



Réserve Naturelle Nationale  
de Saint-Martin



# Synthèse technique pour l'implantation de pépinières à *Acropora sp.* dans la Réserve Naturelle de Saint-Martin

Avril 2015-Mai 2015

Alizée Masson

Master Environnement

M1 Ecologie, Biodiversité, Evolution

2014-2015

Encadrant : Julien Chalifour

Soutenance : 9 juin 2015



UPMC  
SORBONNE UNIVERSITÉS

UNIVERSITÉ  
PARIS  
SUD

AgroParisTech

ENS



## Table des matières

Liste des figures.....	2
Liste des tableaux.....	2
Remerciements.....	3
I. Introduction.....	4
II. Intérêts des pépinières de coraux.....	7
A) Pourquoi choisir la technique d'élevage en pépinière ?.....	8
1) Limiter le stress et augmenter le taux de survie.....	8
2) Disposer d'un stock de boutures disponibles.....	10
3) Une technique simple et peu coûteuse.....	10
4) Augmenter le recrutement naturel pour renforcer la résilience du récif à long terme.....	12
B) Exemples de pépinières couramment utilisés.....	14
1) Les pépinières suspendues de mi-eau.....	14
2) Les pépinières à cordes.....	15
3) Les pépinières à pieds fixés au substrat.....	16
4) Les pépinières de type « arbres à coraux ».....	17
III. Implantation de pépinières par la Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin.....	18
A) Choix des espèces.....	18
B) Collecte des échantillons.....	19
C) Implantation des pépinières.....	21
1) Sélection des sites d'implantation.....	21
2) Construction des pépinières.....	22
IV. Conclusion.....	24
Bibliographie :.....	25
Webographie :.....	26
Annexes.....	27
Annexe 1 : Synthèse des différentes menaces et pressions pour les coraux, leurs causes et leurs conséquences.....	27

## Liste des figures

Figure 1 : Cycle de vie du corail (Source : <a href="http://coraux.univ-reunion.fr/">http://coraux.univ-reunion.fr/</a> ).....	5
Figure 2 : Concentration en chlorophylle et nombre de zooxanthelles par planula selon les sites (IUI : récif et FF : pépinière ; Amar et Rinkevich, 2006) .....	13
Figure 3 : Schéma d'une pépinière flottante de mi-eaux (source : Shaish et al., 2008) .....	14
Figure 4 : Schéma des différents types de pépinières à cordes (A) Pépinière flottante à cordes. (B) Pépinière à cordes attachée au-dessus du fond (C) Pépinière à cordes fixée sur le fond (source : Levy et al., 2009).....	15
Figure 5 : Schéma d'une pépinière à pieds fixés (source : Shaish et al., 2008).....	16
Figure 6 : Exemple de structure de pépinière "arbre à coraux" (Nedimyer et al., 2011) .....	17
Figure 7 : Sites potentiels de collecte des fragments d'Acropora sp. ....	20
Figure 8 : Sites d'implantation potentiels des futures pépinières .....	21
Figure 9 : Schéma du prototype des pépinières.....	22
Figure 10 : schéma type d'un palet en ciment .....	23

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats de l'expérimentation menée par Shaish <i>et al.</i> (2008).....	8
Tableau 2 : Bénéfices et inconvénients potentiels de la transplantation corallienne (Edwards et Clark, 1998).....	9
Tableau 3 : Coûts de construction et de maintenance d'une pépinière à cordes fixée au substrat (Levy <i>et al.</i> , 2009).....	11
Tableau 4 : Coûts des matériaux de construction de deux pépinières, une de type fixée au substrat et l'autre de type suspendue de mi-eau (Shaish <i>et al.</i> , 2008).....	11
Tableau 5 : Nombre d'heure et de personnes investi dans la construction et l'implantation de deux pépinières (Shaish <i>et al.</i> , 2008) .....	12
Tableau 6 : Résultats de la collecte de planulas et de leur fixation (Amar et Rinkevich, 2006).....	13
Tableau 7 : Tableau comparatif des différents sites proposés pour l'implantation des futures pépinières.....	22

## Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier Julien Chalifour pour avoir été aussi patient, avoir su me pousser lorsqu'il le fallait et m'avoir permis de vivre autant d'expériences plus enrichissantes les unes que les autres. Je voudrais aussi remercier Nicolas Maslach pour m'avoir accueillie au sein de la Réserve Naturelle de Saint-Martin, m'avoir aidée et m'avoir fait découvrir des endroits sympas avec sa petite Sasha.

Merci à mes acolytes de l'armée de stagiaires, sans qui je me serais sûrement sentie seule, pour leur soutien, les week-ends barbecue à Happy Bay, les virées au Calmos et au Princess. Merci plus particulièrement à Marine Nouhaud (ma puce) pour les gloussements de dinde dans la mer et la soirée gourdasses (en espérant que Nicolas et Guillaume aient profité de leur soirée gourdins !), à Nicolas Oury, qui a été forcé à faire des selfies avec moi en haut de Pic Paradis, et Guillaume Escolar pour la pool party et pour m'avoir supportée à côté de lui tous les jours (tu passeras le bonjour à Axel et Adrien de ma part !). J'aimerais aussi remercier ces deux derniers pour les langoustes !

Merci à Caroline Fleury pour toutes ses petites chansons qui ont mis tout le monde de bonne humeur, à Olivier Raynaud pour la soirée chez Fernand et pour avoir supporté avec le sourire de nous entendre dire tous les jours qu'on avait vu les dauphins sans lui, à Amandine Vaslet pour sa bonne humeur, sa gentillesse et son cheesecake et à Romain Renoux même si il n'a emmené que Guillaume à Saint Barth !

Merci à Franck Roncuzzi, Steeve Ruillet et Christophe Joe pour nous avoir trimballés en bateau mais surtout pour nous avoir emmenés plonger, ce qui nous a permis de voir les dauphins de très près, ça restera un souvenir magique.

## I. Introduction

Les coraux dits durs ou Scléactiniaires font partie de l'embranchement des Cnidaires caractérisés par une symétrie radiaire, centré sur un orifice unique jouant le double rôle de bouche et d'anus ouvert sur une cavité gastro-vasculaire ; une respiration cutanée, aucun systèmes excréteur et circulatoire, ainsi que des systèmes nerveux et digestif rudimentaires. Ce sont des organismes diblastiques munies d'un épiderme, d'un gastroderme et entre les deux ce qu'on appelle la mésoglée, une couche acellulaire fortement concentrée en collagène. Cet embranchement présente des cellules spécialisées appelées cnidocytes permettant la capture de nourriture et la défense. Les Cnidaires présentent généralement un cycle de vie composé de deux formes : une forme polype benthique et une forme méduse libre nageuse. Les coraux font partie de la classe des Anthozoaires, ne présentent que la forme polype benthique au cours de leur cycle de vie. Les Anthozoaires se décomposent en trois sous-classes : les Octocoralliaires, les Hexacoralliaires et les Cérianthaires (formes paléozoïques uniquement). Au sein des Hexacoralliaires, les Scléactiniaires sont quant à eux caractérisés par une symétrie radiale d'ordre 6 (Vimal, 2007).

Les Scléactiniaires ont la particularité de fabriquer un exosquelette dur ou polypier, composé de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) ou aragonite, par combinaison des ions carbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) avec des ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Le polypier est constitué de polypiérites sécrétés par les polypes qui se trouvent dans une loge au sein des polypiérites. Le squelette n'est jamais visible sauf lors d'évènements de blanchissement entraînant l'expulsion des zooxanthelles par les polypes devenant transparents ou lorsqu'il est mis à nu en cas de disparition de la chaire (nécrose ou prédation). La sécrétion du squelette dépend de la disponibilité en ions calcium ainsi que du pH de l'eau. Lorsque l'eau est acide, la précipitation des ions carbonate et calcium ne se fait pas et l'aragonite se dissout (Reyes-Nivia et al., 2013).

Les Scléactiniaires comprennent deux grands types d'espèces : les hermatypiques et les ahermatypiques. Les premières se caractérisent par une endosymbiose avec des microalgues unicellulaires du genre *Symbiodinium*, communément appelées Zooxanthelles. Elles sont hébergées dans les cellules gastrodermiques des polypes et produisent par photosynthèse un surplus d'énergie à destination du corail. Mais cette production s'interrompt la nuit en l'absence d'énergie solaire. Le polype doit alors chasser sa nourriture pour subvenir à ses besoins. Les zooxanthelles peuvent fournir jusqu'à 95% des besoins énergétiques du polype. Les coraux hermatypiques doivent donc s'installer dans la zone euphotique pour disposer de la quantité de lumière nécessaire à la photosynthèse (Stambler *et al.*, 2008), contribuant à la

production de l'énergie indispensable à l'édification de leur squelette calcaire (Roth, 2014). Les Zooxanthelles absorberaient aussi les phosphates et le gaz carbonique excrétés par les polypes, inhibiteurs de la précipitation de l'aragonite (Vimal, 2007). Chez les coraux ahermatypiques en revanche, il n'y a pas d'endosymbiose et le polype chasse pour se nourrir à l'aide de ses tentacules généralement plus longs que chez les hermatypiques.

Deux types de reproductions sont observables :

- La reproduction sexuée : une fécondation interne ou externe est observée chez différentes espèces, permettant un brassage génétique entre différents individus. La fécondation interne aboutit à un largage des larves de type planula dans le milieu ou planulation. Dans le cas de la fécondation externe, les larves se développent directement dans la colonne d'eau. Ces dernières appelée planulas se fixeront sur un substrat adéquat pour y former une nouvelle colonie.

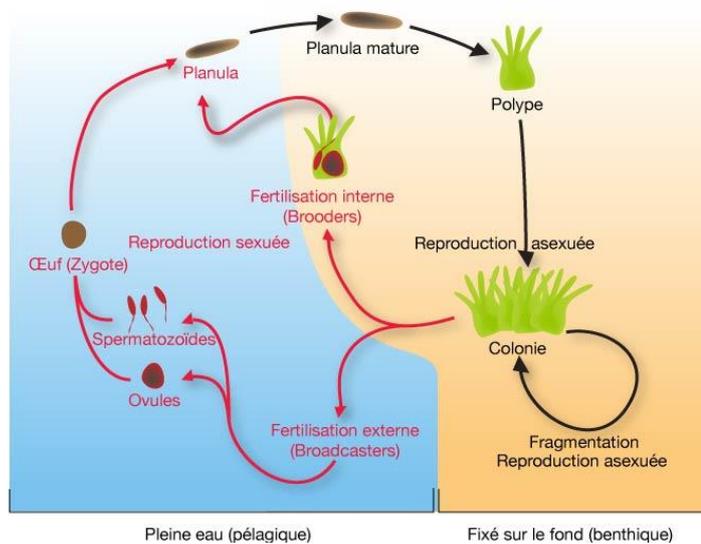


Figure 1 : Cycle de vie du corail (Source : <http://coraux.univ-reunion.fr/>)

- La reproduction asexuée : les nouvelles colonies ainsi créées sont génétiquement identiques à la colonie mère. Ce mode de reproduction peut être le résultat d'une fragmentation (un morceau de la colonie se casse), d'un bourgeonnement (un petit polypier se forme et tombe de la colonie mère par gravité), d'un phénomène de scissiparité (la colonie mère se fragmente de manière non-accidentelle en plusieurs petites colonies ; Vimal, 2007). Plus rarement, des larves planulas ou de polypes génétiquement identiques peuvent être expulsés par une colonie mère.

Les coraux peuvent être solitaires ou constructeurs de récifs. Les récifs ainsi construits sont la base d'écosystèmes complexes. Ces espèces ingénieuses modifient les conditions du milieu (luminosité, structures, impact de la houle, courant...) et les rendent conformes aux besoins de nombreuses espèces. Le fonctionnement de cet écosystème est lié aux interactions des différentes communautés le constituant (ichtyologiques, algales, macroinvertébrés...) et forment des réseaux trophiques complexes et fragiles. Les récifs présents dans moins de 0,1%

des océans, hébergeraient cependant près de 25% de la biodiversité marine mondiale. Si les coraux contribuent comme les éponges, à la création de récifs d'eaux chaudes, généralement situés en zone intertropicale présentant des eaux lumineuses, oligotrophes (pauvres en nutriments) et chaudes (température annuelle  $>21^{\circ}\text{C}$ ) ; d'autres types d'organismes édifient des récifs d'eau froide, de la périphérie polaire jusqu'aux grandes profondeurs des zones tropicales.

Les récifs coralliens, souvent comparés aux forêts tropicales, abritent une diversité et des taux de production primaire parmi les plus élevés. Ils jouent un rôle écologique et économique primordiale. Localement, ils offrent protection et habitats aux juvéniles vis-à-vis des prédateurs, ainsi qu'une source de nourriture pour les crustacées, les mammifères et les reptiles vivant aux alentours. Ils contribuent également à la protection des côtes en servant de zone tampon entre la haute mer et le littoral. Cette élévation du fond contribue effectivement à dissiper 97% de l'énergie de la houle, des tsunamis et des tempêtes (Ferrario *et al.*, 2014). Ils limitent ainsi l'érosion du littoral et des zones humides. Les coraux contribuent également à l'amélioration de la qualité des eaux en piégeant une partie de la MES (matière en suspension ; Allahgholi, 2014). Au niveau économique, les récifs contribuent à la production de poissons pour la pêche, de matériaux de construction, aussi utilisables en bijouterie et permettent le développement d'activités de loisirs telles que la plongée sous-marine ou le snorkeling.

Les coraux sont soumis à de nombreuses menaces qu'on peut classer en trois grands types : les menaces locales biologiques, les menaces anthropogéniques et les menaces liées au changement climatique, résumées sous forme de tableaux en Annexe 1. Ces menaces sont souvent interdépendantes et engendrent des phénomènes de synergie. Par exemple, l'Homme joue un rôle de facilitateur des changements climatiques, ou contribue à l'introduction d'espèces exogènes potentiellement invasives.

Depuis quelques décennies, nous assistons à un fort déclin de la couverture corallienne due à ces menaces. Les récifs affaiblis ne sont plus capables, pour la plupart, de faire face aux pressions et leur capacité de résilience s'en trouve de plus en plus limitée. Des méthodes de réhabilitation actives doivent donc être développées et mises en œuvre pour faciliter la résilience de ces derniers. Le concept de jardinage de coraux développé ces dernières années, utilisant notamment des pépinières à coraux, est de plus en plus maîtrisé. Après avoir présenté l'intérêt des pépinières de coraux pour la réhabilitation des récifs, la seconde partie

développera le projet d'implantation de pépinières d'*Acropora sp.* dans la Réserve Nationale Naturelle de Saint-Martin.

## II. Intérêts des pépinières de coraux

En cas de raréfaction ou de disparition des coraux, la diversité et l'abondance des communautés ichthyologiques diminuent, entraînant avec elles la chute des revenus liés à la plongée et à la pêche. Le maintien d'une population corallienne durable et d'une certaine complexité structurelle semblent renforcer la résilience naturelle de ces fragiles écosystèmes (Edwards et Gomez, 2007). Pour cette raison, les méthodes de réhabilitation se focalisent généralement sur les coraux en eux-mêmes, même si d'autres méthodes tendent à créer des habitats artificiels de remplacement ou du moins complémentaires.

Il existe plusieurs techniques de réhabilitation des récifs endommagés :

- Le recrutement de larves à l'aide de substrats spéciaux,
- La transplantation directe de colonies d'un lieu sain à un lieu endommagé,
- Le concept de jardinage de coraux.

En 1995, Rinkevich fut le premier à amener un nouveau concept dans le domaine de la restauration active corallienne : le « coral gardening concept » ou le concept de jardinage de coraux. Ce concept s'appuie sur les techniques utilisées en sylviculture en raison des analogies structurelles, fonctionnelles et biologiques observées entre les arbres et les coraux. Il se décompose en deux étapes :

- L'élevage de fragments coralliens dans une pépinière,
- La transplantation des colonies issues d'élevage dans les zones endommagées.

Les jeunes colonies élevées en pépinières proviennent généralement du bouturage de colonies mères et parfois de la collecte de larves issues de la reproduction sexuée. Les pépinières peuvent être situées en milieu naturel (élevage *in-situ*) ou artificiel en élevage en bassins (élevage *ex-situ*).

Cette technique de réhabilitation des récifs endommagés semble intéressante et prometteuse à de nombreux titres.

## A) Pourquoi choisir la technique d'élevage en pépinière ?

### 1) Limiter le stress et augmenter le taux de survie

Les taux de survie des fragments en pépinière sont très élevés. Une étude de Shaish *et al.* (2008) utilise deux types de pépinières : une de mi-eau suspendue et une fixée au substrat. 6824 fragments coralliens provenant de 7 espèces différentes de forme branchue, encroutante ou feuillue, composés de 1 à 3 génotypes différents nommés A, B et C (Voir le Tableau 1 pour le détail) furent élevés et suivis pendant un an. Les différentes réponses inter et intraspécifiques furent ainsi étudiées. Un suivi mensuel des pépinières installées en zone peu profonde et abritée fut assuré afin d'éliminer et de compter les boutures mortes et disparues (Tableau 1).

Tableau 1 : Résultats de l'expérimentation menée par Shaish *et al.* (2008)

Species (genotype)	Suspended nursery			Fixed to substrate nursery		
	Initial fragment number	% Detached	% Survivorship	Initial fragment number	% Detached	% Survivorship
<i>Merulina sabricula</i> (A)	350	4.57	90.57	350	19.43	77.71
<i>Merulina sabricula</i> (B)	350	22.29	68.00	210	3.33	92.38
<i>Montipora digitata</i> (A)	350	0.29	99.43	350	0.57	99.43
<i>Montipora digitata</i> (B)	350	3.43	97.71	280	2.50	96.07
<i>Montipora digitata</i> (C)	350	0.57	94.57	280	0.00	30.36
<i>Echinopora lamellosa</i> (A)	350	4.29	97.43	350	5.43	95.71
<i>Echinopora lamellosa</i> (B)	350	4.00	98.00	140	4.29	97.86
<i>Echinopora lamellosa</i> (C)	420	13.10	93.81	420	4.29	87.86
<i>Pocillopora damicornis</i> (A)	190	0.00	93.16	130	6.15	86.92
<i>Pocillopora damicornis</i> (B)	120	0.00	94.17	130	3.08	88.46
<i>Porites rus</i> (A)	354	4.80	65.54	n.d.	n.d.	n.d.
<i>Acropora formosa</i> (A)	333	0.60	97.60	n.d.	n.d.	n.d.
<i>Montipora aequituberculata</i> (A)	317	2.84	94.01	n.d.	n.d.	n.d.
Total	4184			2640		
Average		4.67	91.08		4.91	85.28
Standard deviation		6.34	11.07		5.46	20.35

n.d. — not done.

La pépinière suspendue présentait ainsi un taux de survie moyen de 91,08%, dont un taux de survie minimum de 65,54% pour l'espèce *Porites rus* (A) et un taux de survie maximum de 99,43% pour *Montipora digitata* (A). Le taux de survie moyen au sein de la pépinière fixée au substrat était de 85,28% avec un taux de survie minimum de 30,36% pour l'espèce *Montipora digitata* (C) et un taux de survie maximum de 99,43% pour *Montipora digitata* (A). Ainsi, bien que la différence entre les taux moyens de survie des deux pépinières ne soient pas significatives, les résultats démontrent l'existence de différences intra et interspécifiques significatives. Ces différences seraient liées selon les auteurs à des conditions biologiques et environnementales épisodiques au niveau micro-local. Les taux de survie apparaissent cependant élevés pour chaque pépinière après un an de d'élevage. Les colonies élevées en pépinières disposent ainsi de temps pour s'acclimater aux conditions de leur milieu d'accueil,

mais aussi de soins au cours de cette période critique, contrairement à celles directement transplantées.

La transplantation corallienne est une technique de repeuplement des récifs endommagés par le prélèvement de colonies dans des récifs sains. Cette technique est aujourd'hui courante dans les actions de réhabilitation. Elle a montré de nombreux résultats positifs cependant, il semblerait que prélever des colonies directement dans un récif sain soit facteur de stress pour ses colonies. Par conséquent, les prélèvements répétés sur un récif risquent de causer une dégradation rapide de ce dernier. Par ailleurs, les colonies transplantées subissent un notable et brutal changement d'environnement, générant un stress que les colonies sont plus ou moins capables de supporter et pouvant vouer à l'échec toute opération de transplantation. L'étude de Edwards et Clark (1998) met en avant ces problèmes, en montrant que la transplantation corallienne est inutile si les coups dépassent les bénéfices établis dans le tableau ci-dessous (Tableau 2).

**Tableau 2 : Bénéfices et inconvénients potentiels de la transplantation corallienne (Edwards et Clark, 1998)**

Potential benefits and drawbacks of transplanting corals.	
Potential benefits	Potential dis-benefits
Immediate increase in coral cover and diversity Increased recruitment of coral larvae as a result of presence of transplants Survival of locally rare and threatened coral species when primary habitat is destroyed Reintroduction of corals to areas which are larval supply limited or have very high post-settlement mortality Improved aesthetics of areas frequented by tourists Instant increase in rugosity and shelter for herbivores in bare areas	Loss of coral colonies from donor reef areas Higher mortality rates of transplanted corals Reduced growth rates of transplanted corals Loss of transplanted colonies from reef as a result of wave action (attachment failure) Reduced fecundity of transplanted colonies due to stress of transplantation Raised public expectations followed by disillusionment when transplants suffer high mortality

Ainsi, le récif donneur doit être suffisamment grand et diversifié pour être en mesure de faire face aux impacts négatifs liés à la perte de colonies. D'après eux, certains récifs donneurs n'avaient toujours pas récupérés après plus de deux ans.

La technique du jardinage de coraux et l'utilisation de pépinières représente un risque moindre, en impliquant le prélèvement de fragments et non des colonies entières. Ces boutures peuvent même provenir de morceaux déjà fragmentés de manière naturelle ou accidentelle. La transplantation corallienne directe engendre également un taux de mortalité supérieur à la mortalité naturelle observée dans les récifs. Les boutures placées en pépinière disposent d'un temps d'acclimatation plus important et de soins augmentant leur taux de survie. C'est ce que démontre l'étude de Sujirachato *et al.* (2013), en comparant les taux de survie de colonies de 2 espèces (*Acropora muricata* et *Pocillopora damicornis*) issues de

transplantations directes à ceux des colonies transplantées provenant de pépinières, selon différentes techniques de transplantation et différents types de pépinières. Les fragments transplantés sur des plaques de fer à l'aide de serres-câbles ou sur des structures de type « coral ball » furent placés dans des pots de pâtes de ciment disposés sur une structure. Les pépinières utilisées étaient de type mi-eau et de type « fish home ». Les fragments élevés en pépinière étaient ensuite transplantés dans les mêmes types de structures que les fragments transplantés directement. Après plusieurs semaines, les fragments élevés en pépinière avant transplantation montraient des taux de survie plus élevés (*Acropora muricata* : 82,0% ; *Pocillopora damicornis* : 72,2%) que ceux directement transplantés (*Acropora muricata* : 64,7% ; *Pocillopora damicornis* : 64,0%). Cependant cet article ne teste pas l'ensemble des variantes possibles pour les deux espèces. Il peut donc y avoir un biais lié à l'espèce, au type de pépinière ou à la technique de transplantation utilisée. Cependant, les auteurs démontrent que le taux de survie s'améliore lorsqu'une phase d'élevage en pépinière précède la phase de transplantation.

## **2) Disposer d'un stock de boutures disponibles**

La création de pépinières permet disposer en permanence de stocks de colonies à transplanter (Allahgholi, 2014). En cas de tempêtes ou autres événements entraînant des dommages physiques au récif, la présence de pépinières contenant des colonies matures et prêtes à la transplantation rapide après le sinistre est un réel avantage. Cela permet une intervention rapide, limitant le stress causé par l'évènement.

## **3) Une technique simple et peu coûteuse**

L'implantation et l'entretien de pépinières sont peu coûteux. Les pépinières peuvent être construites à partir de matériaux courants tels que des tubes en PVC, des serres-câbles, des cordes ou des filets en plastique. Une étude de Levy *et al.* (2009) teste trois types de pépinières : une pépinière à cordes flottante, une pépinière à cordes fixée au substrat et une pépinière à cordes sur pieds fixés au substrat. Dans cette étude, les fragments coralliens furent fixés sur des cordes constituant les pépinières munies de bouées et de blocs de ciment dans le cas des deux premières, et de barres à angle en fer pour la dernière. La pépinière à cordes flottante a été construite en 1h par une seule personne, la pépinière à cordes attachée au substrat fut implantée en 1h par trois personnes et la pépinière à cordes fixée au substrat fut assemblée en 1h par huit personnes. La pépinière fixée au substrat contenait 1200 fragments et représentait un coût moyen réduit de 0,11 US\$ par fragment (frais de matériel et

de main d'œuvre inclus). Les coûts mensuels de construction et de maintenance de cette pépinière sont également indiqués dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 3 : Coûts de construction et de maintenance d'une pépinière à cordes fixée au substrat (Levy *et al.*, 2009)**

Costs for whole nursery construction and maintenance (per month) of the 'fixed to bottom' prototype rope nursery in the Philippines, farming 1200 coral fragments (prices are in US\$ following the actual exchange rate of 45.5 Philippines Pesos for 1 US\$ in July 2007).

	Major costs	Item	Quantity	US\$/unit	Total (US\$)
Nursery needs/monitoring Materials	Nursery framework	6 m, 5 mm angle bar	4	8.9	35.6
	Strengthening support	6 m, 10 mm iron bar	2	2.8	5.6
	Basic module of construction	Rope	144 m	0.066	9.5
	Buoys	Plastic container	4	2.2	8.8
	Sinkers	Cement block	8	3.3	26.4
	Miscellaneous equipment	Cable ties, fishing line	100	0.04	4
	Supporting infrastructure	Boat and driver	Trip	1	21.1
	Scuba	Tanks	2	4.4	8.8
Labor	Labor	Hours	8	1.38	11
Total					130.8
Monitoring/month Data collection	Labor	Hours	8	1.38	11
	Boat and driver	Trip	1	21.1	21.1
	Scuba	Tanks	2	4.4	8.8
Photographing	Labor	Hours	8	1.38	11
	Scuba	Tanks	2	4.4	8.8
Total					60.7

L'entretien de ce type de pépinière représente 60,7 US\$/mois avec le suivi de croissance par photographie, la collecte des données (survie, maladie...), l'entretien mensuel, les matériaux de construction, les frais liés au bateau et à la plongée.

Shaish *et al.* (2008) indiquent le coût de construction de leurs deux pépinières (Tableau 4). L'une était de type suspendue de mi-eau et l'autre de type pieds fixés au substrat. Ces pépinières contenaient un total de 6824 fragments. Le détail de ces coûts apparaît dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 4 : Coûts des matériaux de construction de deux pépinières, une de type fixée au substrat et l'autre de type suspendue de mi-eau (Shaish *et al.*, 2008)**

Cost of materials used to build the two nurseries

Material	Cost PHP	Cost USD
PVC pipes	28,866	529
PVC connections	1352	25
PVC glue	9554	175
Plastic net	3653	67
Cable ties	7412	136
Ropes	4094	75
Buoys	20,780	381
Metal bars	4074	75
Cement	682	12
Miscellaneous (brushes, borers, screws etc.)	9298	170
Total	89,765 PHP	1645 USD

PHP — Philippines peso.

Selon ces données, le coût de ces installations est de 0,24 US\$/fragment et de 150 US\$/an/pépinière pour 5 ans, soit 12,5US\$/mois/pépinière. Malheureusement, les coûts de main d'œuvre et de

maintenance ne sont pas mentionnés dans cet article.

Tableau 5 : Nombre d'heures et de personnes investi dans la construction et l'implantation de deux pépinières (Shaish *et al.*, 2008)

Person-hours invested in nurseries establishment, producing and deploying famed fragments		
Task	Detailed manpower	Time invested (person-hour)
Nursery construction outside the water	2 persons, 10 h day, 10 days	200
Making net trays ( $n=120$ )	2 persons, 7 h day, 5 days	70
Construction of the threaded ropes with buoys	2 persons, 10 h day, 3 days	60
Deploying of the nurseries	5 persons, 4 h day (diving time), 1 day (per nursery)	40
Fragments' preparation, transplanting fragments on trays (70 ramets per tray) and deployment	4 persons, 7 h day, 80 days	2240
Average preparation time per fragment (glue and transplant)	1.5 min	
Total (nursery construction alone):		370
Grand total (including fragments):		2610

Cependant, les auteurs détaillent le nombre cumulé d'heures de main d'œuvre et de travailleurs nécessaires pour l'implantation des deux pépinières (Tableau 5), ce qui rend possible l'estimation de leur coût en fonction du coût horaire et de l'effectif nécessaire à la construction de pépinière, de la préparation et de la mise en place des fragments dans celle-ci.

#### 4) Augmenter le recrutement naturel pour renforcer la résilience du récif à long terme

Les pépinières pourraient permettre d'augmenter le taux de recrutement naturel de larves au niveau du récif. En effet, Amar et Rinkevich (2006) ont montré que les pépinières pouvaient jouer un rôle de « disperseur » de larves dans les alentours de son lieu d'implantation, ces dernières se fixant généralement à proximité de leur zone de formation ou d'émission. D'autant plus que les colonies élevées en pépinière présenteraient un plus fort taux de reproduction sexuée que les autres. Des larves furent ainsi récoltées de mai à juin 2005 et en avril 2006 (en période de reproduction), sur deux sites *in situ* : un situé au niveau d'une pépinière et l'autre au niveau d'un récif naturel ; à l'aide de filets à planctons placés au-dessus des colonies gravides. Elles furent élevées *ex situ*, afin de suivre leur croissance en terme de nombre de nouveaux polypes ou de surface colonisée par unité de temps. 8 échantillons de fragments (4 sur chaque site) ont été prélevés et examinés pour observer la présence de gonades mâles, mesurer le nombre d'oocytes ou d'œufs par polypes et mesurer la taille de ces derniers. Au cours de cette étude, le nombre de zooxanthelles par planula fut

également déterminé en extrayant les cellules de lots de 5 planulas provenant de 7 colonies différentes du récif naturel et de 8 colonies différentes provenant de la pépinière.

Le nombre de planulas collectées par colonies et leur taux de fixation sont décrits dans le tableau ci-dessous (Tableau 6) :

**Tableau 6 : Résultats de la collecte de planulas et de leur fixation (Amar et Rinkevich, 2006)**

**Table 1** Results of planulae collections and settlement

Sampling month	Site	Number of colonies	Released planulae					Statistical difference ( $P < 0.05$ )
			Per coral colony	Maximum/colony	Minimum/colony	Survived (%) <sup>a</sup>	Settled (%) <sup>b</sup>	
May 2005	IUI	11	15.5 ± 24.3 <sup>c</sup>	86	0	61	30.5	NS
	FF	12	10.4 ± 10.3	38	0	68	27.1	
June 2005	IUI	13	8.8 ± 8.7	34	0	65	28.0	NS
	FF	13	10.6 ± 7.3	18	0	60	36.1	
April 2006	IUI	14	14.7 ± 13.9	41	0	ND	ND	S
	FF	12	46.7 ± 39.3	106	2	ND	ND	

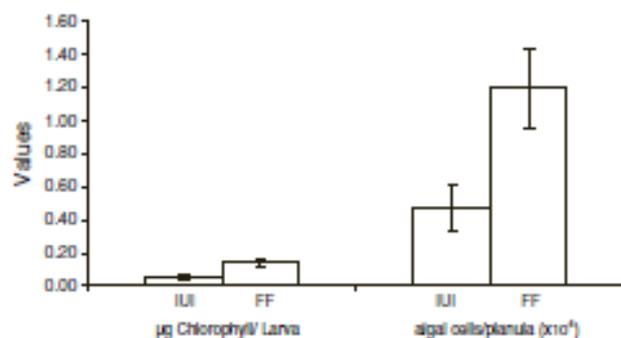
ND not done, NS not significant, S significant

<sup>a</sup> Percentage of survived planulae out of released (within 2 weeks)

<sup>b</sup> Percentage settled of survived at the first 2 weeks

<sup>c</sup> When excluding a single extreme case of 86 planulae/one colony, the value for IUI at this sampling date is 8.5 ± 7

Ainsi, le nombre de planulas collectées par colonie et leur taux de fixations ne présentaient pas de différence significative liée au site de provenance en 2005. Toutefois, le nombre de larves collectées était significativement différent en 2006, avec un nombre de larves collectées par colonie supérieur pour le site de la pépinière par rapport au récif. Il n'y avait pas de différence significative pour le taux de survie des planulas des différents sites.



**Fig. 2** Average (mean ± SE) zooxanthella numbers and chlorophyll contents per planula larva at both sampling sites

Figure 2 : Concentration en chlorophylle et nombre de zooxanthelles par planula selon les sites (IUI : récif et FF : pépinière ; Amar et Rinkevich, 2006)

10,6±2,3 mm<sup>2</sup> ; IUI : 8,7±2,7 polypes et 8,1±2,6 mm<sup>2</sup>).

Les planulas provenant de la pépinière ont aussi montré un taux de zooxanthelles significativement supérieur que celles provenant du récif comme le montre la Figure 8.

Celles-ci ont aussi montré un taux croissance supérieure à celles provenant du récif tant en nombre de nouveaux polypes qu'en surface colonisée par unité de temps (FF : 11,2±2,7 polypes et

Le nombre d'oocytes et leur taille ainsi que le nombre de gonades mâles par polypes n'était pas significativement différent entre les deux sites.

Trois points sont à retenir dans cette étude :

- les fragments âgés de 2 ans élevés en pépinière ont relâché des planulas qui se sont fixées et métamorphosées à quantité/taux égal ou supérieur aux colonies âgées de 5 ans vivant sur le récif,
- ces larves présentaient plus de zooxanthelles, une concentration plus forte en chlorophylle par larve et une plus grande taille que les larves provenant du récif,
- les larves issues de la reproduction des fragments de la pépinière ont donné des colonies avec un taux de croissance supérieur à celles provenant du récif.

Installer des pépinières à coraux contribuerait donc à l'augmentation du recrutement sur le site d'implantation, du fait du taux parfois supérieur de larves relâchées, de la plus grande présence de zooxanthelles, d'une concentration plus forte en chlorophylle et d'un taux de croissance plus élevé que pour des larves provenant d'un récif naturel.

## B) Exemples de pépinières couramment utilisés

### 1) Les pépinières suspendues de mi-eau

C'est un dispositif modulable qui flotte entre deux eaux grâce à des bouées de surface reliées à un système d'ancrage sur le fond (Figure 9). Les boutures sont disposées à une faible profondeur sur des tables.

Cette pépinière est composée de plateaux munis de filets en plastique fixés à un cadre de tubes en PVC. Ces plateaux sont assemblés en tables qui sont alors connectées entre elles et fixées aux bouées de surfaces à l'aide de cordes d'une longueur variable selon la profondeur à laquelle les tables doivent être maintenues. La structure est maintenue par des cordes attachées à des blocks de ciment qui sont posés sur le substrat (Figure 9).

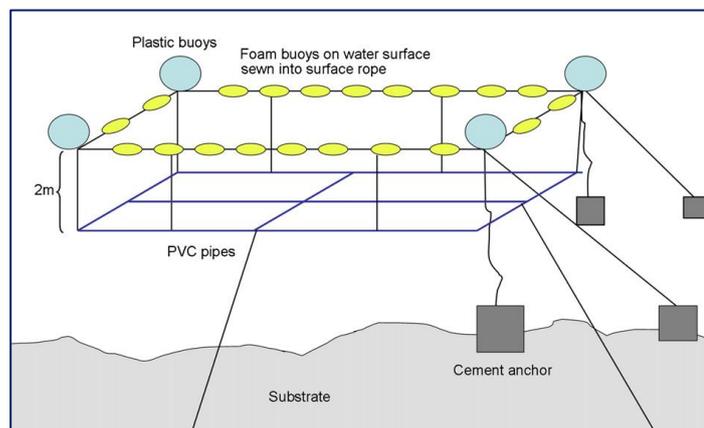


Figure 3 : Schéma d'une pépinière flottante de mi-eaux (source : Shaish et al., 2008)

Ce type de pépinière construite en Thaïlande par Shaish *et al.* (2008) a obtenu des résultats très encourageants, avec un taux de survie à 1 an de 91,1% au sein des 4184 fragments suivis

Ce type d'architecture est adapté aux zones peu agitées, car la structure ainsi déployée est directement exposée à la houle, mais permet un positionnement des plateaux d'élevage à une profondeur adaptée pour maximiser la disponibilité en lumière.

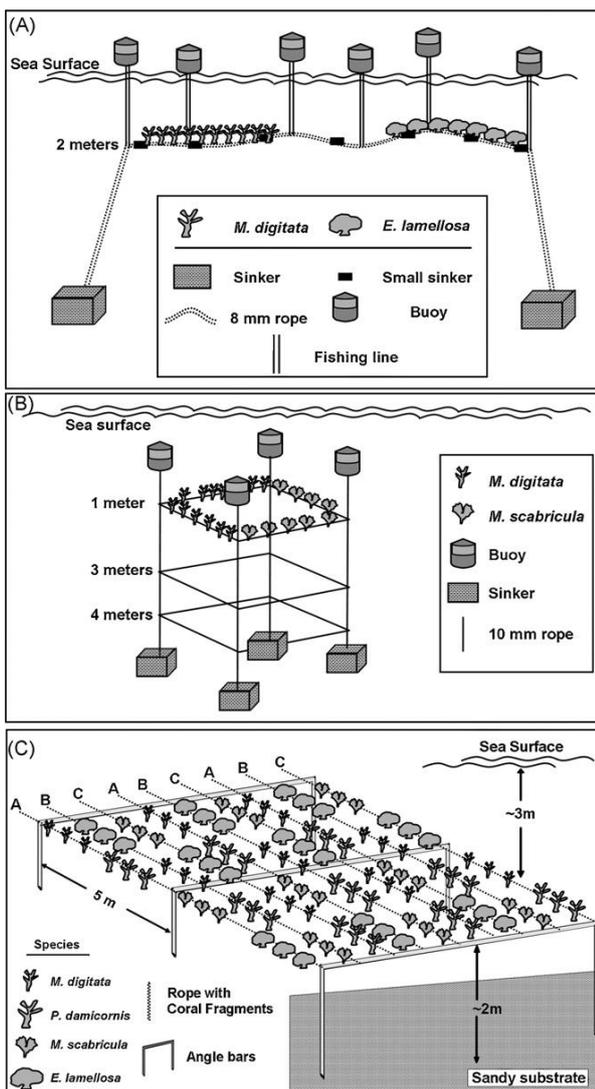
## 2) Les pépinières à cordes

Certains types de pépinières utilisent des cordes en tant que support des fragments en les insérant entre les torons. Généralement, les fragments sont insérés dans la corde avant que celle-ci ne soit placée sur la structure d'élevage. Trois types de pépinières à cordes existent :

- Les pépinières flottantes à cordes (Figure 10A)
- Les pépinières à cordes attachées au-dessus du fond (Figure 10B)
- Les pépinières à cordes fixées sur le fond (Figure 10C)

• Les pépinières flottantes à cordes (Figure 10A) : ce type d'installation est constitué de cordes maintenues entre deux eaux, attachées à intervalle régulier à des bouées de surface. La pépinière est maintenue par des cordes fixées à chaque extrémité de la ligne principale, la

reliant à des blocs de ciment servant de lest.



• Les pépinières à cordes attachées au-dessus du fond (Figure 10B) : ce type d'installation est également constitué de cordes supportant les fragments et qui sont attachées à des bouées reliées à des blocs de ciment. Cependant, ces bouées sont placées entre deux eaux, sans rejoindre la surface. Il peut y avoir plusieurs étages de cordes servant de supports aux fragments.

• Les pépinières à cordes fixées sur le fond (Figure 10C) : ce type d'installation est constitué d'arceaux, généralement en acier, fixés sur le substrat à intervalle régulier sur lesquels sont tendues des cordes accueillant les fragments de coraux.

Ces trois types de pépinières ont été testés par Levy *et al.* (2009) avec différentes espèces sur

Figure 4 : Schéma des différents types de pépinières à cordes (A) Pépinière flottante à cordes. (B) Pépinière à cordes attachées au-dessus du fond (C) Pépinière à cordes fixée sur le fond (source : Levy *et al.*, 2009)

une même structure. La pépinière flottante à cordes révèle un taux de survie significativement inférieur aux deux autres. La pépinière fixée au fond révèle le meilleur taux de survie, cependant les différences observées entre cette pépinière et celle attachée au fond seraient la conséquence des moins bons taux de survie des fragments des étages périphériques de la pépinière attachée au fond par rapport à celui de son étage central.

- Les pépinières flottantes à cordes (Figure 10A) : ce type d'installation bouge au gré des vagues et du courant, assurant une bonne circulation de l'eau et une bonne luminosité. Cette pépinière est adaptée aux sites protégés et calmes car elle est sensible à la houle.
- Les pépinières à cordes attachées au-dessus du fond (Figure 10B) : ce type d'installation est adapté aux sites protégés ou peu exposés à la houle, car bien que sensible à l'hydrodynamisme, il s'avère moins exposé aux mouvements de surface (vent, houle et courant). Ce genre de pépinière permet de gagner de la place en superposant les étages. Cependant les étages supérieurs sont plus exposés à la houle et les inférieurs sont plus exposés à la sédimentation.
- Les pépinières à cordes fixées sur le fond (Figure 10C) : ce type d'installation est adapté à tout type d'hydrodynamisme (sites protégés ou pas), la structure plus rigide étant moins sensible aux mouvements d'eau. Les sites d'implantation doivent disposer d'une bonne disponibilité en lumière, la structure étant fixée sur le substrat et donc exposée à la sédimentation.

### 3) Les pépinières à pieds fixés au substrat

Ces pépinières ont des pieds ancrés dans le substrat et sont munies d'un cadre sur lequel les boutures sont élevées. Ces cadres sont généralement des tables sur lesquelles les boutures sont posées, mais il peut y avoir une variante où les boutures sont suspendues au cadre par des fils de pêche.

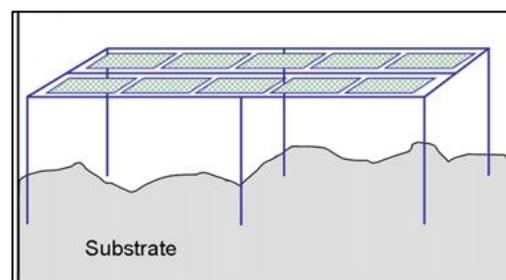


Figure 5 : Schéma d'une pépinière à pieds fixés (source : Shaish et al., 2008)

Ce type de pépinière est généralement réalisé de la même manière que les pépinières flottantes de mi-eau à ceci près que les cadres sont fixés au substrat par des pieds rigides en acier ancrés dans celui-ci (Figure 11). Il n'y a donc ni bouées, ni blocs de ciment pour maintenir la structure.

Shaish *et al.* (2008) ont testé sur un même site ce type de pépinière parallèlement à la pépinière flottante de mi-eau. Aucune différence significative au niveau des taux de survie n'a pu être démontrée. Cependant, la construction et la maintenance de ce type de pépinière était notablement plus simple et la structure était plus résistante sur la durée.

Ce type d'installation est adapté à des sites protégés à peu exposés, la structure est moins sensible à l'hydrodynamisme. Une bonne disponibilité en lumière est également nécessaire, le dispositif étant déployé sur le fond. Il est de fait plus sensible à la sédimentation. Simple à construire, il garantit un entretien aisé et une bonne résistance sur la durée.

#### 4) Les pépinières de type « arbres à coraux »

Ce type de pépinière est construit pour un déploiement entre deux eaux. C'est une structure ramifiée à plusieurs étages, mobiles au gré du courant et de la houle.

La structure est composée d'un long tuyau central (généralement en PVC), sur lequel s'insèrent des tuyaux secondaires (de diamètre inférieur) formant des ramifications. Les fragments coralliens sont implantés à intervalle régulier sur ces derniers. Une bouée fixée en position terminale du tube assure la flottabilité de la structure, dont l'ancrage est constitué d'un lest adapté (ancres ou de blocs de ciment).

Utilisé dans l'archipel des keys, au niveau de l'île Tavernier Keys en Floride, Ce type de dispositif sert à l'élevage de boutures d'*Acropora cervicornis* (Johnson *et al.*, 2011). Des taux de survie de l'ordre de 80% après la transplantation furent observés dans la pépinière.

Ce type de structure est adapté à des lieux protégés. Adapté à des zones plus profondes que les pépinières fixées au substrat, elles flottent alors entre deux eaux rendant l'élevage possible en absence de site adéquat en eaux peu profondes. Cette structure est plus sensible à l'influence de l'hydrodynamisme.

Une pépinière peut accueillir des boutures provenant de plusieurs espèces différentes en même temps. Il est conseillé de placer les pépinières dans des eaux peu profondes pour assurer une bonne disponibilité en lumière naturelle. Un lieu protégé des vagues est préférable

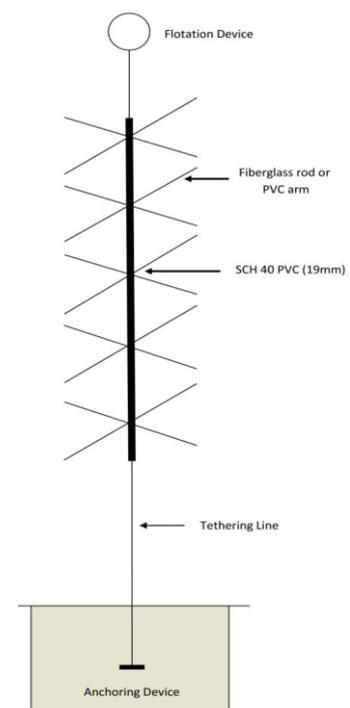


Figure 6 : Exemple de structure de pépinière "arbre à coraux" (Nedimyer *et al.*, 2011)

pour un meilleur taux de survie (moins de chocs entre fragments et de détachement de ces derniers). Il est également recommandé d'éloigner les pépinières des zones sous influences anthropogéniques, pour limiter les pressions dues aux corallivores et le développement de maladies (Rinkevich, 2005 ; Shaish *et al.*, 2008).

### **III. Implantation de pépinières par la Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin**

Sur la base du constat d'une réduction continue du couvert corallien et de la raréfaction des colonies d'*Acropora sp.*, la Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin a décidé de mettre en place une pépinière pour réhabiliter les fonds marins dégradés par les différentes pressions d'ordre biologique, anthropogénique ou dues aux changements climatiques. Pour ce faire, il a fallu cibler les espèces à élever, trouver ensuite les lieux de collecte des échantillons, sélectionner les sites potentiels d'implantation des pépinières et déterminer quel type de pépinière convenait le mieux au projet. La mise en place de pépinières implique un choix du type de technologie à déployer, influençant directement celui du lieu d'implantation.

#### **A) Choix des espèces**

Les espèces choisies pour être cultivée dans la pépinière sont du Genre *Acropora*. Les seules espèces de ce genre présentes dans la région Caraïbe sont *Acropora cervicornis* et *Acropora palmata*. Si *Acropora prolifera* est également présente, il semblerait que cette espèce soit issue de l'hybridation des deux premières. *A. palmata* et *A. cervicornis* connues pour être les principaux constructeurs coralliens des récifs caribéens, seront mis en culture dans les futures pépinières de la RNN de Saint Martin. Les *Acropora* sont connus pour être branchus et présenter une croissance rapide (> 10cm/an). Les deux espèces présentent dans la Caraïbe étaient à l'origine les plus communes de la région, mais leur nombre a fortement diminué au cours de ces dernières décennies, du fait de leur plus grande sensibilité aux facteurs naturels et anthropogéniques.

Près de 90% de la couverture en *Acropora* aurait disparu depuis les années 80 (Bruckner, 2002 ; Johnson *et al.*, 2011). Malgré la mise en protection de certaines zones, aucune résilience naturelle notable n'a pu combler le recule continu observé. Le recours à

des actions de réhabilitation actives se pose aujourd'hui comme seule alternative réaliste. En effet, en parallèle de la réduction de la couverture corallienne, le taux de recrutement des larves a lui aussi chuté, du fait des stress liés aux facteurs naturels et anthropogéniques.

Du fait de ces caractéristiques, les transplantations d'*Acropora* dans les zones dégradées pourront être rapidement mises en œuvre. Les colonies élevées dans la pépinière pourront, une fois devenues assez grandes, être fragmentées à nouveau pour avoir un plus grand nombre de boutures tout en limitant le stress occasionné aux colonies naturelles donneuses. L'utilisation de ces deux espèces dans la pépinière permettra de lutter contre le fort déclin de celles-ci, d'assurer la conservation de l'actuel reliquat de pool génétique spécifique local, mais aussi d'obtenir des résultats rapides.

## **B) Collecte des échantillons**

L'étude de Soong et Chen (2003) démontre que les fragments d'une longueur de 4 cm sont les plus appropriés pour le Genre *Acropora*. D'après les deux auteurs, les fragments collectés sur la partie proximale des colonies mères présentaient un taux de survie et de croissance supérieur par rapport aux fragments collectés sur la partie distale de celles-ci.

En l'absence de moyens de caractérisation des différents génomes disponibles en interne, l'approche tentera de maximiser la diversité génétique des échantillons en les récoltant sur différents sites et sur des colonies donneuses distantes les unes des autres. Le maintien d'une diversité génétique maximale au sein de la pépinière est primordial, afin de limiter le nombre de clones lors des futures transplantations, pour limiter la dépression génétique et la dépression de consanguinité diminuant la résilience et l'adaptabilité future des communautés coralliennes.

Des lieux d'intérêts pour la collecte des échantillons ont donc été listés (Figure 7). Le logiciel Google Earth a été utilisé pour cartographier ces sites et disposer d'une vue d'ensemble.

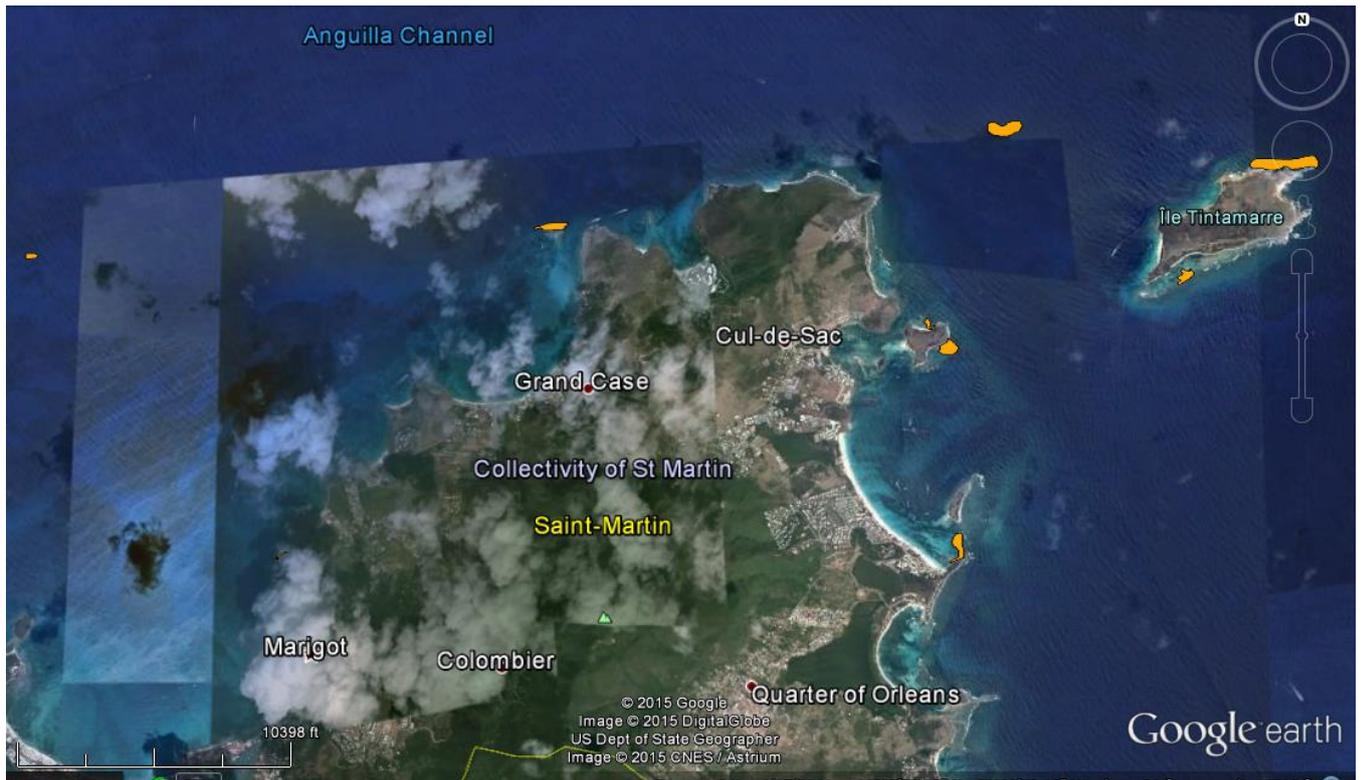


Figure 7 : Sites potentiels de collecte des fragments d'*Acropora sp.*

Les sites potentiels de collecte de fragments d'*Acropora cervicornis* et d'*Acropora palmata* sont marqués par les polygones de couleur orange. Des échantillons seront prélevés dans chaque zone afin de diversifier les origines des fragments et donc la diversité génétique des boutures élevées au sein des pépinières. Ces échantillons devront être prélevés aux endroits montrant les conditions physico-chimiques les plus proches de celles du futur site d'implantation des pépinières pour garantir les meilleurs taux de survie possibles.

Des fragments d'au moins 4 cm seront collectés directement sur les colonies à l'aide de pinces, afin de garantir un meilleur taux de survie. Ces fragments seront récoltés sur des branches jeunes, offrant une meilleure dynamique de croissance, ainsi qu'une plus grande simplicité de collecte. Un total de 112 fragments d'*Acropora palmata* et 112 fragments d'*Acropora cervicornis* seront collectés, afin de disposer d'une cinquantaine de boutures de chaque espèce par pépinière. 1 fragment par colonie mère donneuse sera installé dans chaque pépinière afin de suivre leur croissance dans un contexte environnemental différent. Un maximum de 14 fragments par espèce (7 colonies mères donneuses) seront collectés sur un total de 8 sites échantillonnés, afin d'homogénéiser le plan de collecte et de maximiser le potentiel du pool génétique au sein des futures pépinières. Le nombre de fragments à récolter pour la pépinière de sensibilisation sera de 25 boutures par espèce.

## C) Implantation des pépinières

Trois pépinières seront construites, deux d'entre elles dans le but de réhabiliter les récifs endommagés et la troisième, de taille plus réduite, dans un objectif de communication et de sensibilisation au sein du sentier sous-marin ouvert au public au niveau de l'îlet Pinel.

### 1) Sélection des sites d'implantation

Les sites retenus devront être à faible profondeur pour garantir une bonne disponibilité lumineuse et être abrités pour préserver l'intégrité des structures et des boutures sur le long terme. Ils devront être situés à distance du récif pour limiter l'éventuelle propagation de maladies ou le transfert de prédateurs potentiels. Ils devront également être faciles d'accès, disposer d'un bon renouvellement d'eau et exempts de toute pollution d'origine anthropique.

Cinq sites ont ainsi été proposés pour accueillir les futures pépinières. Ces derniers sont représentés sur la carte suivante (Figure 8).

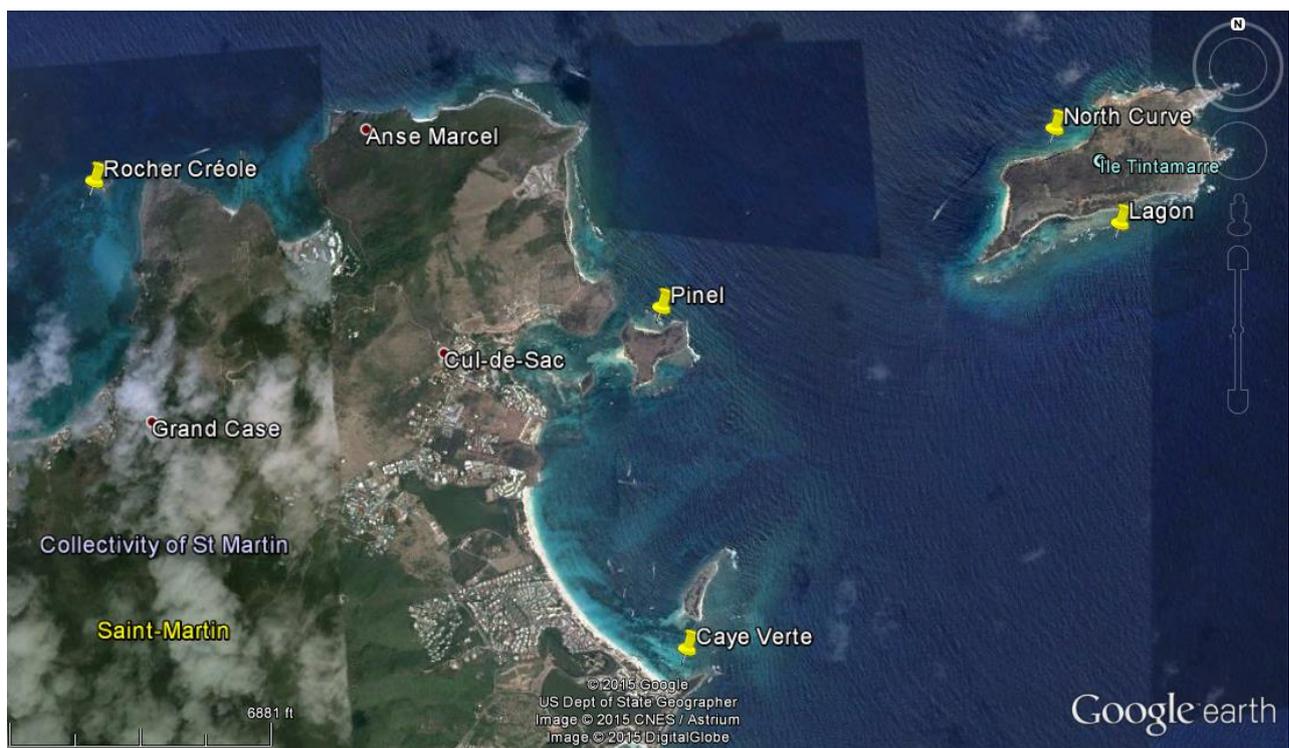


Figure 8 : Sites potentiels d'implantation des futures pépinières (Google Earth)

Seuls 2 sites seront retenus au terme d'une sélection basée sur un système de notation spécialement élaboré à cet effet. Chaque paramètre considéré fut ainsi évalué selon un barème à 3 niveaux (-1 ; 0 ; 1), 1 étant la meilleure note. Chaque critère a aussi été doté d'un coefficient noté C, pondérant l'importance des critères entre eux. Le coefficient augmente avec l'importance du critère pour la réussite des pépinières. Un tableau comparatif (Tableau 7)

présente ainsi les notes globales attribuées à chaque site, selon certains critères importants pour l'implantation d'une pépinière corallienne. Les sites ayant la meilleure note ont été choisis.

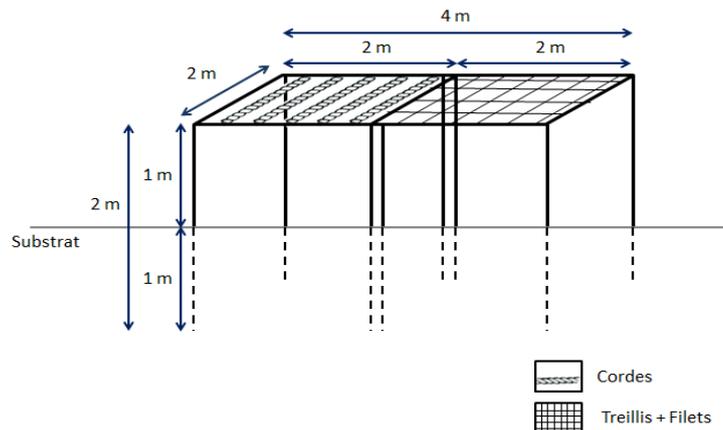
**Tableau 7 : Tableau comparatif des différents sites proposés pour l'implantation des futures pépinières**

Site	Profondeur (C 1)	Fréquentation (C 2)	Qualité de l'eau (C 1,5)	Renouvellement de l'eau (C 1)	Exposition (C 2)	Température (C 2)	Note globale
Rocher Créole	1	-1	0	1	0	1	2
Tintamarre (North curve)	1	1	1	1	1	1	9,5
Tintamarre (lagon)	0	1	1	1	1	-1	4,5
Pinel	0	-1	-1	1	1	-1	-2,5
Caye verte	0	0	1	1	-1	1	2,5

D'après les notes globales, les meilleurs sites sont le site de North curve (Tintamarre ; note de 9,5), Le Lagon (Tintamarre ; 4,5), ainsi que Caye verte (2,5). Le site de North curve a donc été retenu. Le second site d'implantation aurait dû être Le Lagon, mais la nécessité d'éloigner les deux sites d'implantation l'un de l'autre, implique l'abandon de ce dernier au profit de celui de Caye verte. Ce dernier sera donc le second lieu d'implantation d'une pépinière puisqu'il a obtenu la meilleure note après les deux sites de Tintamarre.

## 2) Construction des pépinières

Les trois pépinières seront des pépinières fixées au substrat du fait de l'exposition à la houle de la façade marine accueillant la RNN ; qui comporteront deux parties de même surface : une à cordes accueillant les fragments d'*Acropora cervicornis* et une en tables accueillant les fragments d'*Acropora palmata*.



**Figure 9 : Schéma du prototype des pépinières**

Les deux pépinières de réhabilitation des récifs endommagés présenteront des dimensions de 2 m x 4 m situées à un mètre au-dessus du substrat. Les pieds seront constitués de fer à béton de 16 mm de diamètre et 2 m de longueur pour un encrage d'un mètre de profondeur dans le substrat et une élévation des tables à 1 mètre au-dessus du fond. Chaque pépinière disposera de huit pieds : un à chaque extrémité et un intermédiaire sur chaque face.

La partie supérieure de chaque structure sera divisée en deux parties distinctes : une moitié accueillant des cordes et l'autre couverte de grillage fixé sur le cadre métallique. La partie à corde sera construite avec un cadre en fer soudé de 2x2 m et de diamètre 16 mm sur lequel des cordes seront tendues. La partie grillagée sera construite à l'aide d'un treillis en fer à béton ( $\varnothing$  : 8 mm) d'une dimension de 2x2,4 m, dont 40 cm seront utilisés pour assurer la fixation du treillis sur le cadre principal accueillant des rectangles de grillage (50x60 cm) d'une mailles 10x10 mm.

Les boutures d'*Acropora palmata* seront placées sur un support en béton en forme de palet, fixé sur le filet au moyen de colliers. Ces palets seront cylindriques et d'épaisseur 1 cm. Lors du moulage, une tige en fer sera insérée au milieu et servira à maintenir le palet dans les mailles de filet. De part et d'autre de cette tige, deux pailles seront placées afin de disposer de deux trous pour la

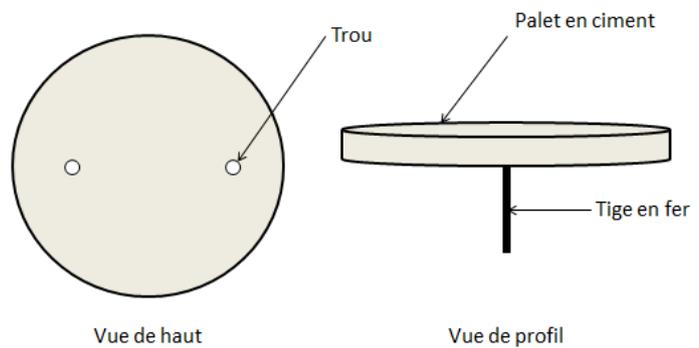


Figure 10 : schéma type d'un palet en ciment

fixation. Ils permettront d'améliorer le maintien des palets à l'aide de fil de fer ou de serre-câble les liant au filet. Chaque partie accueillera au départ 50 fragments et il restera un espace libre destiné accueillir 50 autres fragments.

Les fragments d'*Acropora cervicornis* seront insérés entre les torons formant les cordes tandis que les fragments d'*Acropora palmata* seront fixés sur les supports à l'aide de scellement chimique (Résine Hilti HIT-RE 500).

La pépinière de sensibilisation à implanter à proximité de l'Ilet, sera constituée d'une partie supérieure de treillis de fer de 2x2,4 m dont 2 fois 20 cm seront utilisés pour la fixation sur le cadre principal. Une moitié sera découpée afin d'accueillir des filières et l'autre sera couverte de filets. Il y aura quatre pieds, un à chaque coin, qui seront faits à partir du même matériel et implantés de la même façon que pour les 2 autres structures.

## IV. Conclusion

La réhabilitation des récifs coralliens endommagés est une nécessité devenant de plus en plus courante. Elle se pose comme seule alternative face au déclin de la couverture corallienne induit par les menaces d'origines biologiques, anthropogéniques et les changements climatiques, sources de pression limitant la résilience des récifs. Plusieurs méthodes de réhabilitation des récifs coralliens existent, les plus courantes étant la transplantation directe (translocation de colonies d'un récif sain vers un récif endommagé), le captage et l'élevage de larves coralliennes, le jardinage de boutures coralliennes. Cette dernière approche semble très prometteuse en offrant de nombreux avantages. Elle permet de limiter le stress de la transplantation directe, en imposant une période d'acclimatation et de grossissement des fragments en pépinières. Après cette phase d'élevage, les colonies sélectionnées peuvent être refragmentées pour donner de nouveaux fragments. Les travaux réalisés concluent à un taux de survie supérieur à celui d'une transplantation directe. Cette méthode permet d'avoir un stock permanent de nouvelles colonies transplantables à tout moment, avantage notable en cas de sinistre massif impactant un récif. Peu honéreux, le jardinage de coraux est également simple à réaliser. Enfin, l'implantation *in situ* d'une pépinière génère une augmentation notable du recrutement naturel des larves dans le milieu.

La Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin a donc décidé de mettre en place trois pépinières de coraux. Ces dernières accueilleront deux espèces de coraux, *Acropora cervicornis* et *Acropora palmata*, autrefois les plus courantes en région Caraïbe et ayant subi un déclin de 90% de leur couverture depuis ces deux dernières décennies. Une fois les pépinières réalisées et les fragments mis en place, des protocoles de suivi et de maintenance seront mis en place d'abord chaque semaine, puis mensuellement afin de retirer les coraux morts, prévenir le développement de maladies, mesurer leur taux de croissance et vérifier l'intégrité de la structure. Après développement des fragments, ils seront transplantés dans les récifs endommagés de la Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin.

La mise en place des pépinières auront lieu en juin 2015. Dans les études similaires la transplantation des fragments avait lieu au bout d'un an d'élevage en pépinière, soit des fragments de 15 à 20cm dans notre cas, compte tenu du taux de croissance des *Acropora sp.* Des collaborations avec Saint-Barthélemy et la Martinique sont en discussion.

## Bibliographie :

- Allahgholi, A. (2014). *Coral reef restoration – A guide to effective rehabilitation techniques*. **Mémoire de master**
- Amar, K.O., Rinkevich, B. (2006). *A floating mid-water coral nursery as larval dispersal hub : testing an idea*. **Mar Biol (2007) 151:713-718**.
- Bruckner, A.W. (2002). *Proceedings of the Caribbean Acropora Workshop: Potential Application of the U.S. Endangered Species Act as a Conservation Strategy*. **NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-24, Silver Spring, MD 199 pp.**
- Edwards, A.J., Clark, S. (1998). *Coral transplantation : A Useful Management Tool or Misguided Meddling ?*. **Marine Pollution Bulletin Vol. 37, Nos. 8-12, pp.474-487 , 1998**.
- 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.**
- Ferrario, F., Beck, M. W., Storlazzi C. D., Micheli, F., Shepard, C. C., Airoidi, L. (2014). *The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation*. **Nature Communications 5, Article number : 3794**.
- Johnson, M. E., C. Lustic, E. Bartels, I. B. Baums, D. S. Gilliam, L. Larson, D. Lirman, M. W. Miller, K. Nedimyer, S. Schopmeyer, 2011. *Caribbean Acropora Restoration Guide: Best Practices for Propagation and Population Enhancement*. **The Nature Conservancy, Arlington, VA**.
- Levy, G., Shaish, L., Haim, A., Rinkevich, B. (2009). *Mid-water rope nursery-Testing design and performance of a novel reef restoration instrument*. **Ecological Engineering 36 (2010) 560-569**.
- Nedimyer, N., Gaines, K., Roach, S. (2011). *Coral Tree Nursery © : An innovative approach to growing corals in an ocean-based field nursery*. **AAFL Bioflux, 2011, Volume 4, Issue 4**.
- Reyes-Nivia, C., Diaz-Pulido, G., Kline, D., Guldborg, O-H., Dove, S. (2013). *Ocean acidification and warming scenarios increase microbioerosion of coral skeletons*. **Global Change Biology (2013) 19, 1919-1929**.
- Rinkevich, B. (2005). *Conservation of Coral Reefs through Active Restoration Measures : Recent Approaches and Last Decades Progress*. **Environ. Sci. Technol. 2005, 39, 4333-4342**.
- Roth, M. S. (2014). *The engine of the reef: photobiology of the coral–algal symbiosis*. **Frontiers in microbiology**.

- Shaish, L., Levy, G., Gomez, E., Rinkevich, B. (2008). *Fixed and suspended coral nurseries in the Philippines : Establishing the first step in the “gardening concept” of reef restoration*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** **358** (2008) **86-97**.
- Stambler, N., Levy, O., Vaky, L. (2008). *Photosynthesis and respiration of hermatypic zooxanthellate Red Sea corals from 5–75-m depth*. **Israel Journal of Plant Sciences** **Vol.56**, pp. **45–53**.
- Sujirachato, P., Thamrongnawasawat, T., Thongtham, N., Jantrarotai, P., Worachananant, S. (2013). *Survival rate of coral fragments transplanted by different methods*. **Galaxea, Journal of Coral Reef Studies (Special Issue):** **351-358** (2013).
- Vimal, J. (2007). *Physiopathologie des coraux*. **Thèse doctorale**.

## Webographie :

- <http://coraux.univ-reunion.fr>

## Annexes

### Annexe 1 : Synthèse des différentes menaces et pressions pour les coraux, leurs causes et leurs conséquences

	Menaces locales biologique		Menaces anthropogéniques			Changement climatique		
Type de menace	Maladies ex : maladie de la bande noire	espèces invasives	Eutrophisation	Surpêche	Activité récréatives non-respectueuses	Augmentation de la fréquence des épisodes météorologiques majeurs	Acidification des eaux	Blanchissement corallien
Cause	La cyanobactérie <i>Phormidium corallyticum</i> serait l'agent principal. <i>Spirulina</i> sp et <i>Beggiatoa</i> sp semblent jouer un rôle secondaire. La présence de sédiment, de toxiques chimiques produits par les algues, l'élévation de la température et la variation de la salinité augmentent la prévalence de la maladie	plusieurs causes possibles : épisodes invasifs rapides, introduction d'espèces, diminution de leurs prédateurs	Augmentation de la population locale, mauvais traitement des eaux usées, lessivages des sols agricoles	Augmentation de la demande en nourriture due à l'augmentation de la population	Augmentation du tourisme, engouement pour le snorkeling et la plongée sous-marine, augmentation de la circulation de bateaux	Augmentation de la température, de l'intensité de la houle	augmentation du CO2 dans l'atmosphère et les océans, conduisant à son acidification	Augmentation de la température
Conséquences	Destruction du tissu corallien par manque d'oxygène et exposition aux sulfures d'hydrogène produit par les bactéries au niveau de la zone de contact avec la bande noire. Laisse le squelette dénudé, généralement, mort de la colonie	Remplacement des coraux, intensification de la compétition (lumière ou espace) ou de la prédation	Augmentation des macroalgues, compétition pour l'espace, étouffement, diminution de la lumière, augmentation de la sédimentation	Déstabilisation du réseau trophique pouvant aboutir à l'augmentation des corallivores et d'espèces invasives se substituant aux coraux	Stress et dégradation physique des récifs	Intensification des dégradations physiques naturelles des récifs	Dissolution du squelette en aragonite des coraux, ralentissement de sa production	Expulsion des Zooxanthelles privant les coraux de source de nourriture et facilitant le développement de maladies coralliennes

**Résumé :** Face au déclin rapide de la couverture corallienne depuis trois décennies, conséquence de pressions biologiques, anthropogéniques mais aussi liées aux changements climatiques ; une méthode de réhabilitation des récifs endommagés, le jardinage de coraux, est de plus en plus utilisée. Elle implique deux étapes : l'élevage de fragments coralliens en pépinière, puis la transplantation des colonies matures issues de l'élevage dans les récifs endommagés. Cette méthode offre de nombreux avantages : elle permet de limiter le stress sur les colonies donneuses, d'augmenter le taux de survie ainsi que le taux de recrutement de larves au niveau du lieu d'implantation de la pépinière et garantit la disponibilité d'un stock permanent de colonies transplantables. La Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin a décidé d'appliquer cette méthode pour réhabiliter les espèces du Genre *Acropora* dans les récifs endommagés en implantant trois pépinières. Pour ce faire, il a fallu choisir les sites d'implantation des pépinières selon certains critères (luminosité ou hydrodynamisme par exemple), les sites de collecte des échantillons offrant une diversité génétique maximale, ainsi que le type de pépinière (à pieds fixés au substrat et accueillant à surfaces égales des filières à *A. cervicornis* et de surfaces grillagées pour *A. palmata*).

**Mots-clés :** *Récif, Réhabilitation, Jardinage de coraux, Pépinière, Saint-Martin, Acropora sp., in-situ*

**Abstract:** Because of the fast decline of the coral cover since the three last decades, due to biological, anthropogenic threats and global change, the coral gardening concept, a restoration method of damaged reefs, is more and more used. This method can be separate in two stages: first, the raise of coral fragments in a nursery and then the transplantation of mature colonies from the nursery. It provides lots of advantages such as limiting the stress on donor colonies, increasing survivorship and the recruitment rate of larvae in the site of implantation and offering a permanent stock of transplantable colonies. The Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin decided to use this method in order to restore species of the Genus *Acropora* in the damaged reefs in implanting three nurseries. Implantation sites were chosen according to some criteria (for example water luminosity or hydrodynamism). Collection sites were chosen in order to maintain the maxima of genetic diversity. The chosen type of nursery is fix-legs nursery. For each one, half of the structure will be built with ropes and will be holding *Acropora cervicornis* fragments and the other half will be a table type and will be holding *Acropora palmata* fragments.

**Keywords:** *Reef, Restoration, Coral gardening, Nursery, Saint-Martin, Acropora sp., in-situ*