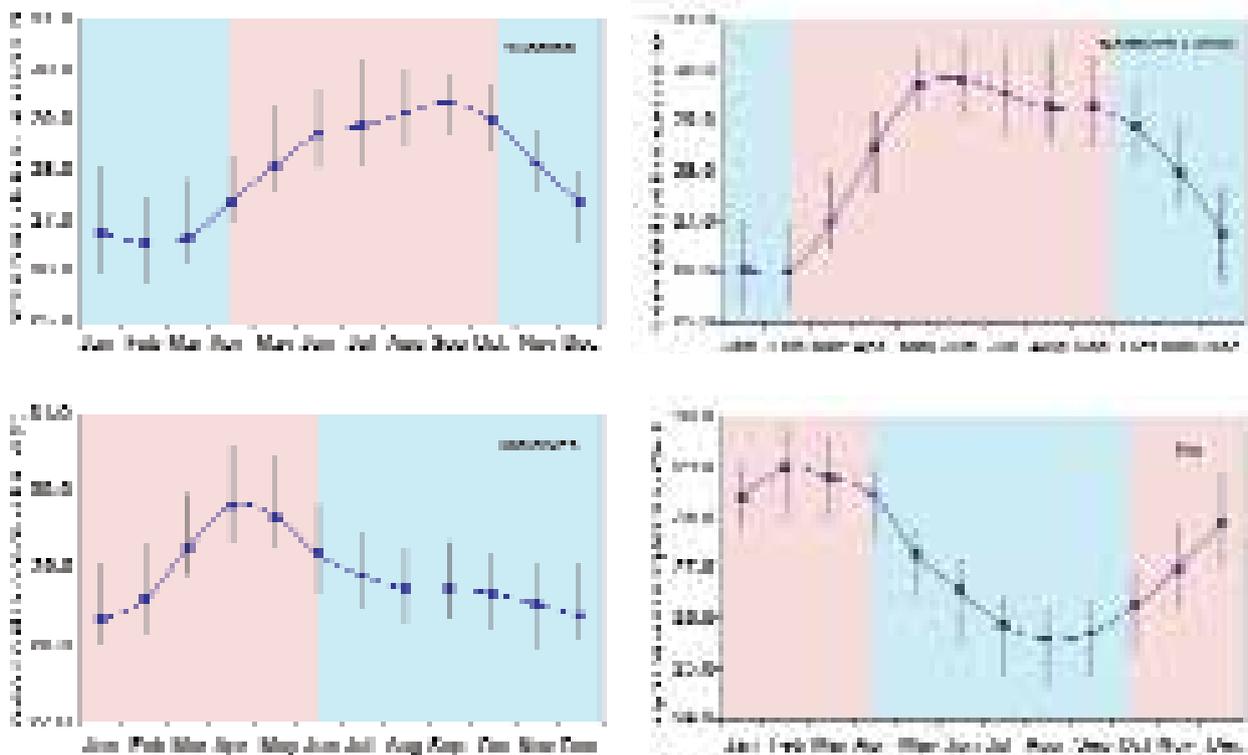
- ✓ Réaliser des relevés sur un « écosystème de référence » (récif sain ou moins dégradé dans des conditions environnementales similaires) pour obtenir des informations sur les espèces à choisir pour la transplantation et fournir des estimations de densité de colonies (au-dessus de 5 à 10 cm), pouvant être considérée comme le but à atteindre.
- ✓ Souvenez-vous que vous n'essayez pas de créer un récif « instantané », mais que vous essayez d'aider à son rétablissement.
- ✓ Compte tenu des contraintes financières, il vaut mieux bien restaurer une petite zone, plutôt que d'essayer d'en restaurer pauvrement une plus grande.

### 3.8 Quand transplanter ?

La transplantation stresse le corail. Souvent les transplants montrent des signes de « blanchissement » pendant un mois ou deux après leur transplantation, avant de regagner leur couleur normale. Si des colonies donneuses sont utilisées comme sources de fragments pour la transplantation, elles seront stressées et les transplants eux-mêmes seront également stressés. La clé pour une transplantation réussie est de minimiser ce stress. Pour cela les transplants doivent être maintenus à des températures aussi proches que possible que celles de l'océan, gardés à l'ombre, exposés à l'air aussi peu que possible, manipulés aussi peu que possible et transportés pendant une durée la plus courte possible. Si les coraux sont maintenus dans des conteneurs clos il faut alors changer l'eau régulièrement. Il est parfois utile d'éviter la transplantation en milieu de journée pendant les journées chaudes et ensoleillées. Toutefois, certains coraux se sont montrés étonnamment résistants (voir étude de cas au chapitre 5). Si le corail commence à produire beaucoup de mucus, c'est un signe clé indiquant qu'il est stressé.

Le point principal de cette section est d'insister sur le fait qu'à cer-

tains moments de l'année les coraux sont déjà naturellement plus stressés et que ces moments de l'année doivent, si possible, être évités pour la transplantation. En général, ils correspondent aux mois les plus chauds, quand le blanchissement a tendance à survenir. C'est aussi pendant ces mêmes mois que les maladies du corail semblent prédominantes. Si la transplantation se fait à ce moment là, il est probable qu'il y ait une mortalité plus élevée des transplants. Examinez les registres de températures annuelles de surface de l'océan sur votre zone et essayez de transplanter au moins quelques mois avant ou après la période des températures maximales annuelles. Le mauvais temps durant ces périodes-là peut aussi être une autre contrainte. Un autre facteur à prendre en compte est l'état reproductif des coraux. Les coraux canalisent une grande quantité d'énergie pour la production d'œufs et de larves et lorsqu'ils sont sur le point de pondre, les coraux semblent être plus sensibles au stress additionnel de la transplantation (soit en tant que donneurs, soit en tant que transplants) que pendant les périodes entre les saisons de ponte. Pour les espèces avec des pontes externes saisonnières, il est sage d'éviter la transplantation aux environs des périodes de ponte.



**Figure 8.** Comparaisons des moyennes des températures de surface de l'océan pour la côte Est du Yucatan à Belize et au Mexique, Northern Luzon (Philippines), aux Maldives et à Fidji, basées sur l'ensemble des données de 1980 à 2005 du UK Met Office Hadley Center's Global sea ice and SST (HadISST1.1). Les barres d'erreurs montrent l'étendue de la moyenne mensuelle sur la période. Les périodes potentiellement défavorables pour la transplantation sont indiquées en rouge pâle. Veuillez noter comment les températures de surface de l'océan à Fidji dans l'hémisphère sud, sont plus ou moins le reflet de celles des Philippines dans l'hémisphère nord et le changement saisonnier relativement faible dans les températures de surface de l'océan aux Maldives dans une région équatoriale, comparé aux autres sites.

Dans quelques régions du monde proches des limites nord et sud de la distribution des récifs coralliens, ou dans des zones avec des remontées d'eaux froides, les coraux peuvent aussi être stressés par le refroidissement hivernal. Il est incertain si les mois les plus froids doivent aussi être évités.

## Check-list de bonnes pratiques

- ✓ Transplanter les coraux quand ils sont susceptibles d'être le moins stressés (c.à.d. quelques mois avant ou après les températures maximales de l'océan ; et pas aux environs des périodes de ponte pour les espèces qui pondent de manière saisonnière).
- ✓ Minimiser l'exposition des transplants de corail à l'air, au soleil et à la chaleur.
- ✓ Si les transplants sont maintenus dans des conteneurs fermés pendant des périodes longues (1 heure ou plus) il faut alors changer l'eau de mer au moins une fois toutes les heures.
- ✓ Minimiser la manipulation des coraux (porter des gants).
- ✓ Attention, quand les transplants commencent à produire beaucoup de mucus, c'est le signe clé qu'ils sont stressés.

### 3.9 Contrôle et entretien

Malheureusement, par manque de contrôle systématique des activités de restauration, souvent nous ne comprenons pas la cause des succès ou des échecs. Est-ce que les échecs étaient liés à des événements externes ou étaient-ils liés à la méthodologie utilisée pour la restauration ? Souvent, nous savons uniquement que des projets de restauration ont été effectués, mais ne savons pas si ils ont fonctionné ou pas. Sans contrôle méticuleux nous apprenons peu des erreurs ou des bonnes pratiques du passé. La restauration ne doit pas être considérée comme un événement unique mais comme un processus continu qui bénéficiera d'une gestion adaptative sur plusieurs années.



*Contrôle d'un site de transplantation à Mayotte. Noter l'étiquette jaune marquant chaque colonie transplantée.*

Si nous voulons tirer des leçons des interventions de restauration, il est primordial de pouvoir comparer les résultats de ce que nous faisons avec ce qui se serait passé de toute façon, si la nature avait suivi son cours sans aucune action de notre part. Ce qui veut dire que nous devons laisser des parcelles de récif endommagées de la même taille que celles que nous essayons de restaurer, et contrôler ce qui se passe sur celles-ci, ainsi que sur celles où une restauration a été effectuée. Ceci pourrait ne pas être approprié pour des dommages relativement peu étendus et aigus tels que ceux causés par les échouages de navire, mais cela devrait toujours être pris en compte dans les projets communautaires où les zones dégradées sont habituellement beaucoup plus grandes que ce qui peut être restauré. Idéalement, les zones soumises aux actions de restauration devraient être entrecoupées de zones sans interventions. Chaque projet de restauration est une expérience et tout ce que nous pouvons en apprendre sera utile pour les projets de restauration futurs. Le suivi des projets donne aussi des informations nécessaires pour réaliser une gestion adaptative du projet.

Le type de suivi entrepris dépendra des buts précis du projet de restauration mais nous pouvons toutefois énumérer quelques conseils généraux.

Plus vous obtenez d'informations, meilleur sera l'apprentissage résultant des projets de restauration et la gestion adaptée. Cependant, vous devez être réaliste, peu de données méticuleusement collectées sont plus utiles qu'un grand nombre de données mal collectées. Les études scientifiques bénéficient souvent de personnels qualifiés qui travaillent à plein temps et des financements importants pour effectuer les suivis. Ce n'est pas le cas des projets communautaires, où les ressources seront plus limitées. Normalement le suivi est axé sur la survie et la croissance des transplants coralliens ou autres organismes transplantés. Dans les études académiques, la croissance et la survie de transplants individuels peuvent être suivies dans le temps mais cela prend beaucoup de temps et c'est souvent difficile à réaliser. Un objectif de contrôle plus réaliste peut être de suivre comment la couverture en corail vivant (exprimée en pourcentage du substrat de la zone du site restauré) évolue dans le temps, ce qui peut être fait au moyen de transects ou de quadrat (English et al., 1997).

De plus, il est intéressant de suivre les changements dans la biodiversité du site de restauration. Les coraux, poissons et autres espèces dominantes ou économiquement importantes et facilement reconnaissables peuvent être prises en compte. L'identification des espèces est parfois difficile (particulièrement pour certains coraux) et quand c'est le cas, les groupes d'espèces, formes de croissance ou groupes fonctionnels peuvent être utilisés. Plus la résolution taxonomique est bonne, plus les résultats seront utiles.

Malheureusement il arrive fréquemment que les personnes effectuant le suivi se trompent sur des espèces similaires ou soient en désaccord quant à leurs identifications. Il est préférable d'avoir des données fiables au niveau du genre ou de la famille plutôt que des données incertaines au niveau des espèces. Les abondances des différents taxons dans les groupes choisis peuvent être contrôlées dans le temps pour voir si le système devient plus diversifié et en particulier s'il devient davantage similaire à l'écosystème récifal sain de référence choisi comme objectif à atteindre (voir le point 1.3.1).

Tout comme les contrôles systématiques tels que ceux mentionnés plus haut, une simple vérification de l'état du site de restauration par un plongeur (en apnée ou plongée sous-marine) toutes les quelques semaines peut être très utile.

En effet, beaucoup de choses peuvent se passer entre deux visites systématiques de contrôle tous les 3, 6 ou 12 mois, y compris la mortalité massive des transplants dues à des perturbations (ex. tempêtes, eaux de ruissellement, prédateurs, blanchissement du corail). Des contrôles brefs sur un site toutes les 2 à 4 semaines devraient permettre de repérer ces événements et d'entreprendre éventuellement des actions correctives.

**Entretien** – Etant donné les coûts et les efforts impliqués dans tout projet de restauration de récif, il est raisonnable de tout tenter pour maximiser la survie des transplants. Des contrôles systématiques peuvent avoir lieu à des intervalles de plusieurs mois, mais il est utile de vérifier l'état des transplants plus fréquemment pour la prédation, le recouvrement par les algues ou leur détachement du substrat, et d'entreprendre, si nécessaire, des actions correctives. Certains échinodermes (ex. l'acanthaster pourpre *Acanthaster planci*), des mollusques gastéropodes (ex. *Coralliophila*, *Drupella*, *Phestilla*) et des poissons se nourrissent de corail vivant et il y a des évidences anecdotiques que des transplants (particulièrement si stressés) peuvent attirer certains autres prédateurs (ex. étoile-coussin *Culcita*). Peu de choses peuvent être faites quant aux brouteurs mobiles (dont beaucoup peuvent, tout compte fait, être bénéfiques parce qu'ils jouent aussi un rôle clé en broutant les

algues et en créant ainsi de la place pour l'établissement des larves d'invertébrés), mais les étoiles de mer et les gastéropodes prédateurs, plus lents à se déplacer, peuvent être enlevés des environs des transplants et déposés loin des sites de restauration. Cette gestion routinière peut s'étendre à l'enlèvement des algues (ex. avec une brosse métallique) qui sont une menace pour la survie des transplants et pour le ré-attachement de tout transplant détaché. S'il y a une croissance excessive d'algues, d'autres mesures de gestion devront être considérées aussi. S'il y a une explosion d'*Acanthaster planci* alors des mesures drastiques peuvent être nécessaires.



*Acanthaster planci* se nourrissant sur *Acropora*



Prédation par le nudibranche *Phestilla* sur un *Porites rus*. Noter les masses d'œufs déposées par la limace de mer.



L'escargot prédateur *Coralliophila* sur une colonie de *Porites*



Cicatrice de broutage laissée par *Coralliophila*



Etoile-coussin *Culcita* qui se nourrit de corail



La zone buccale de *Culcita*

## Check-list de bonnes pratiques



Considérer la restauration non pas comme un évènement unique mais comme un processus continu sur une période de plusieurs années qui aura probablement besoin d'une gestion adaptative.



Le suivi des projets de restauration est essentiel si nous voulons apprendre des erreurs et des bonnes pratiques du passé, sans lesquelles on ne peut pas évaluer le succès ni la rentabilité de la restauration, ni procéder à une gestion adaptative si nécessaire.



Il est recommandé d'établir et de suivre quelques zones « contrôle » comparables, où aucune restauration active n'a été entreprise. Elles fournissent une base à partir de laquelle on peut évaluer la rentabilité des interventions de restauration.



Soyez réaliste quant au contenu et au nombre de suivis à réaliser sur le site de restauration : il vaut mieux peu de données méticuleusement et régulièrement collectées qu'une grande quantité de données mal et irrégulièrement collectées.



Des visites de maintenance routinières du site de restauration sont recommandées. Il est probable qu'elles soient rentables étant donné le coût de la restauration active et peuvent éviter la perte massive de transplants par des prédateurs.

## 4. Que coûte la restauration des récifs ?

Il est difficile de trouver des informations sur les coûts véritables de la restauration. Dans les rares cas où des informations sont disponibles, elles détaillent en général les coûts de la réalisation des activités de restauration plutôt que les coûts pour atteindre les buts de la restauration. Effectuer une restauration active, telle que la transplantation d'un nombre X de coraux sur un récif n'est pas la même chose que restaurer avec succès une zone de récif. Les résultats de la restauration active sont souvent incertains dans la mesure où le suivi n'est généralement pas réalisé pendant une durée suffisante, sinon pas du tout. Connaître les coûts relatifs des différentes approches de restauration utilisées dans différents projets est utile mais il est souvent difficile de comparer ces coûts. De plus, les coûts doivent être évalués dans le contexte des bénéfices générés par la restauration. Pour la restauration biologique active, les bénéfices sont vraisemblablement les améliorations obtenues dans les indicateurs cibles comparé à ce qui se serait passé si le rétablissement naturel n'avait pas été aidé. Ainsi nous incluons la recommandation du point 1.3.1., indiquant que si possible des sites " contrôle " doivent être établis, là où aucune restauration active n'est effectuée.

Pour l'activité de restauration active la plus fréquente, c.-à.-d. restaurer un récif par le biais de la transplantation, le critère d'évaluation de rentabilité qui peut être facilement comparé entre différents projets et différentes méthodologies est le coût impliqué par colonie corallienne qui survit jusqu'à maturité. Les entrées peuvent inclure les consommables, les équipements et la main d'œuvre ;

certaines coûts peuvent se rapporter à des dépenses d'installation alors que d'autres peuvent être des frais courants et frais de gestion, qui sont proportionnels aux débits. En théorie les divers composants de coût pourraient être réduits en valeurs \$ puis ajustés pour la parité de puissance d'achat entre des pays différents. Elaborer une façon standard d'évaluer la rentabilité des projets est clairement une priorité si des méthodes à bas coûts doivent être promues et disséminées.

Cela dit, nous pouvons fournir quelques conseils sur les coûts probables des activités de restauration. Elles peuvent être divisées entre les projets impliquant de la restauration physique et les projets de restauration biologique pure. Des données sont disponibles sur les coûts impliqués dans des projets de restauration suite à l'échouage de navires dans les Caraïbes, où la restauration physique des sites a été effectuée. Les budgets alloués à ces opérations se sont élevés de 2 à 6,5 millions de \$ US/ha. En Tanzanie, à Fidji et aux Philippines, des projets de restauration biologique active utilisant des méthodes peu coûteuses, ont impliqué des coûts allant de 2 000 à 13 000 \$ US/ha, alors qu'une étude en Australie a montré que la transplantation de coraux pour augmenter de 10% de la densité corallienne coûterait au moins 40 000 \$ US/ha. Les deux estimations de coûts les plus basses sont liées à des projets communautaires. Le premier impliquait la transplantation de 2 coraux/m<sup>2</sup> sur les récifs qui présentait déjà environ 20% de couverture corallienne (2 000 \$ US/ha) et le second impliquait une augmentation de la couverture corallienne de 10% à 20% (4 590 \$ US/ha).

Ce sont de premières étapes utiles qui présentent des estimations optimistes du coût réel de la restauration des récifs. En ce qui concerne les autres projets, les coûts estimés commencent à 13 000 \$ US/ha. Ces estimations peuvent être comparées aux estimations moyennes globales de la valeur totale des biens et services des récifs, qui est de 6 075 \$ US/ha et par an, et aux potentiels bénéfices économiques pour les récifs aux Philippines qui sont de 320 à 1 130 \$ US/ha et par an.

Pour des projets communautaires de restauration à petite échelle, cela suggère qu'il faille au moins plusieurs années de flux de revenus issus des zones récifales restaurées pour couvrir les coûts de la restauration. Toute amélioration dans la rentabilité des techniques de restauration biologique peut faire une grande différence. La même chose s'applique pour la restauration physique.

La comparaison avec les coûts estimés pour la restauration d'autres écosystèmes tels que les herbiers, les mangroves, les marais-salants, les dunes de sable et les lagons, sont quelque peu rassurantes. Les coûts impliqués dans la restauration récifale ont tendance à être plus élevés sur des projets peu coûteux mais pas de manière significative. C'est uniquement dans le cas de projets de restauration physique (ex. échouages de navires) que les coûts sont excessivement plus élevés que toutes les estimations onéreuses pour d'autres écosystèmes côtiers.

Ainsi, on comprendra mieux pourquoi il est urgent de concentrer les recherches actuelles sur le développement de méthodes de restauration peu chères, afin d'aider au rétablissement de larges zones récifales (de l'ordre du km<sup>2</sup>). Il serait également intéressant de déterminer si la restauration de petites portions de récif suffirait à faire démarrer le rétablissement de la totalité du récif. Si de petites parcelles sont activement restaurées, est-ce que les bénéfices se feront sentir sur les zones alentours ?

Comment l'amélioration de la gestion de concert avec la restauration active à petite échelle, peut générer des bénéfices à plus grande échelle ? Nous n'avons actuellement que peu de réponses à ces questions (et à beaucoup d'autres encore). Pour s'attaquer au problème de l'énorme décalage d'échelle entre ce que la restauration peut apporter et le rythme de dégradation des récifs, ces manques dans nos connaissances doivent être comblés urgemment. Une combinaison d'études des processus écologiques locaux, de la connectivité à grande échelle, des processus océanographiques et de la modélisation offre une voie à suivre.



Magnifique récif dans les îles Similan en Thaïlande

## Messages



La restauration de sites d'échouage, qui nécessite une restauration physique des récifs dégradés, présente des coûts de l'ordre de 2 à 6,5 millions de \$ US/ha.



La transplantation à bas coût semble être de l'ordre de 2 000 à 13 000 \$ US/ha. Avec des objectifs plus ambitieux ces coûts atteignent environ 40 000 \$ US/ha.



Une estimation globale grossière de la valeur moyenne annuelle des biens et services provenant des récifs coralliens est 6 075 \$ US/ha.



Les potentiels bénéfices économiques annuels pour les récifs aux Philippines sont estimés de 320 à 1 130 \$ US/ha.



La comparaison des bénéfices et des coûts de la restauration récifale en utilisant les méthodes courantes suggère que l'argument économique pour la restauration active n'est pas clairement justifié. L'amélioration de la rentabilité des méthodes pour la restauration est essentielle si la restauration doit être appliquée sur de plus larges zones.

## 5 : Etudes de cas

Dans le chapitre suivant Sandrine Job présente 5 études de cas, dont un issu du programme " Coral Reef Initiative for the South Pacific " (CRISP). La localisation des projets s'étend de l'ouest de l'océan Indien jusqu'à la Polynésie Française. Ce chapitre illustre certaines des questions abordées dans les chapitres précédents. Deux des projets impliquent la transplantation de corail comme mesure compensatoire à des projets de développement portuaire, où des zones récifales étaient menacées par des travaux de remblaiement ; deux autres ont pour but d'augmenter la couverture corallienne en tant qu'habitat, des portions de récif dont le rétablissement avait échoué suite à des perturbations naturelles (cyclone et blanchissement massif respectivement) et probablement aggravées par des impacts anthropogéniques ; et un projet vise à réduire l'érosion du littoral et à restaurer un site d'extraction de sable proche d'un complexe touristique. Pour chaque étude de cas, le lieu, l'objectif, les méthodes utilisées sont brièvement évoqués et les leçons tirées des résultats sont présentées, telles que perçues par les personnes impliquées dans ces projets. De plus, des informations sur les ressources (personnels, équipements, etc.) nécessaires à chaque projet sont résumées et les budgets réels sont présentés quand disponibles. Les coûts de main d'œuvre varient beaucoup d'un endroit à l'autre, en conséquence les chiffres relatifs à la main d'œuvre et aux durées des travaux sur le terrain sont détaillés de sorte que le nombre de personne par jour nécessaire pour effectuer les diverses tâches puisse être facilement calculé ultérieurement. Sur la base des informations et conseils donnés dans les chapitres précédents, nous vous encourageons à examiner les façons par lesquelles ces projets auraient pu être améliorés. Quelques commentaires (entre crochets) ont été ajoutés pour lier certaines des leçons tirées aux parties correspondantes de ce Guide. Un élément clé émanant de ces projets a été de reconnaître le besoin d'effectuer un suivi, avec des durées variables de 6 mois à 5 ans selon les différents projets.

Sans ce contrôle, aucune leçon n'aurait pu être tirée. Dans la plupart de ces études de cas, la survie initiale des transplants a été bonne, mais pour quelques uns, une forte mortalité est survenue après environ un an, accentuant le besoin d'effectuer un suivi pendant au minimum une année et de préférence pour une durée qui correspond au rétablissement probable (c.-à.-d. au moins 5 ans). Dans la plupart des études de cas, il y a eu une sélection méticuleuse des sites de transplantation, pour s'assurer qu'ils soient aussi similaires que possible à ceux des sites sources quant à leurs conditions environnementales. Lorsque ce précepte n'a pas été bien suivi, la mortalité élevée des transplants est survenue. D'autres points importants à considérer sont : 1) le contexte plus large de gestion des zones côtières et de planification dans lequel le projet a été établi ; 2) la focalisation des opérations de suivi sur la survie et la croissance des transplants coralliens ; 3) le besoin d'établir des objectifs de restauration plus clairs et plus détaillés et 4) le besoin d'établir des critères de réussite, à priori liés à la survie et croissance, sans lesquels l'évolution du site vers son rétablissement ne peut être objectivement évalué [voir point 1.3.1].

*Pour plus de détails sur ces études de cas contacter :*

*Sandrine Job ou Michel Porcher  
c/o CRISP Coordinating Unit  
Secrétariat de la Communauté du Pacifique  
BP D5  
98848 Nouméa Cedex  
Nouvelle Calédonie  
Tél : +687 26 54 71  
Fax : +68726 38 18*



Vue d'un " jardin corallien " à Bora Bora avec des transplants sur des récifs artificiels en eau peu profonde.  
Réalisation Carex Environnement et EPHE

# Etude de cas 1 : restauration d'un récif endommagé par des opérations d'extraction de sable et création d'un jardin corallien - Polynésie française.

## Lieu

Pointe Matira - Bora Bora - Polynésie française  
(Juillet 1996 - Juin 2000)

## Objectif

Suite à des opérations de dragage pour extraire du sable corallien pour des travaux de construction (création de souilles), le transit sédimentaire autour de la Pointe Matira a été altéré, conduisant à une forte érosion du littoral. Dans le but de stopper l'érosion côtière, une stratégie en deux étapes a été employée, utilisant des techniques de restauration physique et biologique.



## Méthodes

### Restauration physique :

- Les souilles d'extraction créées par les opérations de dragage ont été comblées avec 10 000m<sup>3</sup> de sable provenant de la pente interne du lagon, pour permettre le transit de sédiments au littoral.
- 3 épis de 20m de long ont été installés et les plages situées entre les épis ont été ré-ensablées. De plus, le littoral a été remodelé et de la végétation replantée.
- 125 structures artificielles en béton (pesant entre 1,6 et 17 tonnes) ont été déployées sur le platier récifal sableux peu profond autour de la Pointe Matira pour servir de brise-lames pour protéger la côte des houles lagonaires.

### Restauration biologique :

- Un jardin corallien de 7200m<sup>2</sup> a été créé en transplantant 311 colonies de corail sur 11 structures artificielles et 200 colonies de grandes tailles branchues (*Acropora*) et massives (*Porites*) ont été posées sur les fonds sableux environnants.
- Collecte du corail : les sites donneurs ont été sélectionnés sur les critères suivants : (a) ils possédaient des caractéristiques similaires à celles du site de transplantation en termes de profondeur, courants, exposition aux vagues et diversité de corail, (b) proximité et (c) accessibilité. Les 311 colonies coralliennes ont été collectées à partir d'un mélange d'espèces et de formes de croissance différentes pour recréer l'esthétique d'un récif naturel.
- Les coraux ont été transportés immergés dans des bacs d'eau de mer.

- Les transplants ont été attachés aux structures artificielles en utilisant une colle époxy et du ciment à prise rapide.

Des **suivis** ont été effectués à 1, 3, 6, 9, 13, 28 et 32 mois après transplantation. Les contrôles comprenaient :

- Les taux de survie et de croissance des transplants coralliens.
- L'évaluation de l'état de santé (observation de nécroses sur les tissus vivants, blanchissement, prédation sur les coraux transplantés, etc.).
- La colonisation naturelle des structures artificielles par les poissons, algues, recrues coralliennes et macro-invertébrés.



Transplants sur des récifs artificiels en eau peu profonde du "jardin corallien" de Bora Bora.

## Leçons tirées

- Le taux global de survie des transplants après un an était de 95%, suggérant que la sélection des sites donneurs, sur la base de leur similitude avec le site de transplantation était judicieuse.

- Le taux de mortalité des colonies sub-massives *Porites rus* était élevé, résultant principalement de leur étouffement par le sable. Les colonies auraient dû être placées plus haut par rapport au fond sableux pour réduire leur exposition aux sédiments remis en suspension.

- L'esthétique et la fonctionnalité ont été soigneusement prises en compte lors de la construction des structures artificielles, en vue de créer un récif aussi naturel que possible. L'attention a été portée sur la forme, la texture (rendue grossière en incorporant des débris de coraux et du sable comme agrégats dans le béton) et la couleur (du colorant a été ajouté au ciment pour obtenir un substrat de couleur similaire à celle des récifs coralliens). Les abris fournis par les récifs est une fonction critique des récifs, ainsi les structures artificielles possédaient des trous, fissures et espaces vides pour servir de refuges aux poissons et aux invertébrés. L'abondance de poissons et la diversité étaient nettement plus élevées après un an, avec 30 à 50% des poissons étant des juvéniles.

- L'utilisation de ciment à prise rapide et de colle époxy pour attacher les transplants a été une grande réussite, aucun transplant ne s'est détaché pendant la première année. L'auto-fixation des colonies à leurs

bases via l'expansion de tissu sur le substrat a été générale, offrant des fixations sûres à long terme et suggérant des effets néfastes limités, ou à court terme uniquement, du ciment ou de l'époxy sur les tissus coralliens.

- Dû au manque de sensibilisation, il y eut des destructions (2%) localisées de transplants coralliens par la circulation de bateaux sur le site du jardin (barges servant à ré-ensabler les souilles d'extraction autour de la Pointe Matira). Pour éviter ces problèmes, il est recommandé que les projets de restauration soient élaborés en association avec des initiatives de sensibilisation auprès des utilisateurs potentiels des zones.

- Malheureusement, une mortalité corallienne massive a été enregistrée à cause d'un événement de blanchissement survenu en janvier 2002, qui a affecté tant les coraux transplantés que les coraux naturels du platier récifal avoisinant, alors que les coraux de la pente du récif externe ont bien survécu. Le risque d'une telle mortalité, particulièrement lors de transplantations en eau peu profonde où les échanges d'eaux sont limités, doit être pris en considération dans la planification des projets, en particulier lors de la sélection des sites de transplantation et des espèces à transplanter.

- Au cours de la restauration physique des souilles d'extraction, de grandes quantités de sable ont été déposées dans la zone du jardin corallien par inadvertance, qui ont ensuite dû être enlevées pour éviter l'étouffement et la mort des transplants. Les activités de restauration biologique et physique doivent être soigneusement planifiées afin d'éviter ces impacts.

## Contracteur :

Agence Française de Développement (AFD), Gouvernement de la Polynésie française et le Programme National de Recherche " Recréer la nature ".

## Coûts et efforts nécessaires

### Restauration physique

Activité	# de jours	# de personne	Budget (\$US)
Construction des épis	6	4	12,000
Remblayage des souilles d'extraction et ré-ensablement de la plage	75	?	445,000
Activités liées au reprofilage du littoral et végétalisation des berges	180	?	734,000
Construction et déploiement des structures artificielles servant de brise-lames	200	?	410,000
Total pour la restauration physique			<b>1,601,000</b>

? = nombre inconnu de personnes employées par des sous-traitants externes pour effectuer les tâches liées à la restauration physique.

### Restauration biologique

Activité	# de jours	# de personne	Budget (\$US)
Collecte du corail provenant des souilles et transplantation sur les structures artificielles.	19	3	40,000
Collecte et transport de 200 grandes colonies massives	40	6	90,000
Création du " Jardin corallien " de 720m <sup>2</sup> , incluant la mise en place des 11 structures artificielles.	30	6	140,000
Suivi du jardin corallien (pendant 1 an)	21	3	80,000
Total pour la restauration biologique			<b>350,000</b>

**Ressources nécessaires pour la création des 7 200 m<sup>2</sup> du jardin corallien avec 11 structures artificielles et > 500 colonies transplantées :** équipe de 3 à 6 personnes : 2 biologistes marins + 1 pilote de bateau + 3 assistants de terrain (pour une partie du travail) ; 1 bateau ; équipements de plongée ; \$US 350 000 soit environ 50 \$US/m<sup>2</sup>.

## Référence :

Salvat, B., Chancerelle, Y., Morancy, R., Porcher, M. et Aubanel, A. (2002). *Restauration d'une zone corallienne dégradée et implantation d'un jardin corallien*. Rev. Ecol. Supp. 9 : 81-96



# Etude de cas 3 : transplantation de coraux du port de Longoni - Mayotte

## Lieu

Mayotte, Océan Indien (Avril 2004 - Avril 2006).

## Objectif

Ce projet correspond à une mesure compensatoire visant à atténuer la dégradation causée par le remblaiement d'une partie du récif frangeant pour agrandir le port principal de Mayotte. Les objectifs étaient : (1) le sauvetage de 600 colonies coralliennes menacées par les travaux et (2) une expérience scientifique pilote sur la transplantation de corail dans le lagon de Mayotte.



## Méthodes

- Sélection de 3 sites de transplantation :
  - Un récif frangeant avec des conditions environnementales très similaires à celles du site menacé (Longoni Balise).
  - Un récif frangeant plus ouvert sur le lagon (Vaucluse).
  - Un site récifal proche d'une passe et du récif externe (Surprise).
- 600 colonies ont été sélectionnées à partir d'une variété de genres et formes de croissance qui étaient représentatifs de la communauté menacée du récif frangeant du port de Longoni.
- Les coraux de petite et moyenne taille ont été transportés dans de grands conteneurs en plastique remplis d'eau de mer sur le bateau ; les colonies de taille plus importante ont été placées dans des cages submergées et tractées par un autre bateau. Les temps de transport jusqu'aux sites de transplantation variaient de 30 minutes à 2 heures.
- Les transplants ont été attachés avec du ciment ordinaire aux roches

coralliennes naturelles ou sur des plaques de béton (50cm x 50cm x 10cm).

- Les transplants ont été marqués avec des étiquettes en plastique épais, soit clouées à la roche naturelle soit fixées sur la colonie elle-même.
- Des suivis ont été effectués 1 mois après la transplantation et ensuite tous les 3 mois pendant 1 an. Les contrôles comprenaient :
  - Les taux de survie.
  - Les taux de croissance (mesures du plus petit et du plus grand diamètre pour déterminer la surface de chaque colonie).
  - La quantité de mortalité partielle (% de la surface morte ou nécrosée sur la totalité de la colonie).
  - La colonisation du site de transplantation par les poissons et les invertébrés (évaluée en utilisant 3 réplicats de transects en bande (Belt Transect) par site, de 50m x 4m et 20m x 2m respectivement).



Transport des transplants de taille petite à moyenne submergés dans de l'eau de mer dans de grands conteneurs en plastique.



Transport des transplants de grande taille dans des cages submergées, tractées par un bateau.

## Leçons tirées

- Dans l'ensemble, l'opération a été un succès avec un taux de survie global de 80% après 1 an, ce qui sous-entend que la méthodologie de collecte, transport et fixation des transplants était appropriée.
- Le choix des sites de transplantation était important : le site avec les conditions environnementales les plus similaires à celles du site menacé a présenté le plus fort taux de survie. Les taux de survie étaient de 90%, 65% et 80% respectivement sur le récif frangeant (le plus similaire), le récif frangeant lagunaire et le récif situé à proximité de la passe.
- Il est utile de suivre l'évolution de la mortalité partielle, qui permet d'appréhender le comportement des colonies transplantées au fil de l'expérimentation, à savoir si l'état de santé des transplants décline ou s'améliore avec le temps.
- Plus de la moitié des colonies transplantées ont montré des nécroses partielles de tissu un mois après leur transplantation, mais cela n'a pas augmenté par la suite. Cela suggère un stress initial au cours du premier mois, qui peut être lié à l'adaptation au nouvel environnement et/ou au stress de la manipulation de transplantation. Il est donc essentiel de minimiser le stress au cours de la transplantation.
- Le ciment normal a été raisonnablement efficace pour fixer les colonies. Même dans un environnement avec des courants assez forts (courants de marée), moins de 5% des colonies transplantées se sont détachées.

- Les plaques de béton posées sur du sable sur lesquelles certains coraux ont été fixés ont été un échec : pratiquement tous les transplants sont morts étouffés par le sable. Dans les environnements sableux, il est essentiel que les transplants soient placés bien au dessus du transit sédimentaire.

- Quelques colonies étaient placées trop proches les unes des autres et sont entrées en compétition. Les transplants doivent être suffisamment espacés pour éviter la concurrence pour l'espace, qui peut parfois être très agressive.

- Bien que les taux de croissance des colonies branchues aient été significativement plus élevés que ceux des formes massives, ces dernières semblaient plus résistantes au stress et se sont régénérées plus rapidement des nécroses tissulaires ou de la mortalité partielle.

- Bien que l'étiquetage des colonies ait été utile pour le suivi, cela a pris beaucoup de temps, nécessitant 6 personnes/heure pour étiqueter 100 colonies. Les étiquettes en plastique ont besoin d'être vérifiées régulièrement et remplacées environ tous les 6 mois. Les clous en acier inoxydable ont été efficaces pour fixer les étiquettes au substrat.

- Environ 5% des transplants ont été endommagés par les ancres des pêcheurs, les filets ou les jets de pierres (à Mayotte une technique traditionnelle de pêche consiste à jeter des pierres dans l'eau pour assommer les poissons). Pour améliorer le taux de survie, il est recommandé d'effectuer la transplantation dans des zones marines protégées où l'impact humain peut être mieux contrôlé.

## Contracteur :

Direction de l'Équipement de Mayotte

## Ressources nécessaires pour transplanter 600 colonies:

Une équipe de 3 plongeurs (biologistes marins) + 1 pilote de bateau + 1 assistant de terrain (préparant le ciment en surface et aidant à la logistique) ; 2 bateaux (un hors-bord pour transporter l'équipe et les coraux de taille petite à moyenne ; un bateau plus lent pour tracter les cages submergées chargées des colonies de corail de plus grande taille) ; équipements de plongée ; une période de travail sur le terrain de 25 jours (sélection du site, collecte du corail, transplantation et contrôle initial) ; coûts des salaires : 60 000 \$ US (y compris 20 000 \$ pour le consultant externe) ; les matériels, le transport et les frais de subsistance pour le travail de transplantation : 25 000 \$ ; coûts pour une année de suivi (y compris le salaire du consultant externe qui a effectué les relevés) : 12 000 \$.

## Références :

Morancy, R., Job, S. et Thomassin, B. (2005) *Transplantation des coraux du port de Longoni et suivi de l'opération*. Rapport technique. Carex Environnement - GINGER



Un transplant de *Seriatopora* étiqueté avec une étiquette en plastique cloué au récif



Étouffement des transplants situés sur les plaques de béton utilisées pour fournir un substrat stable pour la fixation de corail.

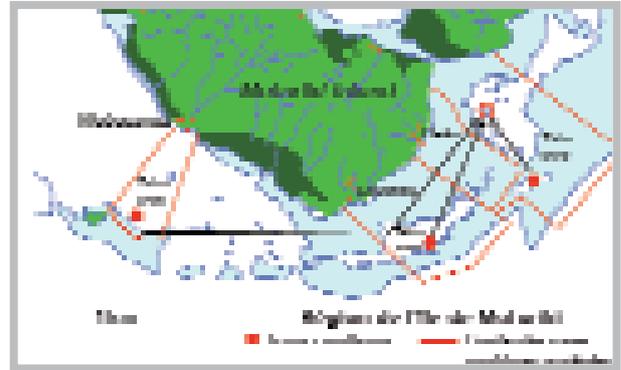
# Etude de cas 4 : restauration d'un récif dégradé par des évènements de blanchissement - Fidji

## Lieu

Ile de Moturiki - Fidji (Août 2005 - Mai 2006)

## Objectif

Ce projet était un projet communautaire utilisant des techniques simples, peu onéreuses. Le but était de restaurer une portion de récif dégradé par des évènements de blanchissement en 2000 et 2002. Le but spécifique de ce travail était l'amélioration des ressources de la pêche, davantage lié à la sécurité alimentaire et à la prospérité de la communauté qu'à une logique déterminée par la biodiversité.



## Méthodes

- Les coraux ont été recherchés *inter alia* : parmi les colonies menacées d'étouffement par le sable (colonies ou fragments détachés et tombés sur le sable), celles très proches de la surface de l'eau, celles montrant des dégradations causés par les coups de becs des poissons (perroquets, balistes), des fragments provenant de colonies cassées par des ancrs, des filets, etc., ainsi que des coraux d'élevage. En effet, 4 fermes coralliennes ont été établies dans les eaux de Moturiki, elles sont la propriété des communautés locales et sont maintenues par elles.

- Les transplants ont été transportés dans le fond d'un bateau, exposés à l'air mais arrosés en permanence d'eau de mer pendant le transfert. La durée du transport était d'environ 30 minutes.

- Les transplants ont été attachés en utilisant 3 méthodes différentes :

(1) " Méthode par insertion " : insertion de fragments coralliens dans de petites crevasses et trous du substrat dur des roches et de la dalle en faisant attention de trouver la bonne taille de trou pour chaque fragment, pour s'assurer qu'il soit fermement maintenu en place et ainsi attaché plus rapidement par extension de tissu sur le substrat.

(2) " Méthode par positionnement " : les plus grandes colonies ont été placées directement sur les débris ou sur des parcelles de sable (le site était abrité avec peu de mouvement des eaux) et stabilisées par la suite par des roches placées à leur base. Les roches ont été trouvées dans les environs immédiats.

(3) " Méthode par cimentage " : les coraux d'élevage ont été attachés aux roches et blocs de corail mort en utilisant du ciment ordinaire.

- Trois parcelles du récif, couvrant une superficie totale de 2 150 m<sup>2</sup>, ont été restaurées, et 3 parcelles de récif de taille similaire ont été laissées intactes et ont servi de contrôle. Ces 6 zones ont été suivies.

- Les suivis ont été effectués à 1, 3, 6 et 9 mois après la transplantation (les contrôles planifiés à 12, 15 et 18 mois ont été abandonnés suite à la mortalité massive des transplants après un épisode de blanchissement). Les suivis comprenaient :

- Le taux de survie des transplants.

- L'évaluation du recouvrement corallien (% de recouvrement/surface totale) en utilisant la technique du *Line Intercept Transect* (5 transects de 20 à 25m par parcelle).

- L'évaluation des populations de poissons, organismes benthiques et macro-invertébrés en utilisant respectivement les méthodes du *Visual Census* et *Belt Transect*.



Transport de grands coraux branchus vers le site de transplantation - Fidji. Les coraux sont arrosés avec de l'eau de mer à l'aide d'un seau.



Ferme corallienne à Moturiki - Fidji

## Leçons tirées

**Méthode de transport** : malgré les conditions relativement difficiles dans lesquelles les coraux ont été transportés, enchevêtrés et empilés les uns sur les autres, exposés à l'air pendant 30 à 60 minutes, plus de 95% des transplants survivaient bien à 6 mois, avec les espèces branchues montrant des signes de croissance. Quand le temps et les budgets sont limités ces méthodes simples peuvent réussir. [Voir aussi Harriot et Fisk (1995)]. Toutefois, comme recommandé dans le point 3.8, il est conseillé de minimiser le stress et, quand cela est possible, d'ombrager les coraux de la lumière directe et de les immerger dans de l'eau de mer pendant le transport.

## Méthodes de plantation du corail

### Méthode par insertion

- Cette méthode a été la plus simple et la plus rapide des méthodes testées. La méthode semble appropriée pour restaurer des zones de récifs dominés par des colonies mortes et roches dans lesquelles des branches de corail peuvent être insérées. Toutefois la méthode est restreinte à la fixation de fragments branchus.

- Il est important de choisir des trous de taille appropriée pour insérer les fragments et de s'assurer que le tissu vivant est en contact direct avec le substrat pour maximiser l'auto-fixation ultérieure. Si les trous disponibles sont trop grands, les fragments peuvent être calés à l'aide d'un morceau de débris de corail. 60% d'auto-fixation a été enregistrée 6 mois après la transplantation.

- Sur la base de l'étude de cas 3, la concurrence potentielle entre les colonies a été prise en compte, ainsi les transplants ont été espacés d'au-moins 50cm.

### Méthode par positionnement

- Cette méthode est uniquement appropriée pour les environnements où les mouvements d'eau sont limités [voir point 3.4], et pour lesquels le poids du transplant est suffisant pour le maintenir stable jusqu'à ce qu'il s'auto-fixe (expansion de tissu sur une roche avoisinante) ou jusqu'à ce que sa base se fixe dans le sable ou dans les débris.

- Si possible, les transplants doivent être positionnés derrière de gros rochers et dans des dépressions où ils seront abrités des courants et de l'action des vagues jusqu'à ce qu'ils s'auto-fixent. Toutefois, l'auto-fixation a pris plus de temps que pour la méthode précédente avec seulement 35% de transplants fermement attachés après 6 mois. [Cette méthode véhicule le risque le plus élevé pour la survie des transplants

et si elle est tentée le risque doit être soigneusement pris en compte].

- Il a été remarqué que des roches de 30 à 40cm coincées autour de la base des colonies transplantées étaient efficaces pour leur offrir quelque chose sur quoi s'attacher, de plus cela augmente leur poids global et leur stabilité et fournit une assurance supplémentaire contre les tempêtes éventuelles.

### Méthode de cimentage

- Cette méthode est particulièrement efficace pour les coraux qui ne peuvent être insérés facilement dans les trous et qui sont trop petits et trop légers pour être placés directement sur les substrats sans attachement. Les coraux qui ont été utilisés pour tester cette méthode sont les colonies "arrondies" de taille petite à moyenne, les colonies massives et les coraux d'élevage. 95% des transplants ont montré une auto-fixation par expansion de tissu sur le ciment dans les 6 mois.

- Le ciment doit être soigneusement contenu dans des sacs en plastique et limité à la zone d'attachement. Il faut faire particulièrement attention à ne pas endommager les organismes vivants adjacents (autres coraux, éponges, mollusques, oursins, etc.).

### Episode de blanchissement

Dû à un épisode de blanchissement anormal survenu 9 mois après la transplantation, deux tiers des transplants sont morts et un tiers était partiellement blanchi. Les communautés naturelles des récifs alentours ont également soufferts mais nettement moins. Nous pouvons en tirer quelques leçons :

- Les sites donneurs et les sites de transplantation doivent être aussi similaires que possible en termes de conditions environnementales (vagues, courants, profondeur, température, lumière et régimes des perturbations). Dans le cas présent, les coraux provenaient d'une zone de lagon proche de la barrière externe et ont été transplantés dans une zone lagunaire proche de la côte. Bien que survivant bien initialement, il semble que les transplants aient été encore soumis au stress de leur transplantation 9 mois plus tard, face à l'augmentation de la température des eaux, les transplants n'ont pas pu résister. Les transplants doivent être adaptés aux conditions environnementales qui prévalent sur le site de restauration [voir les check-lists de bonnes pratiques des points 3.2 et 3.5].

- Le suivi doit être entrepris pendant au moins une année pour prendre en compte les changements saisonniers dans l'environnement sur le site de transplantation. La question critique est de savoir si les transplants survivront les pires conditions pendant cette année.

## Contracteur :

Agence Française pour le Développement (AFD). Projet réalisé dans le cadre du CRISP (Coral Reef Initiative for the South Pacific).

Ressources nécessaires pour restaurer environ 2 000 m<sup>2</sup> de récif, en augmentant la couverture corallienne de 10 à 15% : équipe de 2 scientifiques + 2 assistants de terrain + 1 pilote de bateau, 1 bateau, compétence en plongée libre (pas de bouteille) ; une durée de 10 jours de travail sur le terrain (60% du temps a été consacré aux activités de restau-

ration et 40% du temps a été consacré à l'apport scientifique (sélection du site, suivi initial) ; coûts des matériels et matériaux 1 300 \$ US, coûts des salaires 10 100 \$ US.

## Références

Job, S., Bowden-Kerby, A., Fisk, D., Khan, Z. et Nainoca, F. (2006). *Rapport d'avancement des travaux de restauration et suivi sur l'île de Moturiki - Fidji*. Rapport technique. Coral Reef Initiative for the South Pacific (CRISP).

# Etude de cas 5 : transplantation des coraux du port de Goro Nickel - Nouvelle Calédonie

## Lieu

Baie de Prony. Nouvelle Calédonie (Décembre 2005 - Décembre 2010)

## Objectif

Ce projet constitue une mesure compensatoire imposée à un opérateur privé : la société minière GORO Nickel, en rapport avec la construction d'un port sur une zone récifale. L'objectif du projet était double : sauver des colonies de corail menacées par des opérations de remblaiement et les utiliser pour restaurer 2000 m<sup>2</sup> de récif endommagé. Leur survie et croissance seront évaluées pendant 5 ans.



## Méthodes

- Sélection de 3 sites de transplantation correspondant à des récifs frangeants (un de 1000m<sup>2</sup> et deux de 500m<sup>2</sup>) dont les conditions environnementales étaient similaires à celles du site source menacé.
- Collecte d'environ 2000 colonies de corail, d'une variété de genres et de formes de croissance représentative de la zone récifale menacée.



Arrosage des transplants avec de l'eau de mer pendant le transport à partir du site donneur.



Coraux rescapés en attente de transplantation.

- Les coraux ont été transportés exposés à l'air dans des conteneurs en plastique mais arrosés régulièrement avec de l'eau de mer. La durée du transport était de 20 à 30 minutes.

- Les transplants ont été fixés avec du ciment prise mer aux roches naturelles et blocs de coraux morts.

- Les suivis ont été effectués 1 mois après la transplantation puis sont prévus tous les 6 mois ; ils se poursuivront pendant 5 ans. Les suivis comprennent :

- Les taux de survie.

- L'évaluation de la couverture corallienne en utilisant la méthode du *Line Intercept Transect*, chaque transect faisant 20m de long (10 réplicats pour le site de 1000m<sup>2</sup>, 5 réplicats pour les sites de 500m<sup>2</sup>).

- La colonisation des sites de transplantation par les poissons et les invertébrés (évaluée par la méthode du *Belt Transect*, de 50m x 4m et 20m x 2m respectivement) avec 10 réplicats pour le site de 1000m<sup>2</sup> et 5 réplicats pour les sites de 500m<sup>2</sup>.

## Leçons tirées

- Le taux de survie global après 9 mois était pratiquement de 90%, suggérant que la sélection des sites de transplantation sur la base de la profondeur, du pH, de la salinité, de la turbidité, de la température et de la géomorphologie, similaires, était judicieuse.

- Il est possible de transporter des coraux à l'air, du moins pendant 30 minutes, à la condition qu'ils soient arrosés avec de l'eau de mer. Les transplants n'ont montré aucun signe évident de stress (ex. production excessive de mucus ou apparition de nécroses) dû à l'exposition à l'air pendant 30 minutes. [Voir aussi Harriot et Fisk (1995)]. Toutefois, comme recommandé en point 3.8, il est conseillé de minimiser le stress, si possible, en maintenant les coraux à l'ombre, hors de la lumière directe, et immergés dans l'eau de mer lors du transport.

- Le ciment prise mer était approprié pour fixer les transplants, avec moins de 5% des transplants détachés ou perdus à la fin des activités de transplantation. De plus, la moitié des colonies avait crû sur leurs bases en ciment dans les 5 mois.

- Les colonies branchues d'*Acropora* transplantées ont été rapidement colonisées par de nombreux poissons juvéniles, suggérant un rôle utile de la transplantation dans le recrutement des poissons.

## Contracteur

GORO Nickel - Société minière

## Ressources nécessaires pour transplanter 2000 colonies sur 3 sites totalisant 2000m<sup>2</sup> de récif :

équipe de 3 plongeurs (biologistes marins) + 1 assistant de terrain (préparant le ciment en surface et aidant à la logistique) ; 1 bateau ; équipement de plongée avec bouteille ; période de 25 jours de travail sur le terrain (1/3 pour la préparation du travail de terrain, la logistique et les transports ; 2/3 pour les activités de restauration : sélection des sites, collecte, transplantation et suivi initial) ; coûts des matériaux et matériels : 17 000 \$ US ; coûts des salaires : 45 000 \$ US.

## Référence

Job, S. (2006). *Transplantation des coraux du port de Goro Nickel et suivi de l'opération*. Rapport technique. SOPRONER - GINGER

## 6. Bibliographie

Cesar, H.S.J. (ed.) (2000). *Collected Essays on the Economics of Coral Reefs*. CORDIO, Sweden. 244 pp.

Clark, S. (2002). Ch. 8. Coral reefs, p. 171-196, in M.R. Perrow and A.J. Davy (eds.) *Handbook of Ecological restoration. Volume 2. Restoration in Practice*. Cambridge University Press, Cambridge. 599 pp.

English, S. Wilkinson, C. and Baker, V. (1997). *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. 2nd Edition. Australian Institute of Marine Science, Townsville.

Harriott, V.J. and Fisk, D.A. (1995). Accelerated regeneration of hard corals: a manual for coral reef users and managers. *Great Barrier Reef Marine Park Authority Technical Memorandum*: 16, 42 pp. [see [www.gbrmpa.gov.au/corp\\_site/info\\_services/publications/tech\\_memorandums/tm016/](http://www.gbrmpa.gov.au/corp_site/info_services/publications/tech_memorandums/tm016/)]

Heeger, T. and Sotto, F. (eds). (2000). *Coral Farming: A Tool for Reef Rehabilitation and Community Ecotourism*. German Ministry of Environment (BMU), German Technical Cooperation and Tropical Ecology program (GTZ-TÖB), Philippines. 94 pp.

Porcher, M., Job, S., Schrimm, M. and Morancy, R. (2003). *Reef Restoration: Practical guide for management and decision-making*. Carex Environnement, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, IFRECOR. 32 pp.

Maragos, J.E. (1974). Coral transplantation: a method to create, preserve and manage coral reefs. Sea Grant Advisory Report UNIH-SEAGRANT-AR-74-03, CORMAR-14, 30 pp.

Miller, S.L., McFall, G.B. and Hulbert, A.W. (1993). *Guidelines and recommendations for coral reef restoration in the Florida Keys National Marine Sanctuary*. National Undersea Research Center, University of North Carolina, at Wilmington. 38 pp.

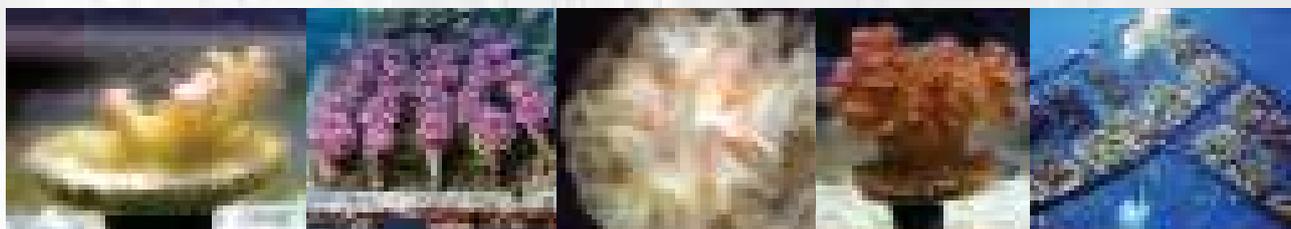
Omori, M. and Fujiwara, S. (eds). (2004). *Manual for restoration and remediation of coral reefs*. Nature Conservation Bureau, Ministry of Environment, Japan. 84 pp.

Precht, W.F. (ed.) (2006). *Coral Reef Restoration Handbook*. CRC Press, Boca Raton. 363 pp.

Richmond, R.H. (2005). Ch. 23. Recovering populations and restoring ecosystems: restoration of coral reefs and related marine communities, p. 393-409, in E.A. Norse and L.B. Crowder (eds.) *Marine Conservation Biology: the Science of Maintaining the Sea's Biodiversity*. Island Press, Washington DC. 470 pp.

Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*. [www.ser.org](http://www.ser.org) and Society for Ecological Restoration International, Tucson. 13 pp. [see [www.ser.org/content/ecological\\_restoration\\_primer.asp](http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp)]

Whittingham, E., Campbell, J. and Townsley, P. (2003). Poverty and Reefs. DFID-IMM-IOC/UNESCO. 260 pp.





## Crédits photographiques

Nous tenons à remercier les collaborateurs et organisations suivantes qui de nous avoir donné la permission d'utiliser leurs photographies dans le guide :

**Akajima Marine Science Laboratory (AMSL):** p.16 (en bas à droite), p.17 (*Trochus*), p.18 (en haut à droite – 2 photos), p.37 (partie apicale d'une branche d'*Acropora* mature);

**Australian Institute of Marine Science (AIMS):** p.16 (en bas à gauche);

**Patrick Cabaitan:** p.19 (au milieu à droite – 2 photos), p.22;

**Michel Porcher (Ginger environnement et infrastructures):** p.24, p.28, p.29, p.32 (2 photos), p.33 (2 photos);

**Coral Reef Initiative for the South Pacific (CRISP):** p.ii (en bas à droite), p.20 (en bas – 2 photos), p.34 (2 photos);

**Goro Nickel, New Caledonia:** p.19 (au milieu à gauche), p.36 (2 photos);

**Nick Graham:** schéma 1 et 2 (récif sain), schéma 5 (récif dégradé), 4ème de couverture (chirurgiens bleus);

**James Guest:** première de couverture (photo principale), p.i et ii (*Drupella*), schéma 5 (*Acanthaster*), p.17 (au milieu à gauche), p.25 (*acanthaster* pourpre, *Carolliophila*, *Phestilla*), quatrième de couverture (*Protoreaster*);

**Andrew Heyward:** p.17 (au milieu à droite), p.17 (établissement d'*Acropora*), p.18 (en haut à gauche);

**Sandrine Job:** schéma 1 et 2 (récif dégradé), p.9, p.25 (*Culcita*);

**Tadashi Kimura:** quatrième de couverture (*Porites* renversés par le tsunami de 2004);

**Gideon Levy:** p.15; schéma 7 (collecte sur un récif, transplantation sur un récif dégradé);

**Niphon Phongsuwan:** p.11 (à gauche), image de fond pour les " check-lists de bonnes pratiques ", p.14, p.27, p.38 (en haut);

**Sakanan Plathong:** p.10, p.11 (à droite);

**Shai Shafir:** schéma 7 (culture *ex situ* et *in situ*), p.16 (en haut à droite et à gauche), p.37 (2 photos à gauche et à droite), quatrième de couverture (première, quatrième et cinquième photos dans le bandeau);

**Ernesto Weil:** image de fond pour " tableaux de messages ", quatrième de couverture (photo principale de corail corne de cerf);

Other photographs: **Alasdair Edwards.**

## Contacts e-mail :

### Chapitres 1-4

Alasdair Edwards: [a.j.edwards@newcastle.ac.uk](mailto:a.j.edwards@newcastle.ac.uk)  
Edgardo Gomez: [edgomez@upmsi.ph](mailto:edgomez@upmsi.ph)

### Chapitre 5

Sandrine Job: [sandrine.job@soproner.nc](mailto:sandrine.job@soproner.nc)

### CRTR program

Melanie King, Executive Officer, Project Executing Agency:  
[m.king4@uq.edu.au](mailto:m.king4@uq.edu.au)  
Andy Hooten, Synthesis Panel Executive Secretary and US Coordinator:  
[ajh@environmentalservices.com](mailto:ajh@environmentalservices.com)

### CRISP program

Eric Clua, CRISP Manager: [EricC@spc.int](mailto:EricC@spc.int)

## Mise en garde

Les informations contenues dans cette publication sont prévues pour un usage général, pour assister à la connaissance et au débat public et pour aider à améliorer la gestion durable des récifs coralliens et des écosystèmes associés. Elle contient des énoncés généraux basés sur des recherches scientifiques. Le lecteur doit savoir et doit être averti que les présentes informations peuvent être incomplètes ou inappropriées pour une utilisation dans des situations spécifiques. Avant d'entreprendre toute action ou décision basée sur les informations contenues dans la présente publication, le lecteur doit rechercher des conseils techniques et scientifiques auprès des professionnels et experts.

Dans les limites autorisées par la loi, le " Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program " et ses associés (y compris ses employés et consultants) et les auteurs ne sauraient être responsables de tout ce qui pourrait résulter de l'utilisation ou causalité par toute personne, du contenu de la présente publication.





Le programme " Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management " est une initiative de recherche qui offre une approche coordonnée des connaissances crédibles, factuelles et scientifiques pour une gestion améliorée des récifs coralliens. Le programme CRTR est un partenariat de recherche proactive et de développement des capacités qui vise à jeter les bases pour combler les manques cruciaux de connaissances dans les domaines essentiels de la recherche sur le blanchissement des coraux, la connectivité, les maladies du corail, la restauration et la remédiation des récifs dégradés, la télédétection, la modélisation et le support à la prise de décision.

Chacun de ces domaines de recherche est expertisé par des groupes de travail formés de nombreux chercheurs spécialistes mondiaux dans l'étude des récifs coralliens. Le CRTR possède aussi quatre Centres d'Excellence dans des régions prioritaires (Asie du Sud-est, Méso-Amérique, Afrique de l'Est et Australasie/Pacifique), servant de centres régionaux dont la présence est cruciale pour gagner la confiance des acteurs locaux, améliorer les compétences en recherche, effectuer des formations et renforcer les capacités locales.

Visiter le site web du CRTR : [www.gefcoral.org](http://www.gefcoral.org)



L'IFRECOR (Initiative Française pour les Récifs Coralliens) est une action nationale en faveur des récifs coralliens des collectivités de l'Outre-Mer. Cette initiative a été mise en place en 1998, en parallèle à la décision de prise en charge par la France du secrétariat de l'ICRI (Initiative internationale pour les récifs coralliens) pour la période 1999-2000. Les enjeux sont la protection et la gestion durable des récifs coralliens des 8 collectivités de l'Outre-Mer français, réparties dans les 3 océans de la planète. L'IFRECOR s'est intéressé à la restauration des récifs dégradés dans la première phase de son plan d'action national (2000-2005). Dans sa deuxième phase (2006-2010), l'éducation et la sensibilisation ont été placées comme des axes prioritaires d'action: développement d'outils tels que des documents ludiques permettant la diffusion d'information dans l'ensemble des collectivités et la vulgarisation d'études scientifiques. Dans ce cadre, l'IFRECOR participe à l'édition et à la diffusion de ce guide en version française.

Visiter le site web de l'IFRECOR : [www.ecologie.gouv.fr/Recifs-coralliens-IFRECOR-.html](http://www.ecologie.gouv.fr/Recifs-coralliens-IFRECOR-.html)



L'Initiative pour la protection et la gestion des récifs coralliens du Pacifique Sud (CRISP), soutenue par la France, vise à développer une vision pour le futur, pour ces écosystèmes uniques et les populations dont l'existence en dépend. L'Initiative a pour but de mettre en place des stratégies et des projets pour préserver la biodiversité des récifs et pour développer les services économiques et environnementaux qu'ils peuvent offrir tant localement que mondialement. Parmi beaucoup d'autres, ce programme aborde la question de l'amélioration des compétences des communautés locales relatives à la restauration et la gestion des écosystèmes coralliens par le biais de sa composante 2B, basée sur un partenariat entre le bureau d'études en ingénierie français GINGER et une ONG du Pacifique FSPI (Foundation for the South Pacific People International).

Visiter le site web du CRISP : [www.crisponline.net](http://www.crisponline.net)

Les recherches sur la restauration des récifs coralliens effectuées par le programme CRTR aux Philippines, à Palau et au Mexique sont complétées par des projets communautaires sur la restauration et la gestion des écosystèmes récifaux faisant partie du programme CRISP dans le Pacifique Sud. De plus, les membres de l'équipe CRISP ont une grande expérience des projets de restauration des récifs dans l'Indopacifique, de Mayotte à la Polynésie Française. La collaboration du CRTR et du CRISP dans le chapitre 5 sur " les leçons tirées des projets de restauration " ajoute à ce guide des connaissances de valeur provenant d'études de cas bien réels. La coopération entre ces deux programmes sera étendue à la préparation d'un Manuel de Restauration des Récifs, plus détaillé et prévu pour fin 2008. Ce manuel pratique synthétisera non seulement les résultats des recherches liées à la restauration des récifs des programmes CRTR et CRISP mais aussi ceux du projet REEFRES (projet intitulé : Développer des pratiques pour la restauration des récifs de l'Indopacifique) financé par la Commission Européenne, le manuel résumera aussi les connaissances antérieures.