

Association  
Parc Marin Réunion



Université de La Réunion



DESS  
Sciences et Gestion de  
L'Environnement  
Tropical

# Effet Réserve : Synthèse bibliographique en milieu marin et mise en place d'un protocole de suivi à la Réunion



Fond sous-marin de l'île de la Réunion (Photographie T.SORIANO / J. CARATINI)

SEVERIN Thierry

2000 - 2001

**Avis au lecteur :**

***Le présent document constitue un mémoire de stage professionnel et son contenu est sous la responsabilité exclusive de son auteur.***

# Remerciements

Je ne saurais commencer ce travail sans remercier chaleureusement toutes les personnes sans lesquelles il n'aurait pas pu voir le jour :

- Ms. Philippe BERNE et Alain BARCELO, respectivement Président et Directeur du Parc Marin, qui m'ont accueilli au sein de l'association.
- M<sup>elle</sup>. Marylène MOYNE-PICARD, Responsable Scientifique du Parc Marin pour son soutien, sa sympathie et ses conseils avisés.
- M<sup>me</sup>. Pascale CHABANET, maître de conférences à l'Université de la Réunion, qui m'a beaucoup aidé dans ma recherche documentaire, mes prises de contacts et qui m'a fait partager son expérience pour les suivis ichthyologiques.
- M<sup>me</sup> Odile NAIM, maître de conférences à l'Université de la Réunion et M. Lionel BIGOT, ingénieur à l'ARVAM, tous deux spécialistes des peuplements coralliens, pour leurs conseils sur la mise en place des suivis des peuplements benthiques.
- M. Emmanuel TESSIER et M. David ROSS, chercheurs respectivement au CRPM et à l'IFREMER et M. Patrick DURVILLE, directeur de l'Aquarium de la Réunion, qui m'ont consacré de leur temps pour me faire partager leurs expériences au niveau des suivis ichthyologiques et halieutiques.
- L'ensemble du personnel du Parc Marin, David DERAND, responsable de la sensibilisation, Bruce GAUVIN, responsable des éco-gardes, les éco-gardes : Bertrand LAURET, Bertrand LUCAS, Christophe CADET, Dominique HIBON, Mickael LEGRAS, Pierre-Yves MILLELIRI, Willy DOMITIN, Yannick CLAIN et les secrétaires : Christine SINAMA et Raïssa ZITTE, pour leur accueil, leur sympathie, leur soutien, leurs conseils et surtout pour m'avoir fait sentir appartenir au Parc Marin. Tous à leur manière ont fait de ce stage, pour moi, au-delà d'un enrichissement professionnel, une réelle expérience humaine me laissant une profonde trace d'amertume pour mon départ.

# Sommaire

## Première partie : Contexte général

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction .....   | 3  |
| 1.1. Le cadre de l'étude .....  | 3  |
| 1.2. La structure d'accueil : Association Parc Marin de la Réunion .....    | 3  |
| 1.2.1. Origine et composition .....   | 3  |
| 1.2.2. Missions .....   | 3  |
| 1.2.3. Moyens financiers et matériels .....                                 | 4  |
| 1.2.4. Evolution.....   | 4  |
| 2. La problématique des récifs coralliens dans le monde.....                | 5  |
| 2.1. Les caractéristiques générales des récifs coralliens.....              | 5  |
| 2.2. Les intérêts des récifs coralliens.....                                | 5  |
| 2.3. Les causes de dégradations.....  | 6  |
| 2.3.1. Phénomènes naturels .....  | 6  |
| 2.3.2. Activités anthropiques .....   | 7  |
| 2.3.2.1. Pressions directes .....   | 7  |
| 2.3.2.2. Pressions indirectes.....  | 8  |
| 2.4. Le cas de l'île de la Réunion .....                                    | 8  |
| 2.4.1. Situation géographique .....   | 8  |
| 2.4.2. Morphologie des récifs réunionnais.....                              | 9  |
| 2.4.3. Facteurs océanographiques : marées, houles et courants.....          | 10 |
| 2.4.4. Enjeux relatifs aux récifs à la Réunion.....                         | 11 |
| 2.4.5. Structures de gestion et cadre réglementaire actuel.....             | 11 |
| 2.4.5.1. Structures de gestion .....  | 11 |
| 2.4.5.2. Outils réglementaires .....  | 12 |
| 3. Le projet de réserve naturelle marine à la Réunion.....                  | 13 |
| 3.1. L'historique de la réserve.....  | 14 |
| 3.2. Le contexte juridique et la mise en œuvre d'une réserve naturelle..... | 14 |
| 3.3. Les objectifs du suivi de l'Effet Réserve .....                        | 15 |

## Deuxième partie : Synthèse bibliographique sur l'Effet Réserve en milieu marin

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 19 |
| 1. L'impact de la mise en place d'une réserve marine sur la communauté biologique : l'Effet Réserve ..... | 21 |
| 1.1. Les modifications de la structure des communautés .....  | 21 |
| 1.1.1. Variations d'abondance .....   | 21 |
| 1.1.1.1. Généralités .....  | 21 |
| 1.1.1.2. Effet Cascade .....  | 22 |
| 1.1.3. Effet Refuge .....   | 23 |
| 1.1.3.1. Augmentation de la diversité biologique .....  | 23 |
| 1.1.3.2. Augmentation de la taille des individus et de la biomasse .....                                  | 23 |
| 1.1.3.3. Reproduction favorisée .....   | 24 |
| 1.1.3.4. Exportation de biomasse vers des zones non protégées .....                                       | 25 |
| 1.1.4. Effet Tampon .....   | 27 |
| 1.1.5. Effet de Concentration .....   | 27 |
| 1.2. Les modifications éthologiques .....   | 27 |
| 1.2.1. Comportement envers l'homme .....  | 28 |
| 1.2.2. Comportement reproducteur .....  | 28 |
| 1.3. Les modifications de la distribution spatiale .....  | 28 |
| 1.3.1. Réoccupation des zones désertées .....   | 28 |
| 1.3.2. Effet Bordure .....  | 29 |
| 1.4. Les effets négatifs de la réserve sur les communautés marines .....                                  | 29 |
| 2. L'expertise scientifique pour le suivi de l'Effet Réserve en milieu marin .....                        | 30 |
| 2.1. Les paramètres étudiés .....   | 30 |
| 2.2. L'échantillonnage .....  | 31 |
| 2.2.1. Sites d'étude et principes d'échantillonnage .....   | 31 |
| 2.2.2. Méthodes d'échantillonnage .....   | 31 |
| 2.2.2.1. Méthodes pour le suivi de l'Effet Réserve sur le peuplement ichtyologique .....                  | 32 |
| 2.2.2.2. Méthodes d'étude du substrat et des macro-organismes benthiques .....                            | 35 |
| 3. Les causes de non mise en évidence de l'Effet Réserve et les précautions à prendre .....               | 36 |
| 3.1. La conception de la réserve .....  | 36 |
| 3.1.1. Considérations biologiques .....   | 37 |
| 3.1.2. Considérations sociales .....  | 38 |
| 3.1.3. Considérations réglementaires .....  | 38 |

|  |    |
|--|----|
| 3.2. La gestion de la réserve .....  | 39 |
| 3.3. Les précautions pour la mise en place d'un suivi de l'Effet Réserve ..... | 40 |
| 3.4. L'influence des facteurs naturels .....                                   | 40 |
| Conclusion.....  | 41 |

## **Troisième partie : Protocole de suivi de l'Effet Réserve à la Réunion**

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction .....   | 46 |
| 1.1. Le choix des secteurs, des sites et des stations.....                                  | 47 |
| 1.1.1. Secteurs et sites.....   | 48 |
| 1.1.2. Stations .....   | 48 |
| 1.2. Les généralités sur l'échantillonnage et la collecte de données en milieu récifal..... | 50 |
| 1.2.1. Méthodes d'échantillonnage.....  | 50 |
| 1.2.2. Règles générales .....   | 52 |
| 2. Le scénario1 .....   | 53 |
| 2.1. L'étude des paramètres environnementaux.....   | 54 |
| 2.2. L'étude du peuplement ichtyologique.....   | 57 |
| 2.2.1. Nombre et taille des espèces cibles .....  | 57 |
| 2.2.2. Richesse spécifique.....   | 61 |
| 2.3. L'étude des peuplements benthiques (substrats biotiques et abiotiques).....            | 62 |
| 2.3.1. Recouvrement des différents types de substrat.....                                   | 62 |
| 2.3.2. Croissance, mortalité et recrutement corallien .....                                 | 64 |
| 2.3.3. Richesse spécifique.....   | 66 |
| 3. Le scénario 2 .....  | 67 |
| 3.1. L'étude approfondie du peuplement ichtyologique .....                                  | 67 |
| 3.2. L'étude approfondie du peuplement corallien .....                                      | 69 |
| 3.3. L'étude de pêche .....   | 71 |
| 4. Les Propositions d'études complémentaires .....  | 75 |
| 4.1. Les études à caractère écologique .....  | 75 |
| 4.1.1. Etude de l'Effet Réserve sur le poulpe : Octopus ssp .....                           | 75 |
| 4.1.2. Etude des modifications comportementales de la macro-faune récifale .....            | 76 |
| 4.1.3. Etude sur les peuplements ichtyologiques nocturnes .....                             | 76 |
| 4.1.4. Etude des échinodermes .....   | 77 |
| 4.1.5. Etude des peuplements de crustacés.....  | 77 |

|  |         |
|--|---------|
| 4.1.6. Colonisation du récif par des larves de poissons et de coraux. ....                     | 77      |
| 4.1.7. Etude des modifications de la structure trophique de la<br>communauté récifale.....     | 77      |
| 4.2. L'étude des impacts socio-économiques de la réserve .....                                 | 78      |
| 5. Le traitement des données .....   | 78      |
| 5.1. La caractérisation des stations et des sites.....   | 78      |
| 5.1.1. Suivi du peuplement ichtyologique .....   | 79      |
| 5.1.1.1. Nombre et taille.....   | 79      |
| 5.1.1.2. Richesse spécifique.....  | 81      |
| 5.1.2. Suivi du peuplement benthique .....   | 81      |
| 5.1.2.1. Recouvrement des différents types de substrat (méthode des<br>transect benthos) ..... | 81      |
| 5.1.2.2. Croissance, mortalité et recrutement corallien (méthode des<br>Photo-quadrats) .....  | 82      |
| 5.1.3. Suivi de l'activité de pêche .....  | 84      |
| 5.2. La mise en évidence de l'Effet Réserve .....  | 84      |
| 5.2.1. Comparaison des sites et stations à un instant donné .....                              | 85      |
| 5.2.1.1. Interprétation graphique des données. ....  | 85      |
| 5.2.1.2. Interprétation statistique des données .....  | 85      |
| 5.2.1.2.1. Les tests statistiques .....  | 86      |
| 5.2.1.2.2. L'analyse multivariée.....  | 89      |
| 5.2.2. Qualification de l'évolution temporelle. ....   | 89      |
| <br><b>Conclusion Générale</b> .....   | <br>91  |
| <br><b>Bibliographie</b> .....   | <br>94  |
| <br><b>Annexe</b> .....  | <br>105 |

# Première partie : Contexte général

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction .....  | 3  |
| 1.1. Le cadre de l'étude .....   | 3  |
| 1.2. La structure d'accueil : Association Parc Marin de la Réunion .....     | 3  |
| 1.2.1. Origine et composition .....  | 3  |
| 1.2.2. Missions .....  | 3  |
| 1.2.3. Moyens financiers et matériels .....                                  | 4  |
| 1.2.4. Evolution .....   | 4  |
| 2. La problématique des récifs coralliens dans le monde .....                | 5  |
| 2.1. Les caractéristiques générales des récifs coralliens .....              | 5  |
| 2.2. Les intérêts des récifs coralliens .....                                | 5  |
| 2.3. Les causes de dégradations .....  | 6  |
| 2.3.1. Phénomènes naturels .....   | 6  |
| 2.3.2. Activités anthropiques .....  | 7  |
| 2.3.2.1. Pressions directes .....  | 7  |
| 2.3.2.2. Pressions indirectes .....  | 8  |
| 2.4. Le cas de l'île de la Réunion .....                                     | 8  |
| 2.4.1. Situation géographique .....  | 8  |
| 2.4.2. Morphologie des récifs réunionnais .....                              | 9  |
| 2.4.3. Facteurs océanographiques : marées, houles et courants .....          | 10 |
| 2.4.4. Enjeux relatifs aux récifs à la Réunion .....                         | 11 |
| 2.4.5. Structures de gestion et cadre réglementaire actuel .....             | 11 |
| 2.4.5.1. Structures de gestion .....   | 11 |
| 2.4.5.2. Outils réglementaires .....   | 12 |
| 3. Le projet de réserve naturelle marine à la Réunion .....                  | 13 |
| 3.1. L'historique de la réserve .....  | 14 |
| 3.2. Le contexte juridique et la mise en œuvre d'une réserve naturelle ..... | 14 |
| 3.3. Les objectifs du suivi de l'Effet Réserve .....                         | 15 |

# 1. Introduction

## 1.1. Le cadre de l'étude

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la réalisation d'un stage de DESS Sciences et Gestion de l'Environnement Tropical effectué à l'Association Parc Marin de la Réunion sous la direction de Marylène MOYNE-PICARD, Responsable Scientifique du Parc Marin et de Pascale CHABANET, maître de conférence à l'Université de la Réunion, laboratoire d'Ecologie Marine.

Commanditée par le Parc Marin, elle s'est déroulée dans ses locaux durant 4 mois (février – mai 2001). Ce travail participe à un projet de préservation de l'écosystème corallien à la Réunion par la mise en place d'une réserve naturelle marine.

## 1.2. La structure d'accueil : Association Parc Marin de la Réunion

### 1.2.1. Origine et composition

Le Parc Marin de la Réunion est une association loi 1901 créée le 17 juillet 1997 à l'initiative du Conseil Régional suite à plusieurs années de négociations et à la prise de conscience générale des menaces importantes qui pèsent sur les récifs coralliens réunionnais. Elle est constituée d'institutionnels (Région, Département, Communes, Université ...), de socioprofessionnels (Chambres Consulaires, Comité des pêches ...), de membres d'associations (associations de protection de la nature, de pêcheurs, d'éducation populaire, ligues sportives) et d'usagers du milieu récifal. Les communes adhérentes sont Saint-Paul, Trois-Bassins, Saint-Leu, Etang-Salé, Saint-Louis, Saint-Pierre et Petite-Ile. Elles sont situées sur les côtes Ouest et Sud de l'île, zone d'implantation des récifs coralliens, qui constitue le rayon d'action du Parc Marin.

Le Parc Marin comprend des instances délibératives (un Conseil d'Administration et un Bureau) et une instance consultative (le conseil scientifique) qui se réunissent régulièrement. L'équipe technique permanente de l'association est composée de 3 cadres (un directeur, une responsable scientifique et un responsable de l'éducation et de la sensibilisation) de 2 secrétaires et de 9 éco-gardes marins. Ces derniers sont les agents de terrain. Ils assurent les missions de sensibilisation, de surveillance, d'alerte et de soutien auprès des scientifiques ainsi que certains suivis scientifiques.

### 1.2.2. Missions

Le Parc Marin est chargé de multiples missions qu'il doit mener de front simultanément. Les missions statutaires du Parc Marin sont au nombre de 6 et sont abordées ci-dessous :

1 – Promouvoir et réaliser des missions d'information, de sensibilisation et d'éducation, relatives aux zones littorales et récifales, leur rôle, leur richesse, leur fragilité et leur nécessaire préservation, auprès de tous les acteurs concernés (grand public, élus, socioprofessionnels, plaisanciers, scolaires, etc.)

2 – Elaborer et animer un programme scientifique ciblé prioritairement sur les récifs coralliens avec l'ensemble des partenaires concernés. Ce programme devra s'attacher notamment à suivre l'évolution de l'état de santé des récifs réunionnais.

3 – Mettre en œuvre des moyens complémentaires en matière d'application des réglementations ayant un lien avec l'objet de l'Association en coordination avec les moyens existants.

4 – Contribuer à l'amélioration des protections réglementaires des zones littorales et récifales (en particulier la réserve marine) en liaison avec l'ensemble des partenaires.

5 – Devenir un partenaire privilégié en matière de développement durable et de Gestion Intégrée des Zones Côtière et des bassins versants.

6 – Etudier et définir la structure définitive la mieux appropriée qui succédera à l'Association.

### 1.2.3. Moyens financiers et matériels

Le Parc Marin dispose d'un budget de fonctionnement de 2,25 millions de francs en 2001 (salaire, consommable, etc. ) dont la moitié provient du Conseil Régional, un quart du Conseil Général et le dernier quart des 7 communes adhérentes. La participation des communes est basée sur deux critères : la longueur du lagon et la population littorale sur leur territoire.

Le Parc marin a bénéficié, à sa création, d'une aide à l'équipement de l'Union Européenne (FEDER) et de l'Etat (FIDOM et DIREN) d'un montant de 800 KF. Ce budget d'investissement n'a pas été renouvelé et l'Association ne dispose plus de budgets d'équipements actuellement, ce qui pose quelques problèmes.

Le programme d'action annuel du Parc Marin est financé par l'Union Européenne, l'Etat, le Conseil Régional et le Conseil Général. Du fait de la montée en charge de la structure, ces subventions ont fortement augmenté en un laps de temps très court. Elles sont passées de 190 KF en 1998 à 1,9 millions de francs en 2001.

L'équipe technique dispose de la plupart des équipements nécessaires au fonctionnement efficace de l'association (postes informatiques en réseaux, moyens de communication, etc. ). Le matériel de terrain comprend 2 bateaux semi-rigides de 4,60 m, 3 voitures ainsi que divers matériels (GPS, GSM, caméra numérique et caisson étanche, appareil photographique, ...).

### 1.2.4. Evolution

Pour mener à bien et de manière durable ses multiples missions et compte tenu de son statut, le Parc Marin se doit d'évoluer vers un statut pérenne juridiquement et au plan comptable. Ceci afin d'être capable de gérer efficacement la future réserve naturelle dont on peut raisonnablement penser qu'il sera le gestionnaire. Ce changement de statut, initialement prévu pour l'année 2000 n'a pas encore eu lieu. Il est toujours actuellement à l'étude : maintien de la structure associative ou syndicat mixte.

## 2. La problématique des récifs coralliens dans le monde

### 2.1. Les caractéristiques générales des récifs coralliens

Les récifs coralliens sont des écosystèmes littoraux spécifiques de la zone intertropicale. Ils représentent un formidable phénomène de construction réalisé par des organismes vivants. Les principaux artisans de cette "bio-construction" sont des animaux à squelette calcaire, les coraux hermatypiques, c'est-à-dire bâtisseurs de récif. Ces coraux appartiennent à l'embranchement de Cœlentérés, au sous-embranchement des Cnidaires, à la classe des Anthozoaires et à l'ordre des Scléactiniaires (anciennement nommé madréporaires). Ils ont la particularité de posséder, dans leurs tissus, des algues microscopiques symbiotiques, les zooxanthelles. Ces algues, par un processus photosynthétique, élaborent des éléments nutritifs qui contribuent au métabolisme corallien.

Les récifs coralliens sont le berceau d'une extraordinaire diversité biologique, tant au niveau des espèces qui les peuplent que par les habitats qui les constituent. Une multitude d'espèces, appartenant à des groupes taxonomiques extrêmement diversifiés, coexistent alors en entretenant un ensemble d'interrelations complexes.

Malgré la luxuriance des récifs coralliens, les coraux sont des espèces ayant une valence écologique faible, c'est-à-dire qu'ils sont très sensibles aux variations de leurs conditions de vie. Ainsi, ils ne peuvent se développer que lorsque des conditions particulières sont rencontrées :

- Une température de l'eau entre 20 et 36°C, avec un développement optimum entre 25 et 30°C.
- Un éclairage suffisamment élevé pour permettre l'activité photosynthétique des zooxanthelles.
- La profondeur influence directement l'éclairage. Les coraux ne sont plus rencontrés lorsque la profondeur est élevée (- 40 à - 50m).
- L'eau doit être claire. La turbidité diminue l'éclairage, limitant ainsi la distribution des coraux. Un autre impact lié à la présence d'eau trouble est la perturbation des colonies coralliennes par un colmatage des calices, ce qui entraîne un "étouffement" des coraux.
- La salinité doit être d'environ 35 ‰. Les chutes de salinité sont très mal tolérées par les coraux.
- L'hydrodynamisme doit permettre un renouvellement de l'eau afin d'assurer une oxygénation suffisante et un apport régulier de nutriments.
- La nature du sol est un facteur important pour la fixation des larves de coraux et donc pour le développement d'un récif corallien.

### 2.2. Les intérêts des récifs coralliens

Les récifs coralliens représentent de multiples opportunités pour les populations humaines qui sont d'ordre économique, écologique et scientifique.

De part leur forte productivité biologique, les récifs coralliens constituent véritablement des viviers naturels dans lequel l'homme peut extraire de nombreux produits alimentaires qui ont souvent une valeur économique forte. Ils contribuent alors à fournir les protéines animales nécessaires à l'alimentation des populations côtières et à soutenir une économie basée sur la pêche. Par ailleurs, se développe de plus en plus la pêche des espèces coralliennes pour l'aquariophilie. Ce phénomène vient conforter l'exploitation des ressources marines. Il est aussi important de noter que les coraux peuvent faire l'objet d'une utilisation par l'homme dans le cadre de la fabrication de la chaux.

De plus, de part sa nature, le récif corallien constitue un rempart physique naturel qui protège les côtes contre l'impact des houles océaniques. Cette aptitude est fondamentale surtout lorsque surviennent des fortes perturbations climatiques comme les cyclones. Le récif protège alors le littoral et les constructions humaines qui s'y trouvent.

Les débris coralliens sont à l'origine des plages de sable blanc. Le développement considérable du "tourisme bleu" sur ce type de plage traduit un large engouement des touristes pour les récifs coralliens. Ces derniers deviennent alors le support de nombreuses activités récréatives et de découvertes. Le tourisme devient alors des enjeux majeurs de développement économique. Un récif corallien en bonne santé, en couplant la pêche et le tourisme, peut donc à lui seul conditionner le développement socioéconomique d'un pays.

Un autre intérêt non négligeable des récifs coralliens est son importance au niveau de la recherche scientifique. Qu'il soit d'un point de vue pharmacologique, avec la découverte et l'utilisation de molécules utiles à l'homme, écologique, avec la compréhension des équilibres naturels, cosmétique ou alimentaire, les récifs coralliens sont l'objet de multiples enjeux scientifiques. Plusieurs équipes de chercheurs dans ces différents domaines se mobilisent de manière à faire avancer la connaissance humaine.

## 2.3. Les causes de dégradations

Compte tenu de la fragilité intrinsèque des récifs coralliens, ils sont menacés par de nombreux phénomènes naturels et anthropiques, l'activité de l'homme venant bien souvent accentuer les impacts des facteurs naturels. Actuellement il est admis que 10% des récifs dans le monde sont irrémédiablement condamnés et que 30% d'entre eux sont fortement menacés.

Les principales causes de dégradation des récifs coralliens sont abordées en distinguant les phénomènes naturels et anthropiques.

### 2.3.1. Phénomènes naturels

Depuis le début de leur existence, les récifs coralliens font face à des pressions naturelles qui ont conditionné leur présence actuelle. Plusieurs phénomènes naturels peuvent ainsi contribuer à la dégradation des récifs coralliens :

- Les cyclones. Ces événements météorologiques dégradent les récifs coralliens de deux manières. En premier lieu, les houles cycloniques, extrêmement puissantes, ont un impact physique direct en arrachant et détruisant les colonies coralliennes. Deuxièmement, les précipitations importantes engendrées par les cyclones peuvent conduire à de forts apports d'eaux douces chargées en matières terrigènes dans le milieu récifal, entraînant une dessalure et une augmentation de la turbidité fatales aux

coraux. Ces dégradations peuvent être très importantes mais en l'absence de conditions aggravantes le plus souvent imputables à l'homme, elles sont souvent suivies d'une phase plus ou moins rapide de régénération.

- Certaines perturbations climatiques qui sont à l'origine de variations des conditions physico-chimiques de l'eau. Par exemple, le phénomène "El Nino" entraîne des variations de température qui peuvent se traduire par un blanchissement des colonies suivi par de fortes mortalités coralliennes.
- Le blanchissement corallien est un phénomène lié au stress des coraux suite à des variations de leurs conditions de vie. Il se traduit par la perte des zooxanthelles et/ou la réduction de leurs pigments chlorophylliens ce qui abouti à une perte de couleur des colonies coralliennes qui peut à terme entraîner leur mort.
- Les maladies d'origine bactérienne (maladie de la bande noire et maladie de la bande blanche) sont encore relativement peu connues. Elles peuvent contribuer à la dégradation d'un récif corallien.
- Les invasions biologiques. L'exemple le plus documenté est l'invasion par l'étoile de mer épineuse (*Acanthaster planci*). Cette espèce de grande taille se nourrit des polypes coralliens. Sa prolifération, liée à plusieurs facteurs naturels ou non, peut aboutir à une forte régression corallienne.
- Les phénomènes d'exondation exposent le récif à l'air libre et au soleil, ce qui limite la croissance verticale des coraux et peut entraîner des mortalités importantes des parties exondées. Ces phénomènes sont liés aux grandes marées.

### 2.3.2. Activités anthropiques

La multiplicité des avantages que les récifs coralliens procurent à l'homme a entraîné une explosion démographique près des zones côtières. De part ce phénomène, les pressions anthropiques se sont accentuées menaçant de ce fait la pérennité de ces écosystèmes. Les causes de dégradations liées à l'activité de l'homme sont nombreuses, elles peuvent être directes ou indirectes.

#### 2.3.2.1. Pressions directes

Les pressions directes sont essentiellement liées à une utilisation abusive et non raisonnée du milieu corallien :

- La surexploitation des ressources est une cause directe de la destruction des récifs. Les pêcheries (poissons, crustacés, mollusques, échinodermes, coraux ...) sont souvent pratiquées sans se soucier des limites du milieu. De plus, les techniques de pêche utilisées sont parfois très destructives et peu sélectives. La pêche à l'aide d'explosif ou de poison est fréquente sur certains récifs. Il en découle une destruction massive de toutes formes de vie récifale. La réflexion sur l'exploitation durable des ressources n'a pas encore été accomplie par tous.

- La sur-fréquentation des récifs coralliens pose aussi de nombreux problèmes. Essentiellement liée au développement de l'activité touristique, la sur-fréquentation a de lourds impacts sur le milieu. Les touristes perturbent notablement l'écosystème corallien par leurs activités de cueillette dans le milieu, de dégradation ou de retournement des colonies coralliennes. Par ailleurs, le mouillage des bateaux détruit fortement les colonies coralliennes par un phénomène "d'arrachement" dû aux ancres. L'augmentation des mouillages liée au tourisme est très préjudiciable au milieu.
- Les travaux réalisés dans le milieu (dragages, remblais littoraux, etc....) posent des problèmes à cause des dégradations directes qu'ils engendrent. De plus, les sédiments mis en suspensions sont une pression supplémentaire pour les peuplements coralliens avoisinant qui souffrent "d'étouffement".

### 2.3.2.2. Pressions indirectes

Les pressions indirectes sont liées aux modifications des conditions de vie des espèces coralliennes. Beaucoup plus insidieuses que les dégradations directes, elles n'en sont pas moins profondément destructrices.

- Les pollutions sont de plusieurs natures et peuvent altérer durablement les équilibres écologiques naturellement établis. Ces pollutions sont liées le plus souvent à la présence d'activités humaines en amont de la formation récifale. Les eaux usées se déversent alors dans le milieu entraînant une dessalure de l'eau de mer et charriant des substances organiques et chimiques qui détruisent les coraux et favorisent la prolifération d'algues et de bactéries. Cette prolifération, appelée eutrophisation, entraîne une désoxygénation progressive qui est fatale pour le milieu. Des pollutions directes existent aussi, elles sont liées aux rejets de déchets dans le milieu. Selon l'importance et la nature de ces derniers, les impacts sont plus ou moins importants.
- L'érosion des bassins versants, facteur naturel fortement accentué par l'activité humaine (déforestation et agriculture) peut avoir de lourdes conséquences sur les récifs coralliens. Les particules terrigènes transportées par les cours d'eau et les pluies sont très néfastes pour les coraux et peuvent entraîner une mortalité directe par colmatage des calices des coraux ou indirecte en favorisant le développement de maladie ou le blanchissement corallien.

## 2.4. Le cas de l'île de la Réunion

### 2.4.1. Situation géographique

La Réunion (Fig. 1) est une île volcanique de l'Océan Indien, située à 800 Km à l'est de Madagascar, entre 20° et 23° de latitude sud et 55° et 63° de longitude est. De part sa situation géographique, elle est bercée par un climat tropical dominé par une saison chaude (septembre - mai) et une saison froide (mai - aout). L'île de la Réunion est formée de deux massifs volcaniques distincts : le Piton des Neiges qui culmine à 3069m, étant de ce fait le plus haut sommet de l'Océan Indien, et le Piton de la Fournaise, encore en activité, témoigne

par ses récentes éruptions de la jeunesse de l'île. Le relief escarpé de l'arrière pays se prolonge sous la mer par un plateau continental étroit atteignant au plus 7 Km de large.

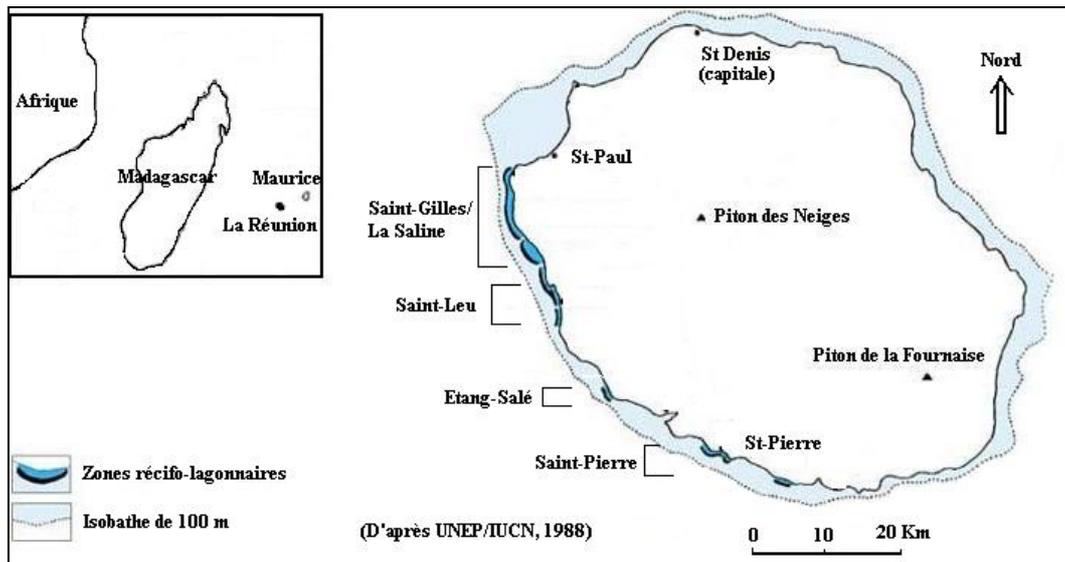


Figure 1 : Représentation cartographique de l'île de la Réunion et de ses principaux édifices

#### 2.4.2. Morphologie des récifs réunionnais

La température moyenne des eaux de surface se situe autour de 26°C, ce qui est favorable au développement des récifs coralliens. Ces derniers sont jeunes (moins de 8500 ans, Montaggioni, 1978) et essentiellement liés au littoral occidental. Trois principaux types de formations récifales sont distingués : les bancs récifaux (dalles coralliennes sub-émergeant), les plates-formes récifales (récifs embryonnaires accolés au rivage) et leurs formes plus évoluées à la Réunion, les récifs frangeants.

Les récifs frangeants sont représentés par le complexe récifal de Saint-Gilles/La Saline (9Km) et les récifs de Saint-Leu, de l'Etang-Salé et de Saint-Pierre. Ils forment une ceinture discontinue de 25 Km, soit environ 10% de la circonférence de l'île (Fig. 1). Les autres formations récifales moins importantes sont situées en face du Cap La Houssaye, de Grand Fond, de la Souris Chaude, de Grand Bois et de Grand-Anse.

La morphologie des récifs frangeants (Fig. 2) et leurs caractéristiques biologiques ont été étudiées par de nombreux chercheurs dont Montaggioni et Faure (1980), Faure (1982) et Cuet et Naim (1989).

Du large vers la côte, on peut distinguer 3 principaux ensembles : les ensembles frontorécifal, épirécifal et postrécifal. Leur taille dépend de la maturité des récifs et montre donc des différences selon les secteurs considérés.

L'ensemble frontorécifal correspond à la pente externe. Partie antérieure toujours immergée du récif, elle est formée par des constructions coralliennes et des dépôts sédimentaires à domaine bioclastique.

L'ensemble épirécifal ou platier récifal correspond à la partie horizontale du récif qui se différencie en un platier externe et un platier interne. Sa profondeur maximale varie de 50 à 80 cm.

Le platier externe, appelé aussi à la Réunion platier compact, est une construction continue à base de colonies coralliennes et d'algues encroûtantes. C'est une zone exposée au déferlement des vagues qui impose de lourdes contraintes hydrodynamiques aux organismes qui y vivent.

Le platier interne est représenté par des travées bio-construites séparées par des couloirs peu profonds, perpendiculaires au front récifal. C'est une zone particulièrement diversifiée et sensible aux pressions humaines.

L'ensemble postrécifal est aussi appelé dépression d'arrière-récif ou chenal d'embarcation. D'une largeur de 200 à 300 m, sa profondeur maximale est de 1,5 m. Il constitue une zone hétérogène, principalement bio-détritique, contenant des colonies coralliennes éparses le plus souvent nécrosées.

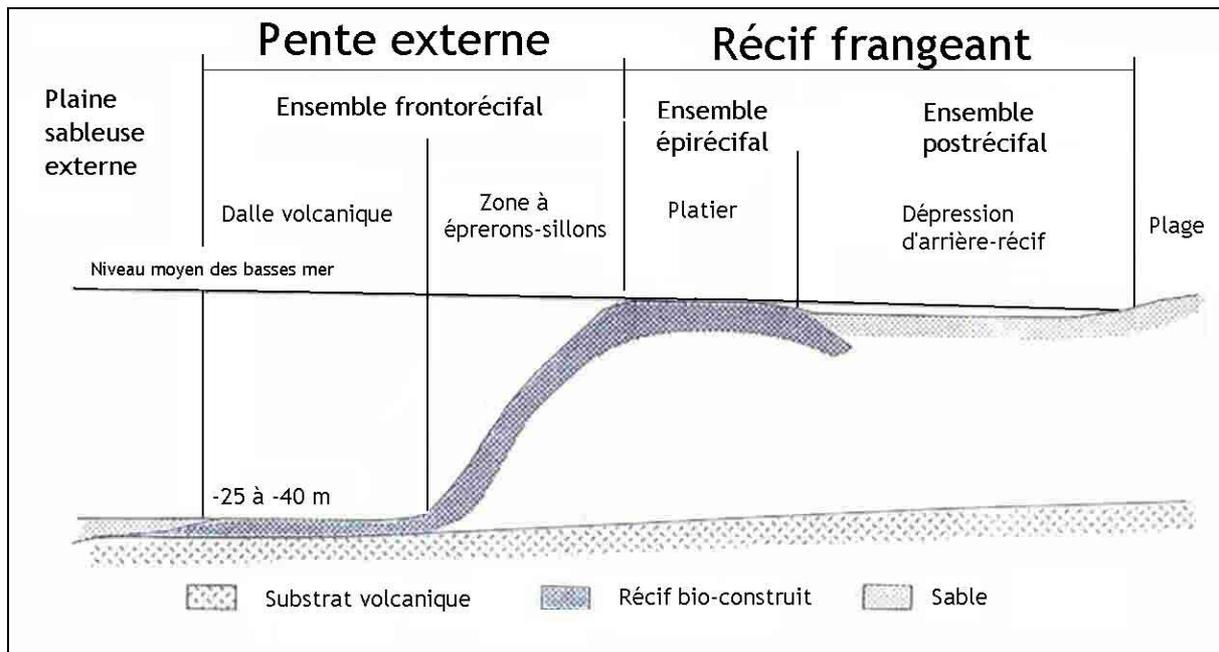


Figure 2 : Élément de terminologie récifale (d'après Montaggioni, 1978)

### 2.4.3. Facteurs océanographiques : marées, houles et courants

Les marées qui affectent les eaux réunionnaises sont de type semi-diurne. L'amplitude de la marée en mortes eaux est de l'ordre de 0,10 m et l'amplitude maximale en vives eaux n'est que de 0,95 m (Piton, 1992).

L'île de la Réunion est intéressée par trois grands types de houles océaniques : les houles d'alizés, persistant presque toute l'année, les houles cycloniques, épisodiques durant la saison chaude et les houles australes (Montaggioni et Faure, 1980).

Deux types de courants sont observés autour de l'île :

- Les courants extérieurs aux récifs qui se forment à la suite de l'interaction de la houle, du vent et de la marée, sont des courants irréguliers (Faure, 1982).
- Les courants intra-récifaux qui ont un schéma de circulation assez bien connu et décrit par Bouchon (1978).

#### 2.4.4. Enjeux relatifs aux récifs à la Réunion

Les récifs coralliens de la Réunion représentent un enjeu scientifique, économique et touristique considérable. Depuis les années 1970, la population réunionnaise s'est progressivement tournée vers la mer et ses loisirs. A peine dix ans plus tard, les spécialistes locaux (Bouchon) sonnent l'alarme : le récif est en danger. L'urbanisation importante du littoral Ouest de l'île et les conséquences qui en découlent font peser de lourdes menaces sur le fragile équilibre de cet écosystème. La plupart des études qui ont suivi ont montré que les dégradations s'accroissent progressivement (entre autres : Letourneur, 1992 ; Chabanet, 1994 ; Naim, 1994). Les principales menaces pour les récifs coralliens réunionnais sont liées à l'action anthropique : la surexploitation des ressources halieutiques, la sur-fréquentation, la pollution et l'érosion des plages. La surexploitation a été quantifiée par l'association Vie Océane. Les captures correspondent à 40 à 45 T/Km<sup>2</sup>/an soit 10 fois plus que la valeur standard conseillée en milieu corallien.

Les facteurs naturels comme les cyclones peuvent aussi être très dévastateurs\*. Le phénomène de blanchissement corallien (ou "mort blanche") a été constaté à partir des années 1982-83 mais il semble peu important. Aucune infestation de type *Acanthaster* n'a encore été recensée.

Actuellement, les récifs coralliens représentent une réelle opportunité pour la Réunion. Avec leur biodiversité remarquable\*\*, ils constituent la clé de voûte d'un tourisme bleu grandissant. Les devises liées au tourisme tendent, aujourd'hui, à surpasser celles de la culture de la canne à sucre, principale activité de l'île.

De plus, l'activité de pêche qui n'était, il y a encore 20 ans, considérée comme sans réel avenir, s'est progressivement structurée et professionnalisée. A cette pêche professionnelle, vient s'ajouter une pêche artisanale de plus en plus importante qui s'est ancrée dans les mœurs. Celle-ci se base essentiellement sur des prélèvements au niveau des "lagons" et des pentes externes.

#### 2.4.5. Structures de gestion et cadre réglementaire actuel

Compte tenu des enjeux importants dont il fait l'objet, des problèmes sociaux à la Réunion et des menaces qui le guettent, le milieu corallien est une portion du territoire qui concentre de multiples conflits d'intérêts qu'il est apparu nécessaire de gérer. Plusieurs structures et outils réglementaires existent alors à cet effet.

##### 2.4.5.1. Structures de gestion

La gestion des milieux coralliens fait partie des missions de plusieurs organismes locaux qui travaillent le plus souvent en collaboration.

- Les organismes de l'Etat. Trois d'entre eux jouent un rôle particulièrement important : la Direction Départementale de l'Équipement (DDE), la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN), représentante locale du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et la Direction Départementale des Affaires Maritimes (DDAM).

---

\* En 1989, le cyclone Firinga a détruit à plus de 90% le récif de Saint-Leu et près de 18% des récifs de l'île ont été affectés (Letourneur *et al.*, 1993).

\*\* Les récifs coralliens sont les écosystèmes marins les plus diversifiés de la Réunion.

- Les Collectivités Locales : la Région, le Département et les différentes communes. Par l'intermédiaire de leurs services Environnement ils influent plus ou moins sur la politique de gestion des récifs coralliens. Ces collectivités participent notamment à la réalisation des documents de planification (SAR, POS), mettent en oeuvre différentes actions en faveur de l'Environnement et en subventionnent des organismes tel le Parc Marin.
- L'Association Parc Marin de la Réunion.
- Les services chargés des missions de police comme la Brigade Nature qui assure un rôle essentiellement contre les pollutions et le braconnage.
- Le Conservatoire de l'Espace Littoral, établissement public de l'Etat qui acquiert progressivement la propriété des espaces littoraux en fonction de leur richesse patrimoniale en vue de leur conservation.

Ces organismes travaillent souvent avec l'aide d'experts scientifiques (Université de la Réunion, Agence pour la Recherche et la Valorisation Marine, bureaux d'études, ...). L'ensemble de ces organismes constitue un réseau local qui regroupe toutes les compétences nécessaires à la gestion du milieu marin. Cependant, un manque de cohérence et l'absence de politique globale de gestion effective sur le terrain restent des handicaps à surmonter.

#### 2.4.5.2. Outils réglementaires

Les outils réglementaires applicables pour la gestion des récifs coralliens à la Réunion existent, les principaux seront listés ci-dessous. Ils sont élaborés par différentes instances à plusieurs niveaux et ont une portée différente.

- Les conventions internationales (conventions de Washington et de Nairobi) qui ont pour but de protéger différentes espèces récifales.
- Les réglementations européennes s'appliquent, sauf dérogation, à la Réunion en tant que Région Ultra Périphérique.
- Les réglementations nationales. Plusieurs textes existent mais les deux principaux sont la loi littoral et la loi sur l'eau. La loi littoral réglemente l'utilisation du littoral. La loi sur l'eau protège les milieux aquatiques et limite les pollutions.
- Les réglementations locales. Actuellement, la protection est essentiellement basée sur des arrêtés préfectoraux qui réglementent les prélèvements dans le milieu, mettent certaines zones récifales en réserve de pêche et réglemente le mouillage. Le premier arrêté préfectoral interdisant la pêche du corail sur l'ensemble du département date de 1969. Les arrêtés préfectoraux ne sont cependant pas des outils de protection forts car ils sont facilement modifiables. Un exemple flagrant de cette limite est l'arrêté relatif à la réglementation de la pratique de la pêche aux capucins (*Mulloidychtys flavolineatus*) qui fait l'objet de modifications régulières.

Le Schéma d'Aménagement Régional (SAR) constitue un autre outil de gestion du milieu marin. En effet, ce document de planification comporte à la Réunion, une

annexe intitulée SMVM (Schéma de Mise en Valeur de la Mer) qui vise à protéger les milieux sensibles en orientant les projets d'urbanisation sur le littoral.

Malgré la multitude des outils réglementaires actuels, ceux-ci ne semblent cependant pas adaptés au contexte local. Les conflits d'intérêt persistent et la réglementation n'est pas respectée. Elle est constamment remise en cause (surtout les arrêtés préfectoraux), que ce soit par les usagers ou par les défenseurs du milieu. Les raisons de ce constat sont liées à un manque de communication mais aussi au fait que la réglementation n'est pas adaptée aux moyens réels de surveillance. La fracture sociale entre les différents acteurs de ce "conflit" vient accentuer ces problèmes.

### 3. Le projet de réserve naturelle marine à la Réunion

#### 3.1. L'historique de la réserve

Dès le début des années 1980, les décideurs réunionnais prennent conscience des enjeux et des menaces qui pèsent sur les récifs coralliens. Durant cette décennie la construction de stations d'épuration est alors initiée permettant de résoudre partiellement le problème des rejets d'eaux usées directement dans le milieu. En 1989, la Région commande une étude sur "l'aménagement des milieux récifaux". Celle-ci met clairement en évidence la nécessité d'une gestion intégrée des récifs coralliens et dont une structure de type Parc Marin serait l'organisatrice. Il faudra ensuite attendre cinq ans pour que soit réalisée une étude concertée pour la mise en place du Parc Marin. Les deux bureaux d'études chargés de ce dossier (BCEOM et IARE) préconisent la création d'une association Parc Marin dans un premier temps vers décembre 1995, puis une évolution l'année d'après en un syndicat mixte de gestion avec la création d'une réserve naturelle marine. L'historique de la réserve naturelle est donc fortement lié à celui du Parc Marin et date de moins de 15 ans. Le projet initial prend du retard et le Parc Marin n'est créé qu'en 1997 avec pour objectif de contribuer à la mise en place d'une réserve naturelle sur les milieux coralliens de l'île de la Réunion.

Le 12 juin 1998, la Préfecture entame la procédure de création de Réserves Naturelles pour les récifs coralliens de la Réunion. Quatre groupes de travail sont alors mis en place afin de faire le tour des problèmes, de rencontrer les usagers et de définir les besoins en études complémentaires. La DIREN, la sous préfecture et le Parc Marin sont les acteurs principaux de cette étape. Plusieurs études ont été réalisées afin de compléter les connaissances nécessaires à la mise en place de la réserve naturelle, notamment en 1999, une cartographie de la sensibilité des côtes Ouest et Sud de l'île (soit l'ensemble de la zone concernée par le projet de réserve naturelle) a été réalisée par l'ARVAM.

Actuellement le dossier administratif suit son cours et passe par l'élaboration des propositions de zonage de la réserve.

Compte tenu du planning prévisionnel initial qui prévoyait la mise en place de la réserve en 2001, force est de constater qu'un retard important s'est accumulé et il semble peu probable que la réserve soit effective d'ici la fin de l'année 2001.

### 3.2. Le contexte juridique et la mise en œuvre d'une réserve naturelle

D'un point de vue juridique, la base légale de la réserve naturelle est déterminée par la loi du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature et le décret d'application du 25 novembre 1977 (codifié dans le code rural).

Son objectif est de soustraire à toute intervention artificielle susceptible de le dégrader, un territoire d'une ou plusieurs communes dont la faune, la flore, le sol, les eaux, les gisements de minéraux ou de fossiles ou le milieu naturel en général présentent une importance particulière.

Le classement d'une réserve naturelle est réglée par les articles L.242-1 à L.242-28 et R.241-1 à R.242-49 du code rural et suit la procédure suivante :

- Elle est à l'initiative du Ministère de l'Environnement qui peut être saisi par tout organisme ou particulier.
- Il fait élaborer un dossier scientifique et un projet de réglementation qui sont soumis à l'avis du comité permanent du Conseil National de Protection de la Nature (C.N.P.N.).
- Le Préfet conduit les consultations locales
- Le dossier est soumis à enquête publique, sauf accord écrit des propriétaires et des ayants droits.
- Les collectivités locales sont consultées et le dossier est transmis par le Préfet, pour avis, à la Commission Départementale des Sites Perspectives et Paysages (C.D.S.P.P.).
- Le Préfet transmet le dossier au Ministère de l'Environnement qui recueille l'avis du C.N.P.N. et les avis et accords des différents ministères concernés.
- La réserve est créée par décret en Conseil d'Etat ou par décret simple en cas d'accord de tous les propriétaires.
- Le préfet désigne un gestionnaire qui réalise et met en œuvre un plan de gestion.

Au total la mise en place d'une réserve naturelle peut prendre entre 2 et 20 ans. Les conséquences du classement en réserve naturelle entraînent des réglementations communes à l'ensemble des réserves mais il existe aussi des réglementations spécifiques. Ainsi, dans toutes les réserves, les territoires ne peuvent être ni détruits, ni modifiés dans leur état ou leur aspect sauf autorisation spéciale du Ministre de l'Environnement et toute publicité est interdite. En revanche, le décret de classement peut interdire ou réglementer de manière spécifique à la réserve, toute action susceptible de nuire au développement naturel de la faune et de la flore et d'altérer le caractère de la réserve. Il est tenu compte de l'intérêt du maintien des activités traditionnelles existantes dans la mesure où elles sont compatibles avec les intérêts de protection.

### 3.3. Les objectifs du suivi de l'Effet Réserve

Il convient au préalable de définir l'Effet Réserve. D'un point de vue écologique, cette expression fait référence à l'ensemble des impacts de la réserve sur les écosystèmes. L'objectif de cette étude est de réaliser une synthèse bibliographique afin de recenser les connaissances scientifiques sur l'Effet Réserve en milieu marin, puis d'établir un protocole de suivi applicable à la Réunion.

Ce suivi est nécessaire pour appuyer de manière scientifique la politique de gestion des milieux littoraux et marins de la Réunion. Elle se doit d'apporter des arguments concrets à la légitimation de la réserve. Cette étude devra donc pouvoir répondre aux interrogations des différents usagers du milieu corallien à la Réunion : décideurs, gestionnaires, pêcheurs, professionnels du tourisme, scientifiques, grand public, ...

La mise en place d'une étude et d'un suivi de l'Effet Réserve devrait donc aider le gestionnaire de la réserve à éclaircir les questions suivantes.

A l'échelle internationale :

**Quels sont les impacts liés à la mise en place des réserves marines ?**

A l'échelle locale :

**Quels sont les impacts de la réserve sur les peuplements coralliens ?**

La réserve permet-elle une meilleure santé du récif corallien et favorise-elle sa régénération ?

**Quelle est l'influence de la réserve sur les peuplements de poissons ?**

Le stock de poissons (abondance, diversité, biomasse) est-il augmenté dans les zones protégées ? Qu'en est-il des zones non protégées ? La réserve est-elle un outil efficace de développement durable de la pêche côtière ?

Le gestionnaire de la réserve pourra ainsi évaluer précisément l'efficacité de celle-ci comme outil de gestion intégrée des zones côtières à la Réunion.

Deuxième partie :  
Synthèse bibliographique  
sur l'Effet Réserve  
en milieu marin

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 19 |
| 1. L'impact de la mise en place d'une réserve marine sur la communauté biologique : l'Effet Réserve ..... | 21 |
| 1.1. Les modifications de la structure des communautés .....  | 21 |
| 1.1.1. Variations d'abondance .....   | 21 |
| 1.1.1.1. Généralités .....  | 21 |
| 1.1.1.2. Effet Cascade .....  | 22 |
| 1.1.3. Effet Refuge .....   | 23 |
| 1.1.3.1. Augmentation de la diversité biologique .....  | 23 |
| 1.1.3.2. Augmentation de la taille des individus et de la biomasse .....                                  | 23 |
| 1.1.3.3. Reproduction favorisée .....   | 24 |
| 1.1.3.4. Exportation de biomasse vers des zones non protégées .....                                       | 25 |
| 1.1.4. Effet Tampon .....   | 27 |
| 1.1.5. Effet de Concentration .....   | 27 |
| 1.2. Les modifications éthologiques .....   | 27 |
| 1.2.1. Comportement envers l'homme .....  | 28 |
| 1.2.2. Comportement reproducteur .....  | 28 |
| 1.3. Les modifications de la distribution spatiale .....  | 28 |
| 1.3.1. Réoccupation des zones désertées .....   | 28 |
| 1.3.2. Effet Bordure .....  | 29 |
| 1.4. Les effets négatifs de la réserve sur les communautés marines .....                                  | 29 |
| 2. L'expertise scientifique pour le suivi de l'Effet Réserve en milieu marin .....                        | 30 |
| 2.1. Les paramètres étudiés .....   | 30 |
| 2.2. L'échantillonnage .....  | 31 |
| 2.2.1. Sites d'étude et principes d'échantillonnage .....   | 31 |
| 2.2.2. Méthodes d'échantillonnage .....   | 31 |
| 2.2.2.1. Méthodes pour le suivi de l'Effet Réserve sur le peuplement ichtyologique .....                  | 32 |
| 2.2.2.2. Méthodes d'étude du substrat et des macro-organismes benthiques .....                            | 35 |
| 3. Les causes de non mise en évidence de l'Effet Réserve et les précautions à prendre .....               | 36 |
| 3.1. La conception de la réserve .....  | 36 |
| 3.1.1. Considérations biologiques .....   | 37 |
| 3.1.2. Considérations sociales .....  | 38 |
| 3.1.3. Considérations réglementaires .....  | 38 |
| 3.2. La gestion de la réserve .....   | 39 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3. Les précautions pour la mise en place d'un suivi de l'Effet Réserve..... | 40 |
| 3.4. L'influence des facteurs naturels .....                                  | 40 |
| Conclusion.....   | 41 |

# Introduction

La création de parcs marins est relativement récente par rapport à celle, plus que centenaire, des premiers parcs nationaux terrestres. En effet, le premier parc national terrestre a été créé en 1972 aux Etats-Unis (Parc du Yellowstone) alors qu'il a fallu attendre l'année 1947 pour voir naître le premier parc marin, le parc des Everglade en Floride.

L'expression Aire Marine Protégée (AMP) regroupe toutes les formes de protection et de gestion du milieu marin, de la réglementation la moins contraignante à la protection totale où toute activité humaine est prohibée. Parc marin, réserve marine, sanctuaire marin, zones marines protégées sont autant de synonymes de l'AMP qui seront employés indifféremment dans ce document.

Compte tenu des problèmes croissants liés à l'utilisation non raisonnée des milieux marins (chute des pêcheries, dégradation des milieux ...), la réserve est rapidement apparue comme un outil de gestion efficace. L'élaboration des AMPs s'est donc progressivement imposée aux gestionnaires pour la relative simplicité de ce mode de gestion\* et leurs résultats prometteurs (Roberts et Polunin, 1992 ; Thollot, 1999). Cependant, malgré la notoriété croissante des réserves, bien peu d'entre elles sont élaborées avec une compréhension réelle de la manière dont elles affectent les phénomènes biologiques et des facteurs qui permettent d'optimiser son efficacité compte tenu des objectifs fixés (Halpern, sous presse).

Le principal objectif d'une AMP est de maintenir les procédés écologiques et les systèmes à la base de la vie d'un milieu en y soustrayant les pressions anthropiques. Selon Slam et Clark (1984), toutes les AMPs sont établies pour au moins une des raisons suivantes :

- présence d'habitats ou d'écosystèmes typiques ou importants,
- biodiversité importante,
- localisation dans une zone de grande activité biologique,
- présence d'habitats indispensables à certaines espèces ou groupes d'espèces,
- valeur culturelle forte (historique, religieux, loisir, ...),
- facilite les recherches scientifiques,
- permet de déterminer les conditions naturelles de base du milieu.

Wilkinson et Chou (1997) constatent une augmentation importante des AMPs en Asie du Sud-Est due à la reconnaissance de leurs potentiels économiques par les gouvernements. En 1995, 92 AMPs ont été recensées dans cette région (Keller *et al.*, 1995) alors qu'il n'en existait que 43 dix ans auparavant (UNEP/IUCN, 1988).

L'évaluation de l'impact des mesures de protection sur les écosystèmes marins est communément appelée "Effet Réserve " (Bell, 1983 ; Francour, 1989). La plupart des études scientifiques réalisées à ces fins, le sont dans une optique de gestion des pêcheries, et plus particulièrement, de gestion des stocks de poissons (Francour *et al.*, 1997). Russ, en 1991, pense que les poissons coralliens sont très sensibles à la surexploitation et les méthodes classiques de gestion des stocks monospécifiques (contrôle des prises, de l'effort de pêche, etc.) nécessitent de nombreuses informations complexes, coûteuses et difficilement adaptables à un stock multispécifique (Roberts et Polunin, 1991).

---

\* En comparaison avec les autres mesures de gestion comme par exemple l'application de règlements spécifiques à chaque pêche.

La réserve marine devient un mode de gestion d'une ressource difficile à gérer (Thollot, 1999). Elle est alors considérée comme le moyen le moins cher et la meilleure alternative aux méthodes classiques de gestion (PDT, 1990 ; Roberts et Polunin, 1991, 1992 ; Munro et Fakahau, 1993).

Ce document constitue une synthèse des connaissances actuelles des savoirs et savoir-faire en terme d'évaluation de l'Effet Réserve sur le milieu marin tout en portant une attention particulière aux écosystèmes coralliens. Il abordera successivement les questions suivantes :

**Quels sont les impacts des mesures de protection sur les écosystèmes marins, autrement dit, qu'appelle-t-on Effet Réserve ?**

**Quelles sont les techniques d'étude de l'Effet Réserve ?**

**Quelles précautions sont nécessaires à la mise en évidence de l'Effet Réserve ?**

# 1. L'impact de la mise en place d'une réserve marine sur la communauté biologique : l'Effet Réserve

Les effets de la mise en place d'une AMP sur les écosystèmes marins restent encore un champ d'étude relativement peu abordé dans sa globalité. Sujet complexe et source importante de controverses, la communauté scientifique est confrontée à la difficulté de démontrer un concept théorique qui prédit de nombreuses conséquences bénéfiques pour les peuplements des AMPs. Ces concepts sont souvent vérifiés sur le terrain mais plusieurs auteurs publient des résultats qui sont en contradiction avec ces effets théoriques (Hatcher *et al.*, 1989 ; Polunin, 1990 ; Roberts et Polunin, 1991, 1992).

Les impacts des réserves peuvent varier fortement selon les conditions intrinsèques de l'AMP et la nature de la réglementation. Par exemple, la mise en réserve d'un écosystème marin peut avoir des effets totalement différents selon les espèces (Francour, 1993 ; Holland, 2000) ou les milieux considérés (Francour, 1993).

Les effets bénéfiques des réserves sur les écosystèmes sont multiples et peuvent se classer en effets structuraux, éthologiques et effets sur la distribution spatiale des individus. Cependant, quelques impacts négatifs peuvent être notés suite à la mise en place d'une AMP.

## 1.1. Les modifications de la structure des communautés

La mise en réserve d'une aire marine se base essentiellement sur la protection du milieu contre les agressions anthropiques. Il en résulte des habitats moins perturbés, donc de meilleures qualités pour le développement de la biocénose, ainsi qu'une diminution du stress des individus habituellement importunés par l'homme.

### 1.1.1. Variations d'abondance

L'abondance est un paramètre incontournable de la dynamique des populations. En milieu récifal, elle est surtout abordée sous la forme d'une densité (nombre d'individus / unité de surface).

#### 1.1.1.1. Généralités

Une des constatations quasi unanimes de toutes les études réalisées sur l'effet des réserves marines consiste en une augmentation significative de l'abondance relative globale (nombre estimé d'individus appartenant à toutes les espèces) dans la zone protégée pour un type de substrat similaire. Ce phénomène a surtout été étudié sur les peuplements de poissons (Goeden, 1982 ; Randall, 1982 ; White, 1986 ; Alcalá, 1988 ; Kellington, 1988 ; Buxton et Smale, 1989 ; Cole *et al.*, 1990 ; Bohnsack, 1996 ; Bohnsack *et al.*, 1992 ; Roberts et Polunin, 1991, 1992 ; McClanahan, 1994 ; Dufour *et al.*, 1995 ; Francour, 1993 ; Francour *et al.*, 1997 ; Roberts et Hawkins, 1997 ; Sulka *et al.*, 1997 ; Watson *et al.*, 1997 ; Wantiez *et al.*, 1997 ; Garce, 1998 ; Robertson, 1998 ; Thollot, 1999 ; Francour, 2000 ; Halpern, sous presse). Wantiez *et al.* (1997) constatent une augmentation de la densité de poissons atteignant jusqu'à 160% dans des AMPs de Nouvelle Calédonie et Roberston (1998) relate une augmentation de

300% pour une espèce de mérrou au bout de 2,5 ans après la mise en place d'une réserve sur la grande barrière australienne.

Cette hypothèse est presque toujours vérifiée dans le cas de l'abondance globale. En revanche, elle ne peut être systématiquement généralisée lorsque l'on se place à l'échelle de la famille ou de l'espèce. En effet, il semble que l'augmentation d'abondance concerne préférentiellement les "espèces cibles" (Bell, 1983 ; Russ, 1985 ; Garcia-Rubies et Zabala, 1991 ; Bonhsack *et al.*, 1992 ; Bayle-Sempere et Ramos-espala, 1993 ; Polunin et Roberts, 1993 ; Dufour *et al.*, 1995 ; Francour *et al.*, 1997 ; Roberts et Hawkins, 1997 ; Idechong et Graham, 1998), c'est-à-dire les espèces qui sont pêchées par l'homme. Celles-ci correspondent le plus souvent à des espèces nobles, piscivores (Bonhsack *et al.*, 1992), en fin de chaîne alimentaire. La baisse de mortalité due à la pêche entraîne directement une augmentation des effectifs. Un suivi régulier de ces espèces peut constituer un moyen simple et efficace d'apprécier l'influence des mesures de protection (Harmelin *et al.*, 1995 ; Francour *et al.*, 1997). Roberts et Polunin (1992) prouvent que la mise en évidence de l'Effet Réserve est plus aisée dans des zones où existaient au préalable de fortes activités de pêche avec des techniques destructives. L'Effet Réserve est particulièrement visible sur les espèces dont le cycle de vie les rend vulnérables à la surexploitation : croissance lente, longévité forte, faible densité des populations et facilité de capture (Roberts, 1998).

Cependant, même chez ces espèces, l'augmentation de l'abondance n'est pas systématique. L'étude de Bonhsack *et al.* (1992) montre un accroissement des stocks de Lutjanidae (Lutjans) et de Haemulidae (Gaterins) mais pas des autres familles cibles comme les Serranidae (Mérours). Dufour *et al.* (1995) montrent même que pour 4 espèces cibles l'abondance est supérieure dans les zones non protégées. Ils constatent aussi une baisse de l'abondance totale après 12 ans de mise en réserve alors que dans les zones non protégées, aucun changement n'est observé. La faible pression de pêche dans les zones non protégées semble être une voie explicative de ce résultat inattendu.

Compte tenu de la diversité des résultats et de leurs interprétations, il semble que l'augmentation de l'abondance totale des espèces de poissons soit reconnue mais que les effets des réserves sur l'abondance par famille ou par espèce ne présentent pas de règles fiables et universelles.

Peu de publications se consacrent aux autres groupes zoologiques (invertébrés McClanahan, 1989 ; Cole *et al.*, 1990 ; Smith *et al.*, 1997 ; De Meyer *et al.*, 2001) et aucune conclusion générale n'a pu être recensée. Garces (1998) pense que cette augmentation d'abondance ne concerne pas uniquement les poissons. Son étude en milieu corallien tend à montrer une augmentation du pourcentage de recouvrement en coraux vivants. De 23% en 1988, il est passé en moyenne à 55% en 1998 dans les zones protégées.

#### 1.1.1.2. Effet Cascade

L'Effet Cascade a été mis en évidence pour la première fois dans une AMP chilienne par Moreno *et al.* (1984, 1986). Il se traduit au niveau des chaînes trophiques. L'augmentation de l'abondance concernant essentiellement les gros prédateurs (espèces cibles), une diminution de l'effectif de leurs proies due à une pression de prédation plus importante peut donc être constatée. Les résultats de Roberts et Polunin (1992) suggèrent ce phénomène. En effet, ils dénombrent davantage d'Acanthuridae (Chirurgien, herbivore) dans les zones non protégées alors que cette famille est moins abondante dans l'AMP. Ces observations sont corrélées à une plus grande abondance de Serranidae (mérrou, carnivore dont les proies favorites dans cette zone sont les Acanthuridae) dans l'AMP qui, de ce fait, limite la population d'Acanthuridae dans la zone protégée.

Il en résulte un impact sur l'ensemble de l'écosystème appelé "Effet Cascade" (Barnabe et Barnabe, 1997) qui peut expliquer le fait que l'augmentation d'abondance n'est pas systématique pour toutes les espèces marines.

Sala (1997) pense que l'Effet Cascade ne peut être mis en évidence et étudié que si les réseaux trophiques sont simples et présentent peu d'échelons.

### 1.1.3. Effet Refuge

L'Effet Refuge est le facteur le plus souvent décrit dans la définition de l'Effet Réserve. La protection d'une aire marine, tant par la préservation des habitats que par celle des êtres vivants, joue le rôle de refuge pour la biocénose présente. L'Effet Refuge est souvent un point fort des AMPs dans le management de pêcheries des récifs tropicaux (Russ 1985 ; Ayling et Ayling, 1986 ; Russ et Alcalá, 1989 ; Clark *et al.*, 1989 ; Buxton et Smale, 1989 ; Bohnsack, 1990 ; PDT, 1990 ; Roberts et Polunin, 1991 ; Rowley, 1994 ; Watson *et al.*, 1997 ; Milon *et al.*, 1999). Il est caractérisé par plusieurs phénomènes (Francour, 1993, 2000 ; Francour *et al.*, 1997 ; Smith *et al.*, 1997) :

- une augmentation de la diversité biologique,
- une augmentation de la taille moyenne et maximale des individus,
- une reproduction avec de meilleurs rendements et une exportation de biomasse vers les zones non protégées.

#### 1.1.3.1. Augmentation de la diversité biologique

Ce paramètre est mesuré en fonction de la richesse spécifique, c'est-à-dire le nombre total d'espèces peuplant le milieu. Suite à la mise en place d'une réserve marine, de nombreux auteurs constatent le retour de certaines espèces, qui, sous les diverses pressions anthropiques, avaient disparu.

Pour des conditions d'échantillonnages similaires (même complexité de substrat, même profondeur, ...), la richesse spécifique est supérieure dans les AMPs par rapport aux zones non protégées (Chauvet *et al.*, 1991 ; McClanahan, 1994 ; Harmelin *et al.*, 1995 ; Barnabe et Barnabe, 1997 ; Francour *et al.*, 1997 ; Nowlis et Roberts, 1997 ; Wantiez *et al.*, 1997 ; Garcés, 1998 ; Roberts, 1998 ; Francour, 2000 ; Lubchenco et Warner, 2001 ; Halpern, sous presse). Barnabe et Barnabe (1997) parlent même de conservatoire génétique et écologique, et précisent que, ce n'est que dans les AMPs que l'on peut encore rencontrer des espèces qui n'existent plus ailleurs (Roberts et Hawkins, 1997) et c'est à partir de ces populations qu'elles pourront peut être reprendre leur place dans les écosystèmes dont elles sont issues. Roberts (1998) pense que la réserve est le seul moyen de gestion qui offre un réel espoir de prévention contre l'extinction locale et globale de nombreuses espèces qui sont menacées par des pêches intensives non sélectives.

#### 1.1.3.2. Augmentation de la taille des individus et de la biomasse

L'intensité des pressions de pêche étant fonction de la taille des individus, une caractéristique des peuplements biologiques des zones surexploitées est une modification profonde de leur structure de taille. Les individus les plus gros (adultes) sont généralement les plus pêchés et montrent une abondance moins importante que les petits individus (juvéniles).

La pression de pêche entraîne donc une raréfaction des plus gros individus et ne subsiste alors que des individus de plus en plus petits.

La mise en réserve, et donc la chute des pressions de pêche, autorise un rééquilibrage de la structure de taille des peuplements. Une croissance rapide ainsi qu'une espérance de vie plus élevée permettent aux individus d'atteindre une taille moyenne et maximale plus importante (Russ, 1985 ; Cole *et al.*, 1990 ; PDT, 1990 ; Roberts et Polunin, 1991 ; Russ, 1991 ; Russ *et al.* 1992 ; Dugan et Davis, 1993 ; Rowley, 1994 ; Wantiez et Thollot, 1994 ; Bohnsack, 1996 ; Barnabe et Barnabe, 1997 ; Roberts et Hawkins, 1997 ; Sluka *et al.*, 1997 ; Wantiez *et al.* 1997 ; Watson *et al.*, 1997 ; Roberts, 1998 ; Thollot, 1999 ; Francour, 2000 ; Halpern, sous presse). Par exemple, Roberts et Polunin (1992) montrent que pour une espèce de mérrou *Variola louti*, cette augmentation est de 14 cm en moyenne, ce qui équivaut à tripler son poids.

Francour (1993) affirme que l'augmentation de la taille des individus dans les AMPs peut s'observer nonobstant la typologie du milieu. Il constate ainsi, une augmentation de la taille des poissons aussi bien dans un milieu rocheux que dans un herbier à posidonie (*Posidonia oceanica*).

Il est cependant nécessaire de préciser que ce phénomène ne saurait se généraliser à toutes les espèces. Bien que pour de nombreuses espèces ichthyologiques, l'augmentation de taille soit flagrante, il en est d'autres dont le poids ne semble pas être influencé par la réserve ou qui montrent même une baisse significative de leur taille après la mise en place de la réserve (Wantiez *et al.*, 1997).

La biomasse est directement fonction de la taille et de l'abondance des individus. La mise en réserve agissant sur ces deux paramètres, il est logique d'observer un Effet Réserve sur la biomasse. Globalement, à la mise en réserve succède une augmentation notable de la biomasse totale. Wantiez *et al.* (1997) observent que cette augmentation atteint +246% dans les AMPs. Roberts (1995) étudie les espèces à forte valeur économique et montre que globalement cette augmentation est de 60% mais peut aller jusqu'à 200% pour la famille des Lutjanidae.

Tout comme les augmentations de taille et d'abondance, l'accroissement de la biomasse n'est pas généralisable quand sont considérés les taxons inférieurs ou égaux à la famille (Famille, Genre, Espèce).

### 1.1.3.3. Reproduction favorisée

L'impact le plus important de la mise en place d'une AMP sur la biocénose est l'augmentation du potentiel reproducteur des différentes espèces marines (Barnabe et Barnabe, 1997). Cette augmentation est due principalement à 4 phénomènes :

- La réapparition d'une structure équilibrée des populations avec une concentration plus élevée d'adultes de grande taille (PDT, 1990 ; Harmelin *et al.*, 1995 ; Barnabe et Barnabe, 1997 ; Sluka *et al.*, 1997 ; Smith *et al.*, 1997 ; Wantiez *et al.*, 1997 ; Watson *et al.*, 1997 ; Milon *et al.*, 1999). Il faut savoir que la fécondité de nombreuses espèces marines (en particulier les poissons) croît exponentiellement avec la taille : une femelle de lutjan rouge (*Lutjanus bohar*) de 61 cm produit autant d'œufs que 21 femelles de 40 cm (Bohnsack, 1990). Sluka *et al.* (1997) ont estimé, pour une espèce de mérrou (*Epinephelus striatus*), un nombre d'œufs par hectare 6 fois plus important dans les AMPs que dans les zones non protégées. Russ *et al.* (1992) pensent que la mise en réserve reste la seule méthode de gestion viable pour maintenir un niveau suffisant de biomasse de reproducteurs nécessaires à la durabilité des pêches en milieu corallien.

- Le retour des comportements reproducteurs de groupe (Barnabe et Barnabe, 1997) (voir chapitre 1.2.2.).
- L'augmentation de la survie adulte. De nombreuses espèces ichthyologiques changent de sexe avec l'âge (Serranidae, Sparidae). Les pêches sélectives sur les plus gros individus entraînent un déséquilibre, parfois très important, dans le sex-ratio de certaines populations, ce qui remet en cause leur pérennité. La mise en réserve permet un retour à une structure d'âge équilibrée avec une proportion naturelle d'individus mâles et femelles qui favorise alors la reproduction (PDT, 1990 ; Buxton, 1993a ; Barnabe et Barnabe, 1997 ; Wantiez *et al.*, 1997).
- L'absence de dérive génétique. Barnabe et Barnabe (1997) constatent une dérive génétique chez certaines populations surexploitées. Les reproducteurs précoces sont ainsi sélectionnés car les plus gros individus sont pêchés. La réserve pallie ce problème et permet de maintenir une diversité génétique primordiale à la santé des populations (PDT, 1990 ; Balgos, 1997 ; Wantiez *et al.*, 1997). La préservation de la diversité génétique est nécessaire pour la survie des populations face à des variations des conditions environnementales.

#### 1.1.3.4. Exportation de biomasse vers des zones non protégées

De nombreuses espèces de poissons possèdent des phases œuf et larvaires planctoniques qui subissent une importante dispersion par les courants marins. De plus, beaucoup d'espèces ne sont pas sédentaires tout au long de leur cycle de vie (ou du cycle annuel), elles doivent changer d'habitat à certains stades, soit pour se reproduire, soit pour disposer de certaines ressources. Ceci implique des migrations qui peuvent les mener hors des périmètres protégés et ces migrations sont d'autant plus vraisemblables que la taille des réserves est réduite (Francour *et al.*, 1997). Il doit donc exister une exportation de poissons depuis les AMPs vers l'extérieur, soit à l'état adulte, soit sous forme de larves et juvéniles (Bohnsack, 1990 ; McClanahan, 1994 ; Carter et Sadberry, 1997). Francour (2000) pense que ce phénomène apparaît sur le long terme. Les flux migratoires, encore peu connus des adultes, juvéniles et larves restent des paramètres difficiles à étudier (Bohnsack, 1990) et dépendent de la nature et de l'étendue des échanges entre zones protégées et zones non protégées (Russ *et al.*, 1992).

#### Emigration des adultes et des juvéniles

La mise en réserve d'une aire marine délimitée entraîne une concentration plus importante des individus, ce qui augmente considérablement la compétition inter et intra-spécifique. De cette lutte pour la ressource (espace, nourriture, etc.) survient un phénomène bien connu des écologues : l'exclusion compétitive. De nombreux individus se déplacent vers des zones où la compétition est moins accrue et colonisent alors de nouveaux espaces. Ce phénomène favoriserait l'émigration des adultes et des juvéniles vers des zones non protégées (PDT, 1990 ; Alcalá et Russ, 1990 ; McClanahan, 1994 ; Russ et Alcalá, 1996 ; Sluka *et al.*, 1997 ; Wantiez *et al.*, 1997 ; Watson *et al.*, 1997 ; Zeller et Russ, 1998).

L'exportation des espèces vers les zones non protégées voisines semble évidente pour plusieurs auteurs (McClanahan, 1994 ; Russ et Alcalá, 1996a, 1996b ; Sluka *et al.*, 1997 ; Watson *et al.*, 1997). Russ et Alcalá (1996a, 1996b) montrent que deux réserves marines aux Philippines (réserve marine de Apo Island et de Sumilton Island) influent fortement sur les

pêcheries voisines par un réapprovisionnement des zones de pêche. Garce (1998) réalise les mêmes observations aux Philippines dans l'île de San Salvador.

Il est néanmoins intéressant de mentionner une étude précise de Zeller et Russ (1998) sur *Plectropomus leopardus* (mérrou) qui suggèrent que le flux d'adultes aux frontières de la réserve reste faible.

#### Augmentation du recrutement larvaire

En milieu récifal, les œufs de poissons sont le plus souvent libérés à proximité des passes et emportés par les courants. A la suite d'une phase océanique planctonique plus ou moins longue (9 à 100 jours), les larves regagnent les récifs (DUFOUR, 1992). Ce phénomène de colonisation, encore peu connu, est fortement dépendant des conditions climatiques et courantologiques. Une très forte mortalité (plus de 90 %) due à une forte prédation fait suite à la colonisation (DUFOUR, 1992). Le recrutement\* est l'aboutissement de ce phénomène. Seule une infime partie des larves colonisatrices va alors enrichir les populations récifales.

Les effets favorables d'une AMP sur la reproduction entraînent une production d'œufs fécondés plus importante et donc un flux larvaire plus élevé. L'étude de ces flux reste extrêmement difficile à réaliser avec précision. Toutes les études sur l'Effet Réserve n'analysent pas directement le flux larvaire. Néanmoins, de nombreux auteurs avancent l'hypothèse de l'augmentation du recrutement par exportation des larves dans les AMPs et les zones non protégées avoisinantes (Bonhsack, 1990, 1993 ; Buxton, 1993b ; Roberts et Polunin, 1991 ; Rowley, 1992) luttant ainsi contre la surexploitation (Barnabe et Barnabe, 1997 ; Watson *et al.*, 1997).

Selon Barnabe et Barnabe (1997), améliorer la reproduction revient à favoriser le recrutement, même si d'autres facteurs le rendent aléatoire. Wantiez *et al.* (1997) mettent en évidence un afflux de petits individus plus fort dans l'AMP.

Certains auteurs relativisent l'importance de la mise en réserve dans le niveau de recrutement :

- Une étude sur la modélisation préliminaire des flux de poissons post-établissement\*\*. (Russ *et al.*, 1992) montre que la réserve n'augmenterait le recrutement que dans le cas d'une forte mortalité due à la pêche dans les zones non protégées. Ceci peut être expliqué par le fait que l'un des principaux facteurs limitant le recrutement est la prédation. Dans les zones très pêchées, le nombre de prédateurs est plus faible. La prédation étant alors moins importante que dans les zones protégées, le recrutement est alors augmenté.
- Dans les réserves de Port-Cros, Scandola et aux Medes, les mesures de protection ne semblent pas influencer le niveau de recrutement des juvéniles (Francour et Ledireach, 1994 ; Macpherson *et al.*, 1996). La qualité particulière des habitats des juvéniles, spécifique à chaque espèce, est le principal facteur influençant le recrutement (Garcia-Rubies et Macpherson, 1995 ; Harmelin-vivien *et al.*, 1995 ; Francour et Ledireach 1997).

---

\* Le recrutement correspond au moment où la larve est devenue dépendante du substrat corallien, au même titre que ses congénères plus âgées (Dufour, 1992).

\*\* L'établissement ou installation correspond à la prise de contact avec le substrat corallien. C'est un processus qui peut être réversible (Dufour, 1992).

#### 1.1.4. Effet Tampon

L'Effet Tampon des AMPs a été relaté dans plusieurs études sur les peuplements de poissons (Francour, 1992, 1993, 1994, 2000 ; Barnabe et Barnabe, 1997 ; Francour *et al.*, 1997). Dans le milieu marin, les populations de nombreuses espèces sont soumises à des fluctuations saisonnières ou aléatoires des principaux paramètres caractéristiques des populations (densité, diversité, ...), dues à divers facteurs naturels ou anthropiques. La mise en réserve d'une aire marine limite ces fluctuations et les populations sont donc plus stables dans le temps. Ainsi, les variations de l'abondance, de la diversité et de la biomasse sont moins marquées dans les AMPs.

#### Effet Tampon et Effet Refuge

L'Effet Tampon et l'Effet Refuge sont les deux principaux aspects de l'Effet Réserve (Francour, 1993). L'Effet Refuge est la dimension spatiale du phénomène tandis que l'Effet Tampon est la dimension temporelle. Ces deux facteurs agissent probablement simultanément dans le milieu marin, mais il est possible que l'un des deux soit prédominant. Une régulation des populations par prédation ou compétition supérieure à la régulation par recrutement larvaire favorise l'Effet Tampon. Inversement, l'Effet Refuge est surtout observé quand la régulation des populations se réalise essentiellement via le recrutement.

Les perturbations du milieu affectent différemment l'un ou l'autre des deux effets. Les perturbations sélectives (pêche, ...) altèrent essentiellement l'Effet Refuge et les perturbations non sélectives (pollution, impact des ancres, ...) qui dégradent et détruisent le milieu (Munro *et al.*, 1987 ; Russ et Alcala, 1989) diminuent ainsi l'Effet Tampon.

#### 1.1.5. Effet de Concentration

L'Effet de Concentration (Barnabe et Barnabe, 1997) des AMPs est un concept théorique qui n'a pas été démontré objectivement. Il suggère que la mise en réserve d'une aire marine ne peut pas constituer une référence de l'état naturel d'origine de l'écosystème. Bennet et Atwood (1991) pensent qu'un équilibre alternatif stable peut alors se mettre en place.

Ce concept de l'Effet de Concentration se base sur la démonstration suivante. La base de la vie dans le milieu marin est le plancton. La réserve capte donc un flux de plancton naturel, plus celui qui n'est pas consommé dans les zones non protégées faute de planctonophages suffisants. Ces derniers deviennent alors plus abondants dans la réserve car ils y trouvent une nourriture riche. Les prédateurs des planctonophages se concentrent dans la réserve pour s'y nourrir (concentration active) et peuvent y rester car ils n'y sont pas pêchés (concentration passive). La concentration de la faune dans les AMPs ne peut donc servir de référence à l'état naturel avant la prédation de l'homme, elle aggrave les différences entre les zones protégées et non protégées et souligne bien l'impact des activités humaines sur les écosystèmes (Barnabe et Barnabe, 1997).

### 1.2. Les modifications éthologiques

La mise en place d'une réserve marine entraîne un bouleversement profond des relations des peuplements avec leur milieu de vie. L'élaboration d'un nouvel équilibre, avec l'absence

des pressions anthropiques, autorise des comportements qui avaient disparu avec l'homme. Ces changements de comportement ne restent que très peu étudiés de manière rigoureuse et font souvent l'objet d'observations "post-réserve".

### 1.2.1. Comportement envers l'homme

L'homme n'intervenant plus sur le milieu en tant que prédateur, il n'est plus perçu alors comme une menace (Russ, 1991 ; Wantiez *et al.*, 1997). Il lui est donc possible, dans le cadre d'activités peu perturbatrices comme la plongée, d'observer dans les AMPs, des comportements qui n'apparaissaient plus. L'homme n'est alors plus craint et fuit systématiquement (Francour, 2000). C'est ainsi que de gros prédateurs comme les mérours peuvent être approchés dans les réserves, procurant bonheur et émerveillement aux plongeurs. Walls (1998) mentionne aussi le phénomène de "feeding" dans la réserve de Leigh (Nouvelle Zélande) c'est-à-dire le nourrissage des poissons qui entraîne une modification évidente du comportement des poissons.

### 1.2.2. Comportement reproducteur

De nombreuses espèces de poissons coralliens se regroupent en grand nombre pour pondre sur des sites spécifiques, selon les saisons ou les cycles lunaires (espèces appartenant aux familles des Serranidae, Lutjanidae, Pomacanthidae, Mullidae, Siganidae et autres). Ces regroupements deviennent les cibles des pêcheurs qui peuvent alors faire de grosses prises extrêmement préjudiciables aux populations de poissons. De plus, l'amélioration des matériels de pêche et la démocratisation des GPS (Global Positioning System) et des sondeurs permettent une localisation plus aisée de ces sites et une pression de pêche encore accrue. En Atlantique Ouest, les regroupements de mérours (Shapiro, 1987) ont disparu à Porto Rico, à Saint-Thomas, en Floride et en République Dominicaine. Il en résulte à chaque fois une chute impressionnante des pêcheries. Pour plusieurs autres espèces, ces regroupements ont disparu sans qu'ils n'aient été remarqués. Robert (1998) met en avant la responsabilité des scientifiques qui ne se sont pas montrés assez prompts à se rendre compte qu'il est nécessaire d'étudier ce phénomène, de le localiser, de le caractériser et de le protéger. La mise en place d'une réserve marine permet de supprimer la pression de pêche sur ces regroupements (Barnabe et Barnabe, 1997 ; Robert, 1998). Selon Robert (1998), la présence d'un site de regroupement peut à lui seul justifier la mise en place d'une AMP. Le gouvernement de Palau a ainsi créé la réserve marine de Ngerumekaol dans le but de protéger le lieu de regroupement de nombreuses espèces marines d'importance économique forte.

## 1.3. Les modifications de la distribution spatiale

La modification des rapports de la biocénose avec l'espace qui l'entoure est un aspect de l'Effet Réserve qui reste peu étudié. Cependant quelques auteurs relatent des observations et des réflexions intéressantes sur la réoccupation des zones désertées et l'Effet Bordure.

### 1.3.1. Réoccupation des zones désertées

Cette observation a surtout été réalisée en Méditerranée dans les AMPs où les petits fonds (0-5 m) font l'objet d'une fréquentation par des espèces diverses et parfois de grandes tailles ; phénomène qui n'est plus constaté dans les zones non protégées (Francour *et al.*,

1997). Cette réoccupation concerne aussi les habitats désertés à cause de leur trop grande accessibilité à la chasse sous-marine (Harmelin, 1995). La faune marine peut alors, sans risque de prédation humaine, se réinstaller dans son habitat originel.

### 1.3.2. Effet Bordure

L'Effet Bordure semble être un effet anecdotique qui a été avancé par un seul chercheur : Mouton (1999). Bien que non étudié avec rigueur, il explique que les poissons sont plus présents au centre de la réserve que dans sa périphérie. Ce phénomène est appelé Effet Bordure.

## 1.4. Les effets négatifs de la réserve sur les communautés marines

Les effets négatifs des AMPs sur les écosystèmes marins existent à court terme et sont à moyen et long termes largement compensés par les bénéfiques (Nowlis et Roberts, 1997).

Le principal effet négatif des AMPs s'observe sur les zones voisines non protégées. En effet, la diminution de la surface où l'exploitation des ressources marines est autorisée (zones non protégées) entraîne, à niveau d'activité identique, une pression plus forte sur ces zones (Russ *et al.*, 1992 ; Nowlis et Roberts, 1997). A court terme (les 2 premières années), le témoin le plus flagrant de ce phénomène est une diminution des prises par les pêcheurs, bien que mineure dans la plupart des cas (Nowlis et Roberts, 1997). En fait, cette diminution serait directement fonction du pourcentage de territoire mis en réserve. Globalement, une mise en réserve de 50% du territoire entraînerait une chute de 50% des pêches. Cette diminution des pêches peut être accentuée et surtout prolongée par une recrudescence du braconnage. Il est nécessaire de noter que la réserve ayant un impact positif sur les stocks de poissons, elle devient le lieu privilégié pour tout type de braconnage (Russ *et al.*, 1992). Comme celui-ci vise essentiellement les plus gros individus, il limite ou annule les effets bénéfiques sur les zones voisines.

Les autres impacts négatifs sont moins importants et peuvent être gérés plus aisément. Ils sont essentiellement liés à une utilisation non raisonnée du milieu protégé. Francour (2000) souligne que la protection d'une aire marine est très attractive pour le tourisme. Elle favorise donc une fréquentation humaine accrue, ce qui peut induire des dégradations principalement de deux types :

- L'Effet Plongeur. Dans le cas de la pratique autorisée de la plongée dans la réserve, la régression de certains peuplements particulièrement fragiles (gorgone) peut alors survenir suite aux dégradations mécaniques dues aux plongeurs ou aux prélèvements clandestins (Sala *et al.*, 1992 ; Capella, 1996). Les bulles en suspension au plafond des grottes sous-marines ou la mise en suspension des vases sont aussi des dégradations qui sont dues à la pratique d'activités subaquatiques.
- L'impact des ancres de bateaux sur le substrat, qui est d'autant plus élevé que le tourisme (plongée, plaisance) se développe.

## 2. L'expertise scientifique pour le suivi de l'Effet Réserve en milieu marin

L'étude de l'Effet Réserve se base essentiellement sur des techniques d'études classiques de l'analyse des communautés biologiques en milieu marin en se focalisant plus particulièrement sur quelques grands groupes zoologiques.

### 2.1. Les paramètres étudiés

La majorité des études de l'Effet Réserve en milieu marin se base sur l'analyse des peuplements ichthyologiques.

Bien que dans de nombreux cas ces auteurs analysent précisément l'ensemble du peuplement ichthyologique, ils consacrent souvent un effort particulier aux espèces à valeurs commerciales. Ces dernières subissant plus fortement les pressions de pêche, elles sont plus à même de rendre compte des effets de la protection (Francour, 1997). Sluka *et al.* tentent même d'apprécier l'Effet Réserve sur une seule espèce de mérrou (*Epinephelus striatus*) d'importance économique et écologique forte.

En milieu corallien, en plus des espèces commerciales, sont pris en compte certains poissons indicateurs de l'état de santé des récifs. La famille des Chaetodontidae (poissons papillons) est alors le plus souvent choisie à cet effet car les poissons papillons sont intimement liés à la vitalité corallienne (Wantiez *et al.*, 1997).

Les paramètres évalués pour les peuplements ichthyologiques sont essentiellement :

- l'abondance (sous la forme d'une densité : nombre d'individus / unité de surface),
- la richesse spécifique (nombre total d'espèces présentes sur le site),
- la taille des individus,
- la biomasse.

Pour la richesse spécifique, certains auteurs pensent qu'il ne s'agit pas d'un paramètre suffisamment sensible pour des comparaisons entre différents sites dans le cadre d'un suivi routinier (Russ, 1985 ; Alcalá, 1988).

Même si la plupart des études de l'Effet Réserve en milieu marin sont focalisées sur les poissons, il en est certaines qui abordent différents peuplements d'invertébrés. McClanahan (1989) évalue l'Effet Réserve sur des gastéropodes, MacDiarmid et Breen (1993) sur les mollusques, McClanahan, (1994), sur les oursins, Smith *et al.* (1997) étudient les holothuries et les mollusques et De Meyer *et al.* (2001) sur les Palourdes. Néanmoins ces études restent relativement marginales. Tout comme pour les poissons, la taille, l'abondance et la diversité sont les principaux facteurs évalués.

L'analyse du substrat constitue un point intéressant dans l'étude de l'Effet Réserve en milieu corallien. Elle intervient pour déterminer les sites d'échantillonnage similaires afin de pouvoir comparer les zones de protections différentes. Le substrat peut aussi être étudié pour mettre en évidence ou non une modification significative de l'écosystème à la suite de la mise en réserve. Le substrat en milieu corallien est évalué en distinguant :

- les critères sédimentologiques (substrat abiotique),

- le substrat biotique regroupant différents groupes biologiques (colonies coralliennes, algues et les autres macro-organismes benthiques).

L'abondance et le pourcentage de recouvrement de ces différents paramètres sont alors les mesures les plus fréquemment réalisées (McClanahan, 1994 ; Garces, 1998 ; Thollot, 1999).

Pour les scléactiniaires (coraux), la forme des colonies est aussi appréciée. De nombreux scientifiques pensent que le recouvrement corallien est la mesure qui sensibilise le plus les politiques sur la santé du récif (Risk et Risk, 1997).

## 2.2. L'échantillonnage

La mise en œuvre d'un échantillonnage pour mettre en évidence l'Effet Réserve répond souvent aux mêmes exigences que les suivis de l'état de santé des milieux sur lesquels il est fortement calqué.

### 2.2.1. Sites d'étude et principes d'échantillonnage

La mise en évidence rigoureuse de l'Effet Réserve dépend de la sélection de sites d'échantillonnage représentatifs de la zone considérée. La base des études de l'Effet Réserve consiste en une comparaison des différents paramètres entre les AMPs, les zones non protégées (Wantiez *et al.*, 1997 ; Watson *et al.*, 1997) et éventuellement des zones de protections intermédiaires (Roberts et Polunin, 1992 ; Francour, 1993).

Roberts et Polunin (1992) montrent l'existence de différences entre les zones protégées et non protégées, mais ne peuvent confirmer l'hypothèse de l'Effet Réserve car ces différences peuvent être dues à des spécificités intrinsèques aux sites et non à la nature de la protection. L'absence de relevé avant la mise en réserve est l'obstacle qui ne leur permet pas de valider cette hypothèse. **L'échantillonnage pré et post-établissement de la réserve paraît donc indispensable pour toute évaluation rigoureuse de l'Effet Réserve** (Smith *et al.*, 1997 ; Wantiez *et al.*, 1997 ; Halpern, sous presse).

Les comparaisons s'effectuent alors entre les zones protégées et non protégées puis entre "l'avant " et "l'après " réserve dans les zones protégées et non protégées.

### 2.2.2. Méthodes d'échantillonnage

Les méthodes d'échantillonnage dépendent des questions auxquelles l'expérimentation se doit de répondre : est-ce que ce site est différent d'un autre, est-ce qu'il a changé depuis qu'il est suivi (Roberts et Polunin, 1992) ?

En plus de la sélection de paramètres pertinents qui feront l'objet du suivi, la taille de l'échantillon est un facteur important. De lui dépend la représentativité biologique et statistique de l'expérimentation.

Pour une appréciation de l'évolution d'un paramètre au cours du temps, il est nécessaire de répéter les échantillonnages à différentes dates. Ces réplicats peuvent être réalisés soit exactement au même endroit (balisage précis), soit sur le même site mais de manière aléatoire (Harmelin *et al.*, 1995). Cette dernière méthode, bien que plus facile à mettre en œuvre, nécessite un plus grand nombre de réplicats pour détecter une même variation.

Un échantillonnage de bonne qualité nécessite une reproductibilité aisée des manipulations. Les matériels utilisés à ces fins sont donc facilement transportables et

utilisables (ruban gradué, cadre). Il est intéressant de noter que caméras et appareils photographiques étanches sont des matériels de plus en plus utilisés qui viennent affiner et compléter l'usage d'équipements plus "traditionnels".

L'échantillonnage en milieu marin se doit de considérer les caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et géologiques du milieu afin de pouvoir réaliser des comparaisons rigoureuses entre sites. Harmelin *et al.* (1995) affirment que l'échantillonnage peut être très influencé par la nature du milieu, il est donc primordial de l'effectuer dans des sites similaires (même profondeur, type de fond, complexité, ...). Dans le cas contraire, on ne saurait affirmer si les différences ou similitudes observées lors des échantillonnages sur différents sites traduisent des phénomènes réels ou alors si elles sont dues uniquement aux dissemblances intrinsèques des sites.

### 2.2.2.1. Méthodes pour le suivi de l'Effet Réserve sur le peuplement ichthyologique

Plusieurs techniques d'échantillonnage ont été recensées. Elles sont basées, pour la majorité, sur les méthodes classiques de suivi des peuplements ichthyologiques (English *et al.*, 1994). Harmelin *et al.* (1995) pensent que l'échantillonnage doit être réalisé sur des sites similaires et au mieux durant le même jour afin de limiter les variations à court terme.

**Le recensement par comptage visuel** est une stratégie très répandue, peu perturbatrice et facile à mettre en œuvre. Trois méthodes sont alors couramment utilisées (parfois conjointement) : la méthode du "transect poisson" (Mete *et al.*, 2001), le point fixe et le parcours aléatoire.

#### Le "transect poisson"

La méthode du "transect poisson" (Fig. 3) se base sur un échantillonnage dans une surface (ou un volume) connu. Cette surface correspond à un couloir dont la ligne médiane est matérialisée sur le terrain par un ruban gradué. L'observateur déroule le ruban sur le fond puis nage lentement le long de celui-ci et prend en compte les poissons qui sont à l'intérieur du couloir. Ils sont alors identifiés, dénombrés, leur taille est estimée et parfois la distance entre les poissons et le transect est évaluée (Wantiez *et al.*, 1997 ; Thollot, 1999). La dimension des couloirs est variable selon les auteurs.

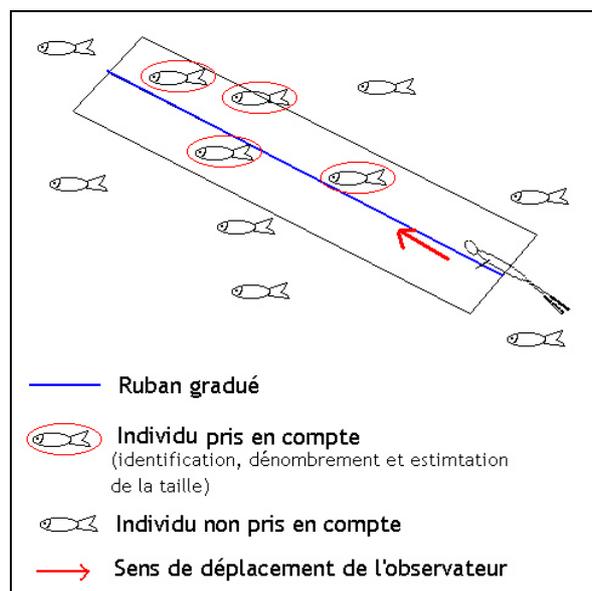


Figure 3 : Méthode du "transect poisson"

Cette méthode permet une évaluation précise de l'abondance (ou densité), de la taille, de la diversité et de la biomasse sur une surface donnée. L'estimation de la largeur du transect nécessite un entraînement préalable par la pose de repères visuels (drapeau à 2,5 m de chaque côté du transect pour un couloir de 5 m de large (Sluka *et al.*, 1997)), tout comme l'estimation de la taille des poissons et la distance entre les poissons et le transect.

Dans un écosystème riche comme les récifs coralliens, la reconnaissance des espèces, compte tenu de leur multiplicité, reste malaisée et nécessite l'intervention de personnels bien entraînés. Greene et Alevizon (1989) pensent que la technique d'échantillonnage par groupe discret (discret-group sampling technical) pallie efficacement cette difficulté mais exige des moyens humains plus importants. Plusieurs plongeurs échantillonnent alors en même temps, chacun se consacrant à une seule catégorie de poissons (selon la famille, l'espèce, le comportement ou la morphologie). Cette technique d'échantillonnage est utilisée par de nombreux auteurs. Un effort particulier est réalisé pour les espèces cibles. Harmelin *et al.* (1995) suggèrent l'élaboration au préalable d'une liste des espèces à prendre en compte pendant l'échantillonnage.

### La méthode du point fixe

L'observateur se place à un endroit fixe, effectue une lente rotation de 360° sur lui-même et comptabilise tous les poissons dans un rayon déterminé (Fig. 4) (rayon de 8 m pour Buxton et Smale, 1989 ; 5 et 10 m pour Roberts et Polunin, 1992 ; 10 et 15 m pour Francour, 1993). Roberts et Polunin (1992) tournent de 360° toutes les 3 minutes durant 15 minutes, la moyenne de 5 comptages étant alors retenue. Cette technique est dépendante de la turbidité de l'eau et n'est pas applicable dans des zones de visibilité réduite. Tout comme la méthode du transect poisson, elle permet une évaluation de l'abondance, de la taille, de la diversité et de la biomasse sur une surface ou un volume donné

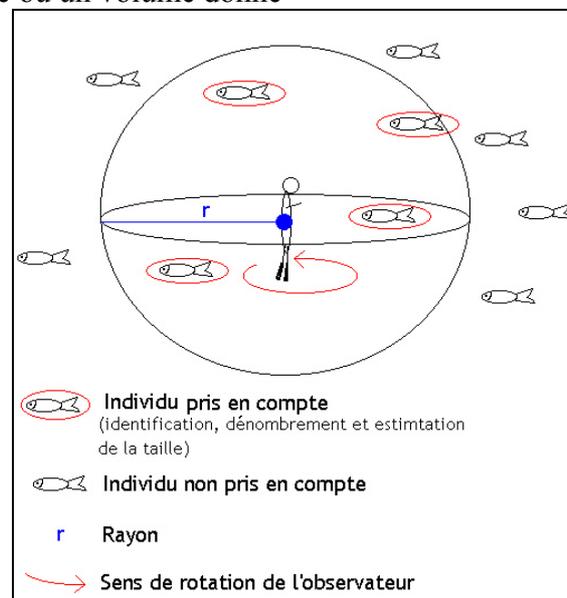


Figure 4 : Méthode du point fixe

### Le parcours aléatoire

Cette méthode est essentiellement utilisée pour l'évaluation de la richesse spécifique. L'observateur recense alors toutes les espèces rencontrées lors d'un parcours aléatoire (Fig. 5.)

de durée déterminée. Un tableau "présence/absence" est alors rempli (Harmelin *et al.*, 1995). La durée de l'échantillonnage correspond au temps au bout duquel la courbe du nombre cumulé d'espèces rencontrées au cours du temps se stabilise.

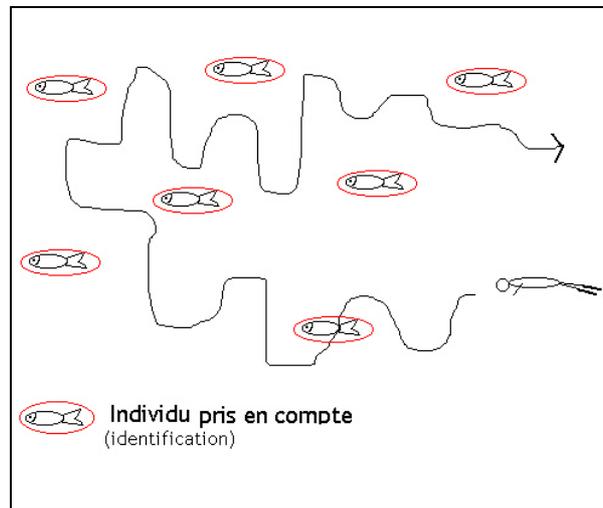


Figure 5 : Méthode du parcours aléatoire

### Les limites des méthodes de comptage visuel

Il est nécessaire de préciser que l'échantillonnage par comptage visuel ne permet pas de recenser certaines espèces alors qu'elles vivent également dans la zone prospectée (Galzin, 1979 ; Kulbicki, 1988b). De même selon les espèces, leurs comportements ou leurs habitats, le comptage sera plus ou moins précis. Ainsi, les techniques d'échantillonnages visuels peuvent entraîner un biais par un phénomène d'évitement de certaines espèces durant la pose du transect (Flowers, 1987) et durant le comptage (Smith, 1988). De plus, dans une zone pêchée, il est possible que certains poissons évitent l'homme. Pour minimiser ce problème, il est nécessaire de comptabiliser d'abord les espèces les plus sensibles à ce phénomène. Harmelin *et al.* (1995) suggèrent un effort particulier du plongeur pour l'observation des espèces rares ou circonspectes. Risk (1972) utilise même des lampes sous-marines afin d'appréhender les espèces qui se dissimulent dans des anfractuosités sombres. Il faut donc garder à l'esprit que tout comptage visuel n'est pas exhaustif et ne porte que sur une partie du peuplement vivant dans la zone prospectée à un moment donné (Harmelin-Vivien *et al.*, 1985).

Chiappone et Sullivan (1991) ont comparé plusieurs méthodes d'échantillonnage de poissons en milieu corallien et montrent que toutes les techniques classiques se valent. Néanmoins, ils préconisent le "transect poisson".

### Technique d'estimation de la taille des poissons

L'évaluation de la taille des poissons se réalise le plus souvent à l'aide d'estimations directement dans le milieu par observation visuelle. Cette méthode demande une phase d'entraînement pour éviter des erreurs trop importantes (English *et al.*, 1994 ; Sluka *et al.*, 1997). De nombreuses études ont montré que la différence entre les tailles réelles et observées est de l'ordre de 25% (Kulbicki, 1988 ; Kulbicki et Wantiez, 1990 ; Kulbicki *et al.*, 1994).

Roberts et Polunin (1992) montrent que, dans le cadre de leur étude, pour une estimation au centimètre près, cette erreur est négligeable (de l'ordre de 3%).

## Quelques autres techniques d'étude

D'autres techniques d'étude pour certains paramètres spécifiques ont été recensées mais restent relativement marginales :

- L'étude des déplacements d'une espèce à forte exploitation commerciale en Australie (*Plectropomus leopardus*) de part et d'autre d'une réserve marine (Grande Barrière) a été réalisée par Zeller et Russ (1998) à l'aide de méthodes de capture/marquage/recapture et de télémétrie numérique. La capture est réalisée par une pêche avec hameçon et la recapture consiste en un relevé visuel sous-marin.
- Lors d'une étude de l'Effet Réserve sur les stocks de pêche, Bennet et Attwood (1991) pêchent, identifient les espèces, les pèsent et comptabilisent le temps de pêche pour évaluer l'évolution de la prise par unité d'effort selon le niveau de protection.

### 2.2.2.2. Méthodes d'étude du substrat et des macro-organismes benthiques

L'étude du substrat et de la macro-flore et macro-faune benthiques\* (McClanahan, 1994 ; Thollot, 1999) se réalise le plus souvent avec deux méthodes : Le "transect benthos" (ou méthode de l'interception par un transect linéaire) et la méthode des quadrats.

#### La méthode du "transect benthos"

Cette méthode consiste à dérouler un ruban gradué sur le fond (Fig. 6). Ensuite, l'observateur identifie et mesure tous les différents substrats biotiques et abiotiques interceptés par le ruban gradué. La longueur de ce dernier est variable, le plus souvent entre 10 et 50 m. Cette méthode permet de réaliser une analyse qualitative et quantitative du substrat en évaluant son taux de recouvrement par type de substrat, sa diversité, etc.

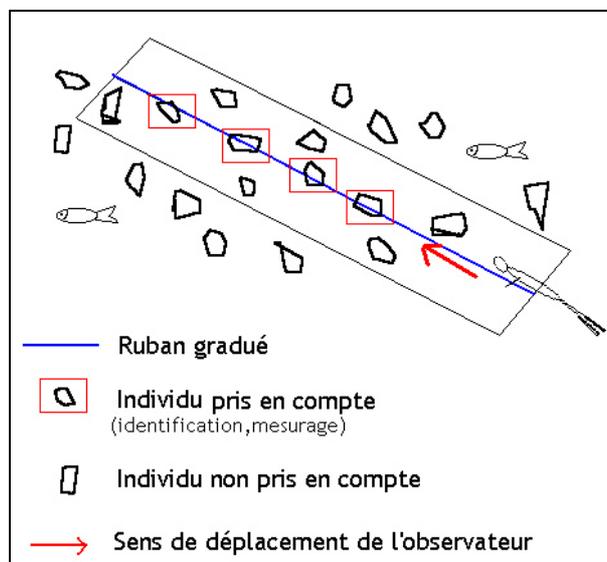


Figure 6 : Méthode du "transect benthos"

\* Ici, le terme macro-faune benthique ne prend pas en compte l'ichtyofaune qui a été abordée en détail dans le chapitre 2.2.2.2.

### La méthode des quadrats

La méthode des quadrats (Fig. 7) est utilisée principalement pour étudier les espèces fixées ou sédentaires (comme les oursins, McClanahan, 1994). Elle est basée sur un échantillonnage dans un cadre de surface connu. Dans la plupart des cas, ces cadres sont quadrillés régulièrement de manière à visualiser des unités de surface plus petites qui permettent un échantillonnage plus précis. Le cadre est posé sur le fond. Ensuite, l'observateur dénombre et peut estimer la surface des organismes qui sont à l'intérieur du cadre. Cette méthode permet principalement d'évaluer des abondances et des taux de recouvrement. En milieu corallien, lorsque ces échantillonnages sont réalisés exactement au même endroit au cours du temps, il est possible d'estimer précisément la croissance, la mortalité et le recrutement des organismes fixés.

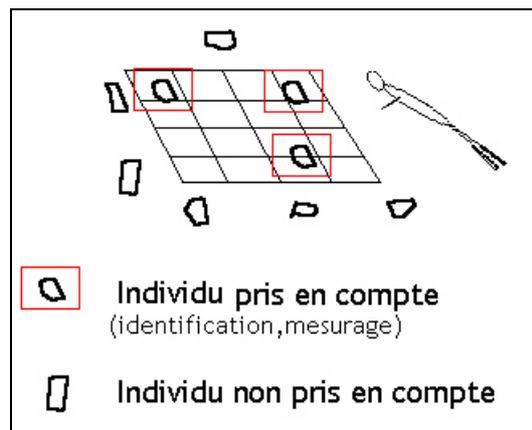


Figure 7 : Méthode des quadrats

## 3. Les causes de non mise en évidence de l'Effet Réserve et les précautions à prendre

Le succès d'une réserve dépend de nombreux paramètres qu'il semble primordial de considérer avec attention. La mise en évidence de l'Effet Réserve sera donc plus aisée lorsqu'ils sont pris en compte. Ces paramètres sont de plusieurs ordres et peuvent être classés en 4 grandes parties : les précautions à prendre pour la conception et la gestion de la réserve, les précautions pour l'élaboration du suivi écologique et l'importance des facteurs naturels.

### 3.1. La conception de la réserve

Déjà, en 1984, Sam et Clark expliquent que l'efficacité de la protection d'une aire marine dépend fortement des objectifs de la réserve (Milon *et al.*, 1999), de l'existence d'une législation adaptée et acceptée par la population locale et d'un système de management efficace. Le hasard n'a donc pas sa place dans un projet de réserve naturelle marine. L'existence d'une réserve étant liée à l'homme et au milieu, la conception de celle-ci nécessite la prise en compte simultanée de ces deux "acteurs". Une concertation initiale pour l'élaboration de la réserve est donc fondamentale pour le succès de celle-ci (Francour 1993, Francour *et al.*, 1997).

### 3.1.1. Considérations biologiques

La mise en place d'une réserve marine doit se faire sur la base d'une étude scientifique préalable sur la taille, la localisation et le type de réserve (Walls, 1998). Cette étape reste un gage de succès et tout manquement à ce principe serait préjudiciable à l'efficacité de la réserve.

Les critères les plus importants de sélection des sites d'emplacement des AMPs ont été abordés par de nombreux auteurs et sont listés comme suit :

- L'Effet Réserve est d'autant plus important que le milieu est productif (Francour, 1993). D'où la nécessité d'une certaine complexité structurale avec une diversité d'habitats suffisante c'est-à-dire une complexité des différents milieux (complexité intrinsèque au milieu) et une diversité de milieu (plusieurs types de milieu). Ceci rend plus rapide et plus important le potentiel de restauration de la réserve.
- La réserve doit contenir tous les types d'habitat de la région afin de permettre la protection des différents stades de développement des espèces qui ne sont souvent pas encore connus (Milon *et al.*, 1999). Il est important de garder à l'esprit que l'Effet Réserve dépend du type d'habitat et peut différer alors de manière conséquente selon leurs types (Russ *et al.*, 1992 ; Francour, 1993).
- L'implantation dans une zone fortement urbanisée n'est pas forcément un handicap (ex : succès de la réserve de Carry-le-Rouet malgré la proximité de l'urbanisation), le respect strict de la réglementation étant le facteur déterminant (Francour *et al.*, 1997).
- Un seul grand site, un petit ou un réseau ?

La taille et le nombre de réserves sont des sujets sources de plusieurs désaccords entre scientifiques (Francour, 2000). Aucune donnée chiffrée n'a pu être recensée dans la littérature et il semble qu'il n'existe pas de réponse universelle précise à la question de la taille et du nombre de réserves marines.

Milon *et al.* (1999) pensent qu'une petite surface peut être choisie quand il s'agit de la protection d'un habitat spécifique ou d'un site spécifique lié au cycle de vie de certaines espèces, notamment les sites de regroupement pour la reproduction. Cependant, l'AMP doit être de taille suffisamment élevée pour avoir un impact perceptible. Roberts et Hawkins (1997) montrent que même une réserve de petite taille peut être efficace. La réserve de Anse Chastanet (St-Lucie) ne mesure que 2,6 Ha (150 m x 175 m) et au bout de 2 ans, un impact significatif a été mis en évidence. Quelques auteurs pensent que la taille limitée des AMPs peut être une des causes de non-observation de l'Effet Réserve (Bohnsack *et al.* 1992 ; Idechong et Graham, 1998). Halpern (sous presse) dans une synthèse des observations relatives à 89 réserves marines conclue que l'efficacité des réserves n'est pas proportionnelle à leur taille mais il prône les réserves de grandes tailles car elles ont plus de chance d'atteindre leurs objectifs de conservation.

Une grande zone protégée sera plus adaptée pour la lutte contre la surexploitation et la destruction des habitats.

Le réseau de zones protégées devrait être développé pour maintenir la diversité des stocks multispécifiques. Le réseau de réserves semble être plus efficace que la réserve de grande taille pour maintenir la stabilité des populations et l'intégrité des habitats (Milon, *et al.*, 1999).

- La réserve doit prendre en compte les connaissances sur les modèles de dispersion des espèces à protéger ainsi que les courants et leur potentiel de dispersion des larves (Milon, *et al.*, 1999).
- Les pollutions et les phénomènes de sédimentation doivent être limités dans la réserve (Milon, *et al.*, 1999).

### 3.1.2. Considérations sociales

Milon *et al.* (1999) abordent quelques considérations sociales pour les succès d'une réserve marine.

- La zone de protection totale est le moyen le plus acceptable pour ne pas accroître les conflits d'intérêts entre les différents usagers. Leenhardt (2000) pense qu'il est important de mettre en place 2 types de zonage : la réserve intégrale et des "zones tampons" autour, où l'activité humaine est réglementée de manière moins contraignante. Francour (2000) pense qu'une réserve avec différents niveaux de protection est très positive pour le milieu. Pour lui, la notion de réserve tournante, c'est-à-dire des réserves dont les frontières changent régulièrement dans le but d'augmenter les pêcheries à court terme, est une aberration.
- La réserve doit être créée sur le principe de protection à long terme.
- La réserve doit protéger toutes les espèces contre l'exploitation.
- Il est important de pouvoir démontrer l'Effet Réserve aux pêcheurs (Leenhardt, 2000).
- La pratique d'activités non destructives dans les zones de protection totale peut ou non être encouragée afin de sensibiliser le public au bien fondé du système de gestion (Milon *et al.*, 1999). La réserve, pour fonctionner, ne doit donc pas être fermée au public et doit laisser une ouverture au tourisme et à l'exploitation économique (Leenhardt, 2000).
- Les limites de la réserve devront être aisément identifiables par tous les usagers du milieu.
- Les scientifiques devront faire un effort de vulgarisation de leurs études et de leurs problématiques (Wilkinson et Chou, 1997) afin de dé-marginaliser la recherche et de promouvoir la réserve (Walls, 1998).
- Il est important de promouvoir l'environnement et la nécessité de la conservation (Balgos, 1997). L'information et la participation du public sont essentielles pour faciliter la compréhension et l'appropriation de la réserve (Walls, 1998).

### 3.1.3. Considérations réglementaires

**La mise en place d'une réglementation adaptée aux objectifs de la réserve et à la capacité effective de la faire respecter est une condition *sine qua none* du succès d'une réserve marine.**

Keller *et al.* (1995) font le constat que plus de 90% des réserves n'atteignent pas leurs objectifs, car très peu ont un plan de gestion, disposent d'un personnel qualifié et d'un budget suffisant. **Une erreur trop fréquente est la mise en place d'une réglementation impossible à faire respecter sur le terrain avec les moyens du moment** (Barnabe et Barnabe, 1997). Les possibilités de surveillance et de répression doivent être évaluées avec soin et tout projet de réglementation doit en tenir compte. La zone de protection totale reste le moyen le plus aisé pour faire respecter la réglementation (Walls, 1998).

Les bénéfices d'une réserve marine se basent essentiellement sur une survie de gros adultes reproducteurs et sur la protection des habitats. Si la réserve ne permet pas ces deux phénomènes, les effets seront cryptiques. Le braconnage semble donc être un des principal ennemi d'une réserve car il menace préférentiellement les plus gros individus. Comme ces derniers sont aussi les plus féconds, une faible pression de pêche sur eux peut minimiser fortement les bénéfices d'une réserve (Watson *et al.*, 1997). Francour (1993, Méditerranée) recommande le respect d'un faible niveau de perturbations sélectives (pêche) et non sélectives (pollution, dégradation mécanique). Roberts (1998, milieu corallien) se montre plus catégorique et pense que les problèmes de sur-pêche sont tellement fondamentaux en milieu corallien qu'**une zone de protection totale est le minimum requis pour une réserve**. Ainsi, plusieurs études ne vérifiant pas les effets réserves théoriques suggèrent l'hypothèse du braconnage comme étant une des explications probables (Bohnsack *et al.*, 1992 ; Idechong et Graham, 1998 ; Thollot, 1999). L'impact du braconnage dépend aussi du pouvoir destructeur des techniques de pêche utilisées. La chasse sous-marine est souvent mise en cause mais Bohnsack *et al.* (1992) pensent que certaines techniques plus traditionnelles comme l'utilisation de lignes avec hameçons ont un impact qui pourrait être aussi important si ce n'est plus que la chasse sous-marine. Ils prônent alors l'interdiction totale des pêches dans les AMPs.

### 3.2. La gestion de la réserve

De la qualité de gestion d'une réserve marine dépend son succès. Un gestionnaire compétent, possédant des moyens adaptés, est un des noyaux fondamentaux d'une réserve efficace.

Barnabe et Barnabe (1997) abordent ce sujet et exposent les conditions de succès d'une AMP :

- La centralisation des pouvoirs sur la réserve : un seul organisme compétent doit être chargé du management de la zone.
- L'organisme chargé du management doit prévoir un plan de gestion avec des objectifs clairement identifiés, disposer de personnels qualifiés\* en nombre suffisant et de revenus adéquats (Keller *et al.*, 1995 ; Culioli, 2000).
- La possession de revenus propres au gérant permet d'éviter de privilégier les activités lucratives au détriment de la protection du milieu.
- La consultation doit être la phase préliminaire à la décision. Avant la mise en œuvre d'un projet, l'organisme gérant de la réserve se doit de consulter toutes les parties impliquées.

---

\* Il faut 2 semaines de formation afin de rendre opérationnel un étudiant pour les relevés les plus simples (Wells, 1997) avec des résultats quasiment identiques à ceux d'un scientifique (Risk et Risk, 1997)

Cette étape reste une étape vitale au succès de la réserve ; le plus tôt réalisée, elle palliera du mieux possible aux malentendus (Walls, 1998).

- Le gestionnaire doit disposer d'une capacité de contrôle effective de la réserve et être capable de pratiquer une surveillance de tout temps (**nuit, jour, semaine, week-end et jours fériés**).
- Le gestionnaire doit solliciter et organiser les recherches et les études sur la zone. Un suivi scientifique fiable crédibilise les objectifs de gestion et les actions du gestionnaire (Culioli, 2000).

### 3.3. Les précautions pour la mise en place d'un suivi de l'Effet Réserve

La mise en place d'une étude de l'Effet Réserve est soumise à plusieurs contraintes scientifiques qu'il est nécessaire d'identifier. Tout suivi de l'Effet Réserve devra satisfaire les exigences suivantes pour pouvoir étudier avec rigueur ce phénomène :

- La mise en place d'un suivi régulier (Dufour *et al.*, 1995) est primordiale. La surveillance n'est plus le rôle du scientifique, celui-ci devant se consacrer à l'identification des causes de stress et de dégradations du milieu (Risk et Risk, 1997).
- Des suivis pré et post-établissement de la réserve dans la zone protégée et dans les zones non protégées doivent être mis en œuvre (MacDiarmid et Breen, 1993 ; Kaly et Jones, 1997 ; Idechong et Graham, 1998 ; Milon *et al.*, 1999 ; Francour, 2000). De nombreuses études ne peuvent conclure avec rigueur d'un éventuel Effet Réserve faute de données avant la mise en place de la réserve (Carter et Sadberry, 1997 ; Russ et Alcalá, 1989, 1994, Roberts et Polunin, 1991, 1992 ; Wantiez *et al.*, 1997). Les variations observées pouvant être dues à des différences liées aux sites d'étude.
- La réalisation du suivi doit se faire sur une durée suffisante pour que puissent se mettre en place les premiers effets bénéfiques et pour que les interactions complexes entre les différents compartiments faunistiques et floristiques s'établissent ou se rétablissent (Bohnsack *et al.*, 1992 ; Francour, 1993). Le temps nécessaire à la survenance d'un Effet Réserve nettement visible varie selon les études de 1 an (McClanahan, 1994 ; Milon *et al.*, 1999) à 10 ans (Russ et Alcalá, 1996a). Russ et Alcalá (1996a) ont montré, en milieu corallien, que des changements dans l'ichtyofaune cible peuvent survenir dès les premières années de mise en réserve mais ils se font alors de manière peu importante. L'abondance et la taille augmentent de manière significative au bout de 4-5 ans et peuvent alors avoir un effet bénéfique sur les pêcheries alentour au bout de 5 à 10 ans. Harmelin (1995) affirme que le temps au bout duquel l'Effet Réserve est significatif est en moyenne de 4 ans en Méditerranée.

### 3.4. L'influence des facteurs naturels

Thollot (1999) affirme que la protection des AMPs ne suffit pas à entraîner, à elle seule, le développement de la communauté récifale. La réussite d'une réserve dépend aussi des contraintes externes naturelles, parfois accentuées par l'activité de l'homme, sur lesquelles le gestionnaire ne peut pas ou difficilement agir (Bennet et Atwood, 1991).

Les conditions climatologiques ont une influence majeure sur la communauté récifale. Elles peuvent contrôler le recrutement, la croissance, le développement et la reproduction de nombreuses espèces. Le phénomène El Nino peut par exemple bouleverser toute la vie marine par un changement des paramètres physico-chimiques de l'eau. De même, en milieu tropical, l'impact dévastateur des cyclones est reconnu et peut dégrader fortement un récif corallien (houle, ruissellement d'eau douce terrigène) et diminuer la richesse spécifique et l'abondance des poissons (Edmunds & Witman, 1991 ; Letourneur *et al.*, 1993).

Certains déséquilibres dans la communauté récifale peuvent entraîner l'envahissement du milieu par des espèces capables de ravages. En milieu corallien les exemples d'invasion par l'étoile de mer épineuse (*Acanthaster planci*) sont très documentés.

Tholot (1999) pense que la réserve ne peut avoir un effet continuellement grandissant. Constatant une régression dans les peuplements ichtyologiques, il suggère l'existence d'une auto-régulation des peuplements de poissons suite au dépassement de la capacité de charge du milieu (voir aussi Letourneur *et al.*, 1998).

## Conclusion

L'Effet Réserve, ou il serait plus juste d'écrire les effets réserve, sont complexes et sources de controverses dans le milieu scientifique. D'un point de vue conceptuel et théorique, les bienfaits des réserves sur les écosystèmes marins semblent évidents et se situent à plusieurs niveaux : structure des populations, comportement et répartition spatiale. Cependant, plusieurs études montrent que ces effets réserves ne sont pas systématiques et de nombreux effets théoriques n'ont pas été mis en évidence avec certitude. La difficulté d'étude de certains paramètres en est parfois la cause.

En guise de synthèse, les effets réserve sur les communautés marines peuvent se lister comme suit :

- l'augmentation de l'abondance des espèces cibles,
- l'Effet Refuge qui est la résultante de plusieurs effets (augmentation de la diversité biologique, augmentation de la taille des individus et de la biomasse totale, amélioration des rendements de la reproduction, émigration des adultes et des juvéniles et augmentation du recrutement dans la réserve et dans les zones non protégées voisines),
- l'Effet Tampon (limitation de l'amplitude des fluctuations dans le temps des paramètres de la dynamique des populations : abondance, diversité et biomasse),
- l'Effet de Concentration (effet conceptuel selon lequel la réserve ne témoigne pas de l'état du milieu avant l'action de l'homme mais devient plus riche),
- les modifications du comportement envers l'homme et le retour des comportements reproducteurs de certaines espèces,
- les modifications des relations des individus avec leur espace (réoccupation des zones désertées et Effet Bordure).

Bien que la majorité des effets réserves soit bénéfique aux communautés marines, quelques effets pervers ont pu être recensés :

- l'augmentation des pressions de pêche dans les zones non protégées,
- l'effet plongeur (destruction mécanique, prélèvement dans le milieu, perturbations diverses, ...),

- l'impact des ancrages de bateaux (lié à la croissance du tourisme et l'augmentation de la fréquentation des sites de plongée).

Globalement, les effets négatifs se font voir à court terme et sont relativement limités tandis que les effets bénéfiques apparaissent à moyen et long termes, compensant alors allègrement les inconvenances initiales.

Les principaux paramètres suivis dans le cadre d'études de l'Effet Réserve sont basés sur les peuplements ichtyologiques. Bien que dans de nombreux cas, l'ensemble du peuplement est étudié, la majorité des études se consacre à quelques espèces commerciales (espèces cibles). Peu d'auteurs ont étudié l'Effet Réserve sur les autres groupes biologiques. En milieu corallien l'analyse du substrat reste une étape importante.

Les techniques d'étude les plus utilisées se basent sur les méthodes classiques de suivi en milieu marin : comptage visuel des poissons et estimation de leur taille, technique de l'interception par un transect linéaire et utilisation de quadrats pour l'étude du substrat et des organismes macro-benthiques.

Les facteurs conditionnant le succès d'une aire marine protégée sont multiples et ont été abordés. Une réglementation adaptée aux objectifs de la réserve et à la capacité effective de la faire respecter reste le point le plus important pour la réussite des réserves marines. Une étude préliminaire à sa mise en place sur la taille, la localisation et le type de réserve est aussi une étape incontournable tout comme la participation des usagers dans toutes les décisions ainsi qu'un effort d'information et de sensibilisation du public.

La mise en évidence rigoureuse des effets réserve suit quelques impératifs scientifiques comme un échantillonnage à l'intérieur et à l'extérieur de la réserve, avant et après sa mise en place. Mais malgré le respect de ces impératifs, les effets attendus ne sont pas forcément observés. Ceci peut être dû à plusieurs facteurs, notamment aux choix d'implantation de la réserve, à sa taille, aux espèces et milieux considérés et à l'influence de phénomènes naturels.

Troisième partie :  
Protocole de suivi  
de l'Effet Réserve  
à la Réunion

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction .....  | 46 |
| 1.1. Le choix des secteurs, des sites et des stations.....                                     | 47 |
| 1.1.1. Secteurs et sites.....  | 48 |
| 1.1.2. Stations .....  | 48 |
| 1.2. Les généralités sur l'échantillonnage et la collecte de données en milieu<br>récifal..... | 50 |
| 1.2.1. Méthodes d'échantillonnage.....   | 50 |
| 1.2.2. Règles générales .....  | 52 |
| 2. Le scénario1 .....  | 53 |
| 2.1. L'étude des paramètres environnementaux.....  | 54 |
| 2.2. L'étude du peuplement ichtyologique.....  | 57 |
| 2.2.1. Nombre et taille des espèces cibles .....   | 57 |
| 2.2.2. Richesse spécifique.....  | 61 |
| 2.3. L'étude des peuplements benthiques (substrats biotiques et abiotiques).....               | 62 |
| 2.3.1. Recouvrement des différents types de substrat.....                                      | 62 |
| 2.3.2. Croissance, mortalité et recrutement corallien .....                                    | 64 |
| 2.3.3. Richesse spécifique.....  | 66 |
| 3. Le scénario 2 .....   | 67 |
| 3.1. L'étude approfondie du peuplement ichtyologique .....                                     | 67 |
| 3.2. L'étude approfondie du peuplement corallien .....   | 69 |
| 3.3. L'étude de pêche .....  | 71 |
| 4. Les Propositions d'études complémentaires .....   | 75 |
| 4.1. Les études à caractère écologique .....   | 75 |
| 4.1.1. Etude de l'Effet Réserve sur le poulpe : Octopus ssp .....                              | 75 |
| 4.1.2. Etude des modifications comportementales de la macro-faune<br>récifale .....            | 76 |
| 4.1.3. Etude sur les peuplements ichtyologiques nocturnes .....                                | 76 |
| 4.1.4. Etude des échinodermes .....  | 77 |
| 4.1.5. Etude des peuplements de crustacés.....   | 77 |
| 4.1.6. Colonisation du récif par des larves de poissons et de coraux. ....                     | 77 |
| 4.1.7. Etude des modifications de la structure trophique de la<br>communauté récifale.....     | 77 |
| 4.2. L'étude des impacts socio-économiques de la réserve .....                                 | 78 |
| 5. Le traitement des données .....   | 78 |
| 5.1. La caractérisation des stations et des sites.....   | 78 |
| 5.1.1. Suivi du peuplement ichtyologique .....   | 79 |
| 5.1.1.1. Nombre et taille.....   | 79 |
| 5.1.1.2. Richesse spécifique.....  | 81 |
| 5.1.2. Suivi du peuplement benthique .....   | 81 |
| 5.1.2.1. Recouvrement des différents types de substrat (méthode des<br>transect benthos) ..... | 81 |
| 5.1.2.2. Croissance, mortalité et recrutement corallien (méthode des                           |    |

|   |    |
|---|----|
| Photo-quadrats).....  | 82 |
| 5.1.3. Suivi de l'activité de pêche.....                          | 84 |
| 5.2. La mise en évidence de l'Effet Réserve .....                 | 84 |
| 5.2.1. Comparaison des sites et stations à un instant donné ..... | 85 |
| 5.2.1.1. Interprétation graphique des données.....                | 85 |
| 5.2.1.2. Interprétation statistique des données.....              | 85 |
| 5.2.1.2.1. Les tests statistiques.....                            | 86 |
| 5.2.1.2.2. L'analyse multivariée.....                             | 89 |
| 5.2.2. Qualification de l'évolution temporelle.....               | 89 |

# 1. Introduction

Le protocole de suivi de l'Effet Réserve résulte d'un compromis entre la simplicité de la mise en œuvre des manipulations et la nécessité de collecter des données fiables. Il est conçu de manière à pouvoir être réalisé en grande partie par des "non-spécialistes" des écosystèmes récifaux. Une familiarisation avec le milieu est cependant nécessaire ainsi qu'un entraînement spécifique à certaines manipulations.

Ce protocole est composé de 2 scénarios et de propositions d'études. Il se base essentiellement sur les rapports scientifiques traitant de l'Effet Réserve, les connaissances scientifiques sur les récifs coralliens réunionnais, les avis de plusieurs experts locaux et les intérêts scientifiques, économiques et sociaux des paramètres suivis.

Le scénario 1 correspond au suivi minimal qu'il est nécessaire de mettre en œuvre pour étudier l'Effet Réserve. Les paramètres qui sont pris en compte sont ceux qui constituent la base des études sur l'Effet Réserve en milieu corallien. Ils présentent un intérêt optimal pour le gestionnaire de la réserve. Le scénario 1 repose sur l'étude des deux principaux compartiments biologiques du récif corallien : les poissons et les coraux.

Le scénario 2 est une phase complémentaire qui présente un intérêt substantiel mais non indispensable. Il peut approfondir le scénario 1 mais aussi aborder des suivis plus spécifiques. Dans le cadre d'une étude approfondie de l'Effet Réserve, les deux scénarios devront être appliqués.

Pour chaque manipulation, un canevas normalisé est réalisé regroupant :

- **Les problématiques** abordées.
- **La liste des paramètres** appréhendés lors du suivi,
- **L'intérêt** de la manipulation.
- **Le personnel** (nombre et qualification) nécessaire à la mise en œuvre du suivi. Le personnel de surface (chef d'opération, scaphandrier de secours) et le plongeur qui assure la sécurité sous l'eau, dans le cadre de plongée en pente externe, ne sont pas mentionnés dans cette partie. Le code suivant est établi afin de visionner la difficulté et le degré de spécialisation nécessaire à la mise en œuvre des différents suivis :

**A** (aucune) : réalisable par toute l'équipe technique du Parc Marin,

**R** (responsable) : réalisable par l'équipe technique du Parc Marin : désigner des responsables compétents qui auront été formés à la réalisation des observations\*.

**S** (spécialiste) : nécessite l'intervention de spécialistes reconnus,

- L'estimation du **temps moyen nécessaire** à la réalisation des manipulations. Il prend en compte, la mise en place du matériel et le suivi proprement dit, mais ignore les autres facteurs comme par exemple la durée du parcours vers la station.
- **Les stations** d'échantillonnage sur lesquelles sont réalisées le suivi. Trois faciès géomorphologiques du récif corallien seront alors pris en compte : la dépression d'arrière-récif (DAR), le platier interne (PI) et la pente externe (PE). Certains suivis ne se réalisent que sur l'une ou l'autre de ces zones. Les suivis sur la dépression d'arrière-

---

\* Pour améliorer le suivi au cours du temps, il serait intéressant que les observateurs soient toujours les mêmes et que leur nombre soit limité, ceci afin de minimiser les biais d'échantillonnage liés à des observations réalisées par des personnes différentes.

récif et le platier sont effectués en apnée, tandis que ceux de la pente externe en plongée en scaphandre autonome.

- **La fréquence** du suivi. Elle tient compte des différentes contraintes de faisabilité actuelle du Parc Marin. Parfois est indiquée entre crochets une fréquence "idéale" qui devra être appliquée si les moyens le permettent.
- **Le matériel** nécessaire à la stricte mise en œuvre du suivi. Le matériel de plongée ou tous autres équipements ne sont pas mentionnés.
- **Le mode opératoire.**
- **Les avantages et inconvénients** de la manipulation.

Quelques propositions d'études seront réalisées dans le troisième chapitre ainsi qu'une description succincte de leurs intérêts pour le gestionnaire de la réserve. Ces études soulignent les points qui ne peuvent être abordés dans ce protocole et posent des questions auxquelles le gestionnaire de la réserve devra apporter une réponse dans un avenir plus ou moins proche. Ce chapitre oriente aussi le gestionnaire vers des études qu'il pourrait encourager auprès d'universitaires.

### 1.1. Le choix des secteurs, des sites et des stations

Il convient au préalable de définir les termes de secteurs, sites et stations (Conand *et al.*, 1997). Ils correspondent à des échelles spatiales différentes (Fig. 8) Le secteur est une portion homogène d'un récif corallien du point de vue de la géomorphologie globale, des influences des facteurs environnementaux (climatiques et océanographiques) et des activités anthropiques pratiquées. A la Réunion, 4 secteurs sont définis et correspondent au complexe récifal de Saint-Gilles la Saline, les récifs de Saint-Leu, de l'Etang-Salé et de Saint-Pierre. Le site correspond à une échelle spatiale plus fine. Il est utilisé pour caractériser un secteur. La station est l'unité spatiale de base du suivi biologique. Elle représente la zone où sont réalisés les suivis.

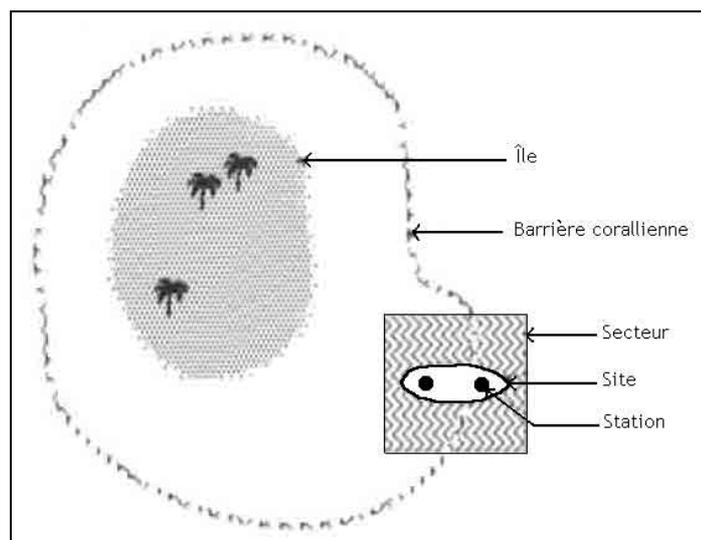


Figure 8 : Schéma du secteur, du site et de deux stations sur un récif corallien (Conand *et al.*, 1997)

Le choix des secteurs, des sites et des stations d'étude est une étape fondamentale du suivi de l'Effet Réserve. Les limites de la réserve n'étant à ce jour qu'encore hypothétiques, il nous est impossible de les déterminer. Leurs emplacements exacts nécessiteront une expertise scientifique initiale. En revanche, il est possible de dégager quelques points fondamentaux pour aiguiller ce choix.

### 1.1.1. Secteurs et Sites

D'un point de vue uniquement statistique, un minimum de 3 sites doit être choisi pour chaque niveau de protection de la réserve (protections intégrales et intermédiaires) et 3 dans les zones de non réserve. En adaptant cette contrainte au contexte réunionnais, il nous semble judicieux d'adopter la stratégie ci-dessous.

Compte tenu de la diversité des récifs réunionnais, il semble important de choisir un secteur sur lequel le suivi est maximal, ceci afin d'optimiser les chances de mettre en évidence un éventuel Effet Réserve sur cette zone. D'autres secteurs sont choisis et font l'objet d'un suivi minimal. Ils sont utilisés comme moyen de contrôle pour vérifier si les mêmes phénomènes ont lieu à des endroits différents.

Au vu du contexte actuel, il semble judicieux de choisir le complexe récifal de Saint-Gilles / La Saline pour le suivi maximal. Ainsi, 2 sites pour chaque niveau de protection seront fixés sur cette zone. Ce choix est essentiellement guidé par deux arguments :

- Saint-Gilles / La Saline est le récif le plus vaste de l'île,
- La recherche scientifique s'est particulièrement penchée depuis plus de 20 ans sur cette zone.

Le suivi minimal pourra être réalisé sur les récifs de Saint-Leu, de Saint-Pierre et de l'Etang-Salé. De cette manière les plus grands édifices récifaux de l'île seront étudiés. Pour le suivi minimum, au moins 1 site par niveau de protection est choisi. Sur ces sites, les suivis pourront être réalisés à une fréquence moins élevée (alternance).

Tous ces sites doivent impérativement faire l'objet d'au minimum un "point zéro"\* avant la mise en place de la réserve. Le "point zéro" nécessite un effort initial important mais cette étape constitue la base du suivi de l'Effet Réserve.

### 1.1.2. Stations

Il est important de choisir des stations ayant des caractéristiques similaires (géomorphologie, profondeur, nature du substrat, ...) pour permettre des comparaisons rigoureuses entre les différents sites et stations. Dans la mesure du possible, il est intéressant de conserver les stations qui font déjà l'objet de suivis scientifiques, notamment le suivi de l'état de santé des récifs (Suivi PRE-COI, Mete *et al.*, 2001). Les résultats antérieurs peuvent alors être utilisés et le travail de terrain sera diminué car un seul échantillonnage pourra souvent être utilisé pour les 2 suivis.

Au minimum, 3 stations d'échantillonnage sont établies pour chaque site (Fig. 9.). Une est localisée sur la dépression d'arrière-récif, l'autre sur le platier interne et la dernière sur la pente externe (-10 m). D'autres stations peuvent éventuellement être ajoutées. Dans ce cas il serait judicieux d'en placer une autre sur le platier interne, sur le platier externe et sur la pente externe (entre -15 et 20 m). Néanmoins il faut garder à l'esprit que le fait d'augmenter le

---

\* Le point zéro est une expression correspondant à un échantillonnage qui détermine les conditions initiales.

nombre de stations par site multiplie considérablement l'investissement temporel et humain nécessaire. Cette option devra donc être prise qu'après mûres réflexions.

Le détail d'une station est représenté par la figure 10.

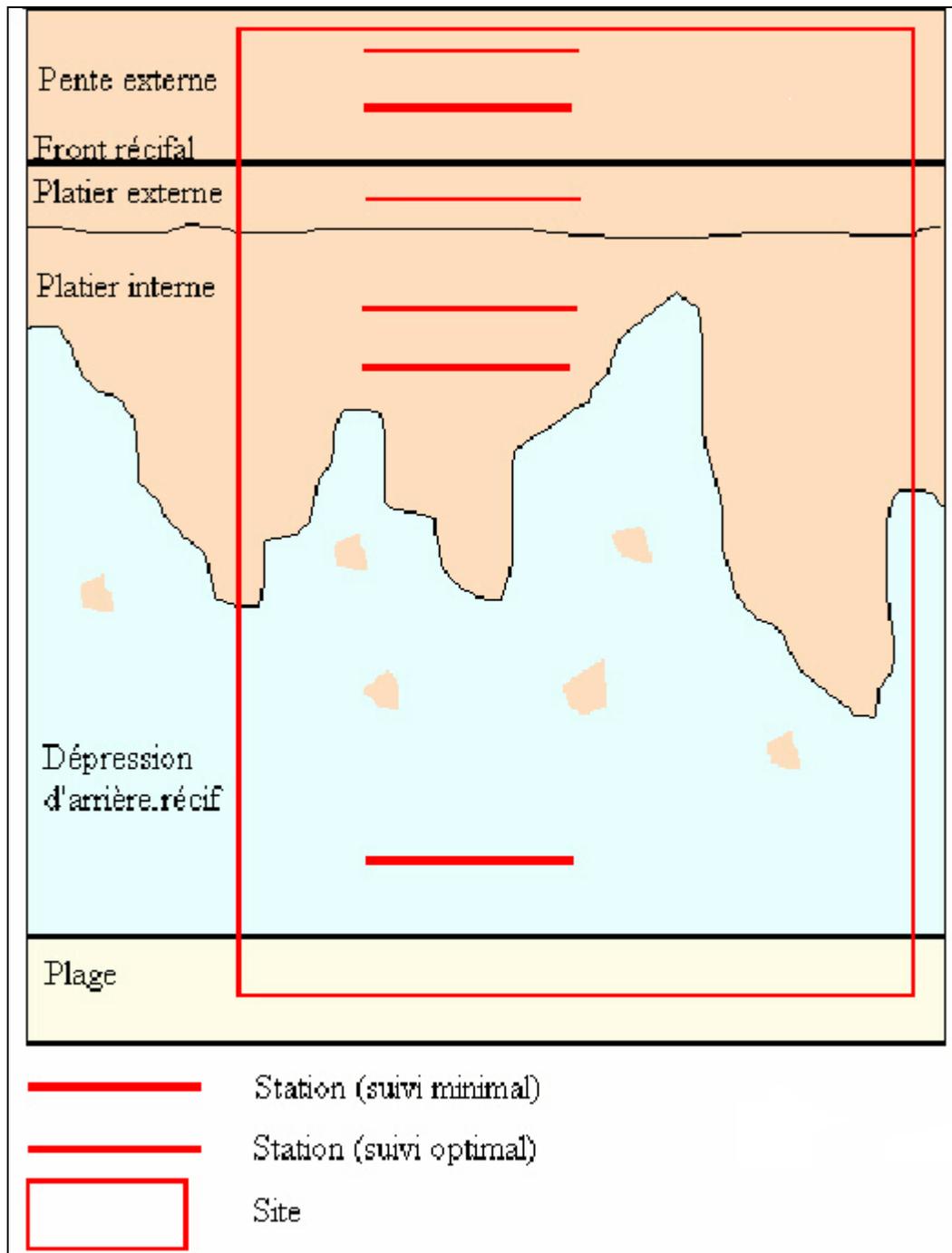


Figure 9 : disposition des stations sur un site.

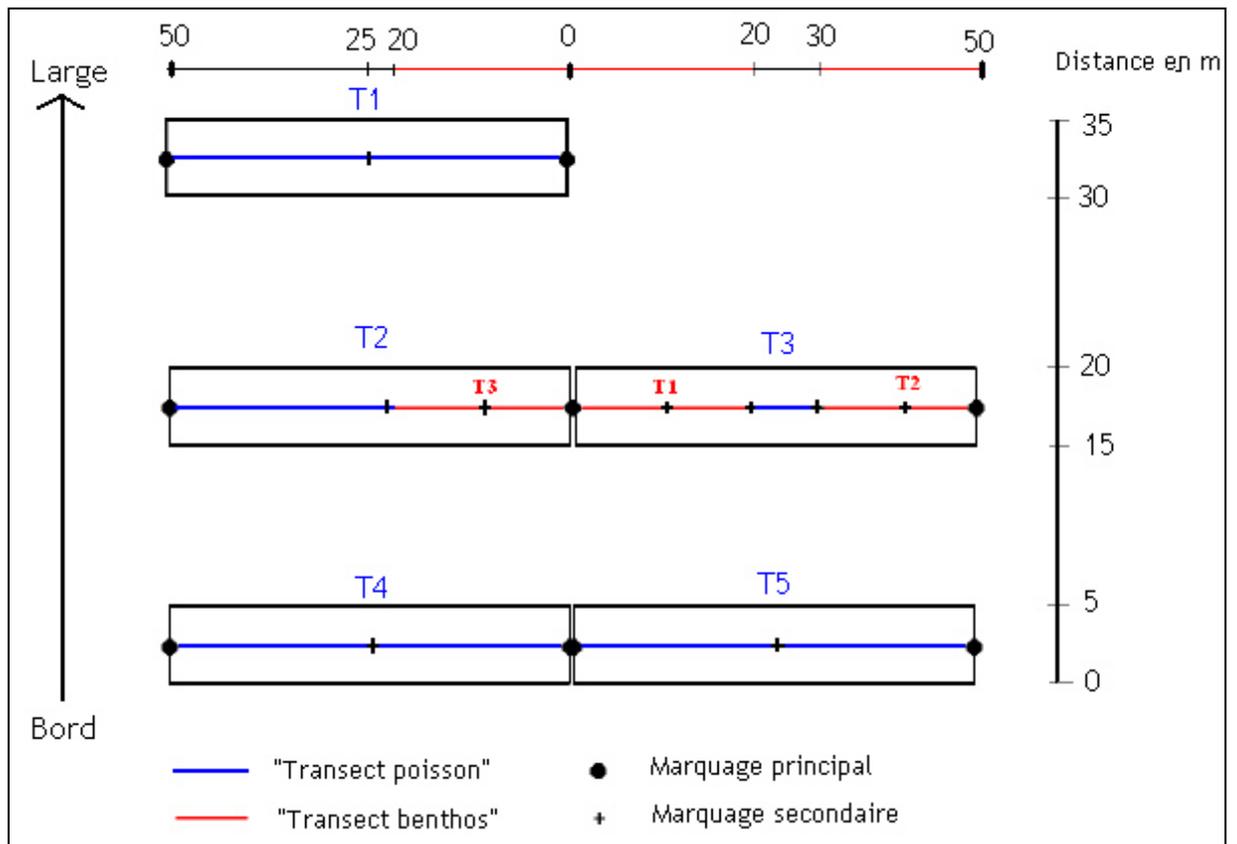


Figure 10 : détail d'une station pour le suivi de l'Effet Réserve.

Les stations doivent faire l'objet d'une attention toute particulière. Leur localisation géographique doit être la plus précise possible et l'utilisation d'un GPS est fortement recommandée pour leur repérage. La réalisation d'une série de photographies, films ou dessins des stations est un atout non négligeable pour parfaire leur système de repérage.

Certains suivis nécessitent un marquage précis des stations (Fig. 10) afin de s'assurer que les manipulations sont réalisées exactement sur la même zone d'une année sur l'autre. Dans ce cas, trois techniques sont envisageables : la pose de piquets métalliques (type "fer à béton"), la fixation de "spits" dans le substrat ou alors l'utilisation de plots en béton. L'utilisation de piquets, bien que simple, rapide, et couramment utilisée peut représenter un danger pour les usagers du milieu. Les "spits" semblent alors être la meilleure alternative au problème de sécurité posé par les piquets, mais leur utilisation est limitée par la nature du substrat. Ainsi, ils ne peuvent être fixés que dans des substrats durs et sont inadaptés dans le sable ou dans les zones de coraux branchus. Les plots en béton sont déjà utilisés avec succès à la Réunion pour marquer des stations de platier mais ne sont pas adaptés aux marquages des stations de pente externe (ciment à prise rapide). Le choix entre piquets métalliques, "spits" et plots en béton se fera donc selon la morphologie des zones à marquer.

Dans tous les cas, ces marquages devront être vérifiés régulièrement et consolidés si des détériorations sont constatées. Il est nécessaire d'attacher des flotteurs immergés aux marquages afin de faciliter leurs repérages sous l'eau.

## 1.2. Les généralités sur l'échantillonnage et la collecte de données en milieu récifal

La diversité des communautés biologiques est très forte en milieu récifal. Elle est donc, par conséquent, difficile à étudier. Dans le cadre d'un suivi régulier de l'Effet Réserve, les techniques d'étude doivent tenir compte de cette diversité et rester les plus objectives possible. D'une manière générale, la multiplication des réplicats (reproductions des manipulations) permet d'appréhender cette diversité. L'objectivité s'obtient tant au niveau des méthodes utilisées qu'au respect de certaines règles générales.

### 1.2.1. Méthodes d'échantillonnage

La méthodologie utilisée repose essentiellement sur des observations visuelles. Celles-ci présentent l'avantage d'être non destructrices et de ne pas perturber ni le biotope ni la communauté biologique en place. Ces techniques sont le plus souvent simples, peu onéreuses et nécessitent peu de matériel. Les trois principales méthodes utilisées sont le "transect benthos", "le transect poisson" et le quadrat (abordé dans la deuxième partie au chapitre 2.2.2).

Le transect est un segment de droite matérialisé par un ruban gradué (décamètre ou pentamètre) qui est posé sur le fond (Fig. 11). Il est positionné parallèlement au rivage afin de maintenir une certaine homogénéité bathymétrique et donc des peuplements coralliens.

La méthode du transect "poissons" consiste à identifier, dénombrer et estimer la taille des poissons contenus dans un couloir de surface connu. Le ruban gradué de 50 m matérialise alors la ligne médiane du couloir et les comptages se font à une distance fixée de part et d'autre de ce ruban.

La technique de l'interception par un transect linéaire, ou "transect benthos", consiste à identifier et mesurer tous les organismes vivants et le substrat non vivant qui sont traversés par le ruban gradué. Elle permet une analyse quantitative du substrat et est utilisée pour suivre l'évolution temporelle et spatiale de la macro-faune benthique sessile (% de recouvrement, composition des peuplements benthiques).

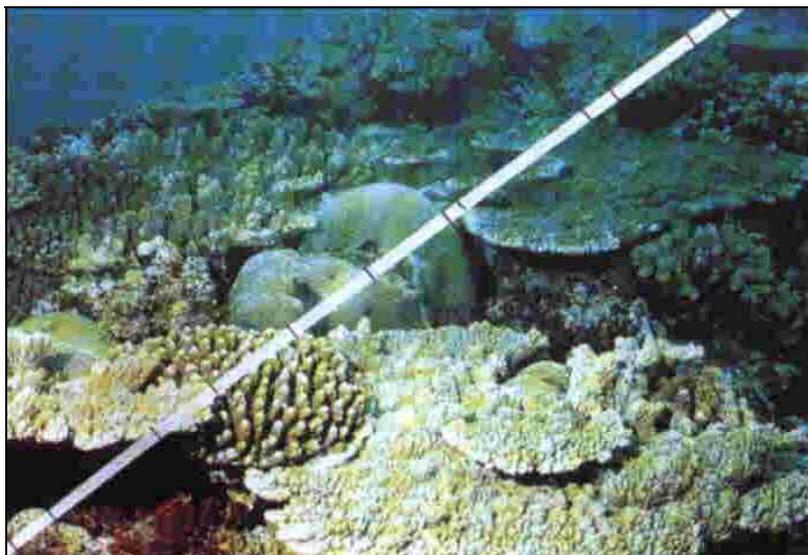


Figure 11 : Photographie sous-marine d'un ruban gradué pour les méthodes de transect (Conand *et al.*, 1997)

Le quadrat est une technique qui permet une analyse quantitative plus fine sur une petite surface. Il permet d'appréhender des paramètres qui ne peuvent l'être par la méthode des transects : la croissance, la mortalité et le recrutement corallien. Le quadrat est matérialisé par un cadre de 1 m de côté (1m<sup>2</sup>), quadrillé régulièrement afin de visualiser des quadrillages qui servent d'unité de surface (Fig. 12). Il est marqué de manière à pouvoir identifier chaque quadrillage.

La couverture des différents substrats interceptés par le quadrat est évaluée directement en comptant le nombre de quadrillages dans lequel ils sont présents. Cette méthode permet un suivi des communautés coralliennes à long terme et complète efficacement les transects "benthos".

Le quadrat peut aussi être utilisé pour les échantillonnages des peuplements macro-benthiques sédentaires (mollusques, échinodermes, ...) en comptant le nombre d'individus à l'intérieur du quadrat.



Figure 12 : Photographie d'un quadrat lors d'un échantillonnage (Mete *et al.*, 2001. photographie réalisée par l'ARVAM).

### 1.2.2. Règles générales

Dans le cadre de suivis des paramètres biologiques des récifs coralliens, quelques précautions d'ordre général doivent être prises afin de maximiser l'objectivité de l'étude. Ces précautions visent essentiellement à ne pas contribuer à la détérioration du milieu, conserver une rigueur scientifique et optimiser les résultats.

Il est important de faire attention à ne pas dégrader le milieu (notamment les coraux branchus qui sont extrêmement fragiles) lors de la pose ou du retrait des matériels. Toute action des plongeurs et apnéistes doit aussi se plier à cette règle. Il est donc important d'éviter toutes dégradations mécaniques, notamment par des coups de palmes maladroits.

Le suivi du peuplement ichthyologique doit respecter certaines règles afin de maintenir une certaine homogénéité des échantillonnages. Cette homogénéité est nécessaire pour tout suivi rigoureux. L'échantillonnage doit être réalisé durant une même tranche horaire, entre 9h et 14h, le peuplement diurne étant alors bien établi (Chabanet, 1994). De même, il doit toujours être réalisé à marée haute et dans des conditions météorologiques similaires (peu nuageux, pas de pluie, pas de grosse houle) afin de ne pas biaiser l'échantillonnage par des conditions environnementales différentes. Dans le cas d'une nébulosité forte, des risques de chevauchement des populations diurnes et nocturnes sont possibles. Il en découlerait alors une sous-estimation des espèces diurnes et une sur-estimation des espèces nocturnes. Ce biais

évident est alors préjudiciable à l'interprétation des résultats pour un suivi à long terme. Il en est de même pour les autres paramètres environnementaux (pluie, houle, courant) qui influent sur la qualité des échantillonnages. Le cycle lunaire et le mois d'échantillonnage sont aussi des facteurs importants qui jouent un rôle dans la répartition des peuplements ichtyologiques. Ils peuvent alors influencer les suivis de manière significative. Pour pouvoir réaliser des comparaisons inter-annuelles rigoureuses, il est intéressant de faire les mêmes manipulations, non pas à des dates fixes mais plutôt durant des mêmes phases lunaires d'un mois donné.

Une phase de standardisation de la collecte des données doit précéder toute manipulation. Pour chaque suivi, les observateurs doivent avoir déjà pratiqué des échantillonnages d'entraînement avant le suivi réel. Les difficultés rencontrées sont alors notées et des échanges entre observateurs aboutissent à une prise de données conforme au protocole.

Dans le cadre de l'identification précise des espèces marines (coraux, poissons etc.), un entraînement régulier sur le terrain avec un apprentissage dans divers manuels (Veron, 1993 ; Lieske & Myers, 1994 ; Myers, 1999) est nécessaire. Il est important de préciser que l'identification des espèces ne doit être notée que si l'observateur est sûr de ne pas se tromper. Le cas échéant, l'identification doit s'effectuer au niveau des taxons supérieurs (Genre, Famille). Il est préférable d'avoir des données moins précises et justes que des données erronées. Le niveau de compétence des observateurs est donc un facteur limitant pour la réalisation de certains suivis.

A l'issue de chaque échantillonnage, il est impératif de faire une photocopie des fiches de terrain (annexe 3) qui ont été remplies. Ces photocopies font l'objet d'un archivage rigoureux et les données sont insérées dès que possible dans une base de données informatique. Il est nécessaire de bien vérifier la lisibilité de tous les relevés, et le cas échéant solliciter les observateurs pour apporter les modifications nécessaires. Cette phase est essentielle pour assurer la qualité des données.

## 2. Le scénario 1

Le scénario 1 comprend les études fondamentales pour la mise en évidence de l'Effet Réserve. Il est divisé en 4 grandes parties qui traitent successivement des paramètres environnementaux, ichtyologiques, benthiques et d'une étude de pêche.

## 2.1. L'étude des paramètres environnementaux

|               |   |
|---------------|---|
| Problématique | ➤ Quelles sont les conditions environnementales lors des différents suivis de l'Effet Réserve ?   |
| Paramètres    | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Température.</li> <li>➤ Salinité.</li> <li>➤ Concentration en oxygène dissous.</li> <li>➤ Nébulosité, vent, état de la mer, marée, visibilité et force du courant</li> </ul>   |
| Intérêt       | <p>Les impacts des paramètres physico-chimiques sur la communauté récifale sont importants et leur mesure est un préliminaire essentiel aux échantillonnages en milieu marin. Ils sont choisis afin de représenter les caractéristiques environnementales au moment des échantillonnages. Ils peuvent influencer de manière significative les observations sur les animaux, notamment celles du peuplement ichthyologique. Le suivi des paramètres physico-chimiques peut alors fournir une base qui peut expliquer d'éventuelles observations inattendues (ex : abondance anormalement élevée ou faible lors d'un échantillonnage).</p> <p><u>Température :</u><br/>La température est un facteur limitant pour les peuplements coralliens qui sont sensibles aux variations de chaleur. Le suivi de la température peut alors renseigner de l'état de stress des coraux. Ce suivi est surtout important sur les stations de dépression d'arrière-récif et de platier interne qui sont l'objet de variations de température plus fortes.</p> <p><u>Salinité :</u><br/>Les coraux sont vulnérables à la diminution de salinité de l'eau de mer. A la Réunion, ce phénomène est surtout dû à l'apport d'eau douce par les ravines et aux percolations des eaux souterraines. Le suivi de la salinité donne, lui aussi des informations importantes sur l'état de stress des coraux.</p> <p><u>Concentration d'oxygène dissous :</u><br/>L'oxygène est la base de la respiration et donc de la vie marine. Il est important de détecter d'éventuelles chutes de concentration en oxygène dans l'eau. La concentration d'oxygène dissous est un paramètre intimement lié à la température et à la salinité de l'eau.</p> <p><u>Nébulosité :</u><br/>Les nuages, en masquant le soleil, influent sur l'éclairement général. Sachant que ce dernier joue un rôle fondamental dans les observations sur la communauté récifale, le suivi de la nébulosité est donc indispensable. Un ciel très nuageux peut entraîner un chevauchement des peuplements diurnes et nocturnes qui est surtout observable pour les poissons.</p> |

|                 |   |                                |                   |
|-----------------|---|--------------------------------|-------------------|
|                 | <p><u>Marée</u> :</p> <p>Même si à la Réunion l'amplitude des marées est faible, elles jouent un rôle fondamental sur les stations de dépression d'arrière-récif et de platier interne dans lesquelles la hauteur d'eau est relativement faible (1,5 m au maximum). Les observations sur les peuplements ichtyologiques sont très dépendantes de l'état de la marée.</p> <p><u>Vent, état de la mer, visibilité et force du courant</u> :</p> <p>Ces paramètres peuvent aussi jouer un rôle plus ou moins important dans les observations sur les communautés récifales. Nécessitant un faible investissement temporel et humain il est donc intéressant de les suivre.</p> <p>Note : la pénétration de la lumière est un paramètre couramment considéré lors des suivis en milieu récifal. Il a été ici ignoré car les eaux réunionnaises sont très claires et son suivi ne fournirait alors que des résultats similaires et peu intéressants pour un effort d'échantillonnage non négligeable. Néanmoins, si le temps d'échantillonnage n'est pas une contrainte trop élevée, il faudrait suivre ce paramètre en utilisant un disque de Secchi.</p> |                                |                   |
| Personnel       | 1 personne<br>qualification : (A)   | Durée estimée                  | 15 min            |
| Stations        | Selon le suivi  | Fréquence<br>d'échantillonnage | A chaque<br>suivi |
| Matériel        | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Thermomètre avec étui protecteur pour le transport et la manipulation (précision 0,5°C)</li> <li>➤ Sonde multi-paramétrique (température, salinité, oxygène dissous)</li> <li>➤ Flacon pour le prélèvement d'eau de fond</li> <li>➤ Planchette PE1 pour la collecte de données (Annexe 3).</li> </ul>  |                                |                   |
| Mode opératoire | <p>Ne disposant pas des moyens pour réaliser le suivi des paramètres environnementaux en continu dans le temps, il est réalisé ponctuellement pendant la mise en œuvre des autres suivis de l'Effet Réserve. Dans le cadre de suivis sur la pente externe, il peut être, en partie réalisé, par le personnel de surface.</p> <p><u>Température</u> :</p> <p>La température de surface de l'eau sur la station est mesurée en immergeant le thermomètre sous la surface durant 2 minutes. Pour la température du fond, déposer le thermomètre sur le fond, réaliser tous les autres suivis prévus, puis, relever la température avant de remonter.</p> <p>Note : pour garder une homogénéité dans la mesure de la température de fond et de surface il est nécessaire d'utiliser le même instrument de mesure. La sonde multi-paramétrique possède une option température, mais ne permet pas de mesurer la température de fond car la longueur du câble relié à la sonde est limitée. Elle ne doit donc pas être utilisée pour relever la température de surface. L'utilisation du thermomètre est alors indispensable.</p>                           |                                |                   |

|   |  |                      |
|---|--|----------------------|
|   | <p><u>Salinité et Oxygène dissous</u> :</p> <p>Plonger la sonde multi-paramétrique sous la surface de l'eau et mesurer la salinité et le taux d'oxygène dissous. Sur la pente externe, prélever de l'eau au fond avec le flacon emporté à cet effet après la réalisation des autres suivis, puis, dès la remontée, mesurer la salinité et l'oxygène dissous.</p> <p>Deux précautions sont à prendre pour l'utilisation la sonde multi-paramétrique : premièrement, il est impératif de s'assurer que l'étalonnage de l'appareil a été réalisé correctement. Et deuxièmement, il est nécessaire de rincer et de sécher la sonde avant toute prise de mesure afin d'éviter des phénomènes de contamination.</p> <p><u>Autres paramètres environnementaux</u> : nébulosité, vent, état de la mer, visibilité, force du courant de surface et de fond, marée.</p> <p>Les estimations se réalisent de manière visuelle selon des indices qualitatifs ou semi-quantitatifs comme le précise la fiche de mission PE1. Un effort particulier de standardisation des données doit être réalisé préalablement entre tous les observateurs. L'utilisation d'un annuaire des marées est fortement recommandée.</p> |                      |
|   | <b>Avantages</b>   | <b>Inconvénients</b> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Informations de bases caractéristiques des conditions d'échantillonnages.</li> <li>- Faible investissement humain et temporel</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite un investissement initial pour l'achat d'appareils de mesures (thermomètre et sonde multi-paramétrique mesurant la salinité et l'oxygène dissous<sup>*</sup>).</li> </ul>   |                      |

---

\* Coût d'un appareil de terrain : entre 4000 et 6000F TTC

## 2.2. L'étude du peuplement ichthyologique

L'étude de l'Effet Réserve sur le peuplement de poissons est divisée en deux grandes parties : le suivi de l'abondance et de la taille des espèces cibles et l'étude de la richesse spécifique.

### 2.2.1. Nombre et taille des espèces cibles

|                          |   |                             |   |
|--------------------------|---|-----------------------------|---|
| Problématiques           | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Comment évolue le peuplement ichthyologique suite à la mise en place de la réserve ?</li> <li>➤ Est-ce que la biomasse des espèces cibles augmente ?</li> </ul>  |                             |   |
| Paramètres               | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Abondance relative des espèces cibles (nombre d'individus / unité de surface).</li> <li>➤ Taille des espèces cibles rencontrées sur les transects.</li> </ul>  |                             |   |
| Intérêt                  | <p>L'évaluation de l'abondance et l'estimation de la taille des espèces cibles est la base de toute étude sur l'Effet Réserve. Ce dernier est le plus aisément visible sur ces paramètres dont le suivi nécessite un effort d'échantillonnage relativement limité. L'abondance et la taille des poissons permettent, par un calcul, d'estimer la biomasse de poisson présente sur les sites. La biomasse* est une donnée fondamentale de l'évolution des peuplements ichthyologiques suite à la mise en place d'une réserve.</p> <p>Ce suivi permet aussi d'avoir un aperçu des phénomènes de recrutement de certaines espèces cibles en dénombant les recrues.</p>   |                             |   |
| Personnel                | 2 plongeurs<br>Qualification : (R)  | Durée estimée               | 20<br>min/transect                                    |
| Stations                 | Dépression d'arrière-récif,<br>platier interne, pente externe   | Fréquence d'échantillonnage | 1/an : été (février/mars)<br>[ou 2/an : été et hiver] |
| Matériel                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 5 rubans gradués de 50m,</li> <li>➤ Plaquettes (P1) pour la prise de données (Annexe 3),</li> <li>➤ "T " de 1m de long</li> </ul>  |                             |   |
| Choix des espèces cibles | <p>Le choix des espèces cibles est une étape fondamentale pour le suivi de l'Effet Réserve. Il conditionne en grande partie l'intérêt et la représentativité du suivi. Les espèces comptabilisées sont détaillées ci-dessous.</p> <p><u>Serranidae</u> (mérus) : toutes les espèces rencontrées. A la Réunion, les espèces suivantes peuvent alors être perçues sur les stations : <i>Cephalopolis argus</i>, <i>C. leopardus</i>, <i>C. sexmaculata</i>, <i>C. sonnerati</i>, <i>C. urodeta (nigripinnis)</i>, <i>Epinephelus hexagonatus</i>, <i>E. fasciatus</i>, <i>E. longispinnis</i>, <i>E. flavocareuleus</i>, <i>E. macrospilos</i>, <i>E. merra</i>, <i>E. multinotatus</i>, <i>E. rivulatus</i>, <i>E. tauvina</i>, <i>E. tukuta</i>, <i>Variola louti</i></p> <p><u>Lutjanidae</u> : <i>Lutjanus kasmira</i></p> <p><u>Lethrinidae</u> (empereur) : <i>Gnathodentex aureolineatus</i>, <i>Monotaxis grandoculis</i></p> |                             |   |

\* Aucune étude de biomasse n'ayant déjà été réalisée à la Réunion, celle-ci fait office de pionnière

|                 |   |
|-----------------|---|
|                 | <p><u>Mullidae</u> (mulets) : <i>Mulloidichthys flavolineatus</i>, <i>M. vanicolensis</i>, <i>Parupeneus barberinus</i>, <i>P. bifasciatus</i><br/> <u>Chaetodontidae</u> (poissons papillons) : <i>Chaetodon trifasciatus</i><br/> <u>Pomacentridae</u> (demoiselles) : <i>Dascyllus aruanus</i>, <i>Stegastes ssp.</i><br/> <u>Labridae</u> : <i>Halichoeres scapularis</i><br/> <u>Scaridae</u> (perroquets) : <i>Scarus ssp</i><br/> <u>Acanthuridae</u> (chirurgiens) : <i>Ctenochaetus striatus</i>, <i>Naso unicornis</i></p> <p>Ces espèces sont représentatives du peuplement ichtyologique récifal réunionnais. En effet, la liste des espèces suivies contient les familles de poissons les plus courantes et brasse une variété importante de régimes alimentaires. Les arguments qui ont motivé le choix précis de ces espèces sont détaillés en Annexe 7. Globalement, les points les plus importants sont résumés ci-après :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les espèces carnivores, en fin de chaîne alimentaire (Serranidae, Lethrinidae, Lutjanidae), sont les plus sensibles aux pêcheries. Le suivi de ces poissons permet d'évaluer l'impact des pressions de pêche sur les peuplements ichtyologiques. L'Effet Réserve est le plus flagrant sur ces espèces. Un effort particulier est réalisé sur les mérus car ils sont très pêchés et ils ont une importance économique forte.<br/>Les Mullidae font aussi partie des espèces fortement pêchées à la Réunion. En particulier <i>Mulloidichthys flavolineatus</i> ou capucin carême qui fait l'objet d'une pêche saisonnière ayant une forte portée sociale.</li> <li>- Le suivi d'espèces corallivores strictes (<i>Chaetodon trifasciatus</i>) ou de celles qui sont inféodées aux coraux branchus vivants (<i>Dascyllus aruanus</i>) permet d'avoir un aperçu de l'état de santé général du récif corallien.</li> <li>- Les espèces herbivores peuvent aussi jouer un rôle de bio-indicateur pouvant traduire un déséquilibre dû à une trop forte couverture algale.</li> </ul> |
| Mode opératoire | <p><b>5 transects de 50 m.</b></p> <p>Les plongeurs déroulent les 5 rubans gradués sur le fond, parallèlement à la plage, selon le schéma suivant (Fig. 13), en évitant d'adopter un comportement brusque pour limiter les phénomènes d'évitement des poissons. La position des transects devra être marquée afin de garder exactement la même zone d'échantillonnage d'une année sur l'autre. Dans le cas où les stations de dépression d'arrière-récif ne peuvent être marquées, la position du 1<sup>er</sup> transect se fera au hasard et les autres seront disposés conformément à la Figure 13.</p>  |

Suite à la pose du dernier transect, attendre 5 minutes avant l'échantillonnage qui débutera sur le premier transect afin de laisser le temps aux poissons de retrouver un comportement normal.

Les plongeurs nagent lentement le long du transect, dénombrent les individus des espèces sélectionnées qui sont à l'intérieur du couloir et estiment leur taille. Deux passages sur le même transect sont alors nécessaires. Pour le premier, toutes les espèces sont prises en compte sauf *Dascyllus aruanus* et *Stegastes ssp* qui seront échantillonnés lors d'un second passage.

L'échantillonnage se réalise sur un couloir de 5 m de large (2,5 m de chaque côté du transect) sauf pour *Dascyllus aruanus* et *Stegastes ssp* qui seront comptabilisés sur une largeur de 2 m. En effet, cette espèce est très abondante et un comptage sur une largeur de 5 mètres augmenterait la marge d'erreur du comptage en plus d'être fastidieux. L'utilisation d'un "T" d'une longueur de 1 m (Fig. 14), bien que relativement encombrant, peut être intéressant pour affiner la précision de l'échantillonnage pour ces deux espèces.

La totalité des espèces mentionnées est échantillonnée sur les 3 premiers transects (T1, T2 et T3). Pour T4 et T5, les plongeurs ne dénombrent que les Serranidae. Ces deux derniers transects sont nécessaires afin de pallier les problèmes liés aux faibles effectifs de la famille des Serranidae (forte pression de pêche sur cette famille).

L'estimation du nombre d'individus se fait à l'unité sauf pour les bancs de plus de 10 individus pour lesquels on utilise des cotations d'abondances : 10-20, 20-40, 40-60, 60-100, 100-200 et +200.

La taille des individus est estimée en utilisant des classes de taille de 5 cm. *Dascyllus aruanus* et *Stegastes ssp*, mesurant rarement plus de 12 cm il est plus convenable de réduire ces classes de taille à 3 cm. Cette méthode facilite la collecte de données tout en donnant des résultats très proches de ceux obtenus par estimation de la taille exacte. La taille estimée est la longueur totale ou la longueur tête/fourche pour les espèces ayant la nageoire caudale échancrée ou fourchue (ex : *Variola louti*).

Note :

- Un entraînement est indispensable pour réaliser ce suivi et doit former l'observateur à estimer correctement la taille des poissons (Annexe 5) et les distances sous l'eau.
- L'utilisation d'une caméra sous-marine, sur le même principe d'échantillonnage, peut être une manipulation très intéressante car le film représente une information visuelle permanente. Il peut être utilisé pour montrer concrètement l'Effet Réserve aux différents publics. De plus, selon la qualité de l'image, il peut permettre une analyse plus fine du transect en identifiant *a posteriori* la totalité des espèces et des individus filmés. Cette opération est nettement plus malaisée sans la réalisation d'un film.



### 2.2.2. Richesse spécifique

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| Problématique  | ➤ De nouvelles espèces reviennent-elles suite à la mise en place de la réserve ?   |   |  |
| Paramètre  | ➤ Richesse spécifique, c'est-à-dire le nombre d'espèces présentes sur le site.   |   |  |
| Intérêt  | La richesse spécifique des peuplements ichtyologiques est une donnée fondamentale de toute étude de l'Effet Réserve sur la biodiversité marine. Elle permet de suivre la réinstallation d'espèces rares ou qui avaient déserté les sites.  |   |  |
| Personnel  | 1 plongeur<br>Qualification : (S)  | Durée estimée   | variable   |
| Stations   | Dépression d'arrière-récif, platier interne, pente externe   | Fréquence d'échantillonnage   | 1/an :<br>entre le 15 janvier et le 1 <sup>er</sup> mars |
| Matériel   | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Montre étanche avec option chronomètre,</li> <li>➤ Plaquette pour la prise de données.</li> </ul>   |   |  |
| Mode opératoire  | <p>Le plongeur réalise un parcours aléatoire et comptabilise toutes les espèces ichtyologiques aperçues. Il s'attache à ne pas avoir un comportement brusque, parcourir tous les types d'habitats de la station et réaliser un recensement le plus exhaustif possible dans la zone.</p> <p>Sur la pente externe, le comptage se doit de considérer les espèces vivantes en surface, en pleine eau et au fond.</p> <p>La durée d'un comptage varie selon les stations et correspond au temps au bout duquel la courbe du nombre cumulé d'espèces rencontrées au cours du temps se stabilise. Sur le terrain, on peut considérer que ce temps est atteint si au bout d'1/4 H après l'identification d'une espèce aucune autre nouvelle n'est observée.</p> |   |  |
| Avantages  |  | Inconvénients   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inventaire exhaustif des espèces ichtyologiques de la station.</li> <li>- Rapide, non destructif et peu onéreux.</li> <li>- Nécessite un minimum de personnels et d'équipements.</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite l'intervention d'un ichtyologue spécialiste capable d'identifier toutes les espèces présentes sur les stations.</li> </ul> |  |

## 2.3. L'étude des peuplements benthiques (substrats biotiques et abiotiques)

En milieu récifal, le suivi de l'état de santé des peuplements coralliens est un indicateur fiable de l'équilibre des écosystèmes. Trois techniques d'étude seront développées, le "transect benthos", le photo-quadrat et le parcours aléatoire, chacune fournissant des informations différentes mais complémentaires.

### 2.3.1. Recouvrement des différents types de substrat

|                 |  |                             |                        |
|-----------------|--|-----------------------------|------------------------|
| Problématique   | ➤ L'état de santé du récif corallien s'améliore-t-il dans les zones de réserve et de non réserve ?   |                             |                        |
| Paramètres      | ➤ Pourcentage de recouvrement des différents types de substrat (coraux vivants, morts, etc.).<br>➤ Abondance relative des espèces les plus communes.<br>➤ Diversité corallienne.   |                             |                        |
| Intérêt         | En milieu corallien, le suivi de l'état de santé de l'écosystème est essentiellement basé sur le suivi des peuplements coralliens. Le pourcentage de recouvrement en corail vivant est le facteur qui impacte le plus les politiques et scientifiques sur l'état de santé des récifs coralliens. Il est donc important de suivre ce paramètre.<br>Le suivi de l'abondance relative permet une analyse quantitative des substrats biotiques et abiotiques.<br>La diversité est un indicateur de la bonne santé d'un écosystème. Généralement, plus ce dernier est diversifié, meilleur est son état de santé.   |                             |                        |
| Personnel       | 2 plongeurs<br>Qualification : (R)   | Durée estimée               | 10 à 30 min /transect* |
| Stations        | Dépression d'arrière-récif<br>Platier interne, Pente externe   | Fréquence d'échantillonnage | 1/an (été)             |
| Matériel        | ➤ 2 rubans gradués de 50m.<br>➤ Planchette B1 pour la collecte de données (Annexe 3).  |                             |                        |
| Mode opératoire | <b>3 Transects de 20 m.</b><br><br>Le mode opératoire est identique à celui déjà utilisé par le Parc Marin pour le suivi de l'état de santé des récifs (Conand <i>et al.</i> , 1997).<br>Les transects sont déroulés parallèlement à la plage, selon la Figure 15. Le plongeur nage ensuite le long du ruban gradué. Il identifie les types de substrats interceptés par le ruban, les mesure et les note sur la fiche de terrain. La classification des types de substrat et leurs codifications sont détaillées en Annexe 6. Selon les compétences des observateurs, une identification la plus précise possible des espèces benthiques interceptées doit être réalisée. |                             |                        |

\* Le temps minimum pour la réalisation d'un transect benthos sur une station de dépression d'arrière-récif ayant une couverture corallienne faible est de 10 min. Les stations de platier et de pente externe sont plus riches et plus diversifiées. Elles nécessitent donc un investissement temporel plus élevé (30 à 40 min).

| Avantages  | Inconvénients  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Une des méthodes d'échantillonnage qualitatif et quantitatif les plus répandues dans les suivis des récifs coralliens.</li> <li>- Rapide, non destructif et peu onéreux.</li> <li>- Nécessite un minimum d'équipements.</li> <li>- Peut fournir une base de données pour le zonage et le suivi des récifs coralliens.</li> <li>- Méthode déjà utilisée à la Réunion et pour laquelle le personnel du Parc Marin a été formé.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas adapté pour le suivi des paramètres démographiques des coraux (mortalité, croissance, recrutement).</li> <li>- Pas adapté aux espèces rares ou de petites tailles.</li> </ul> |

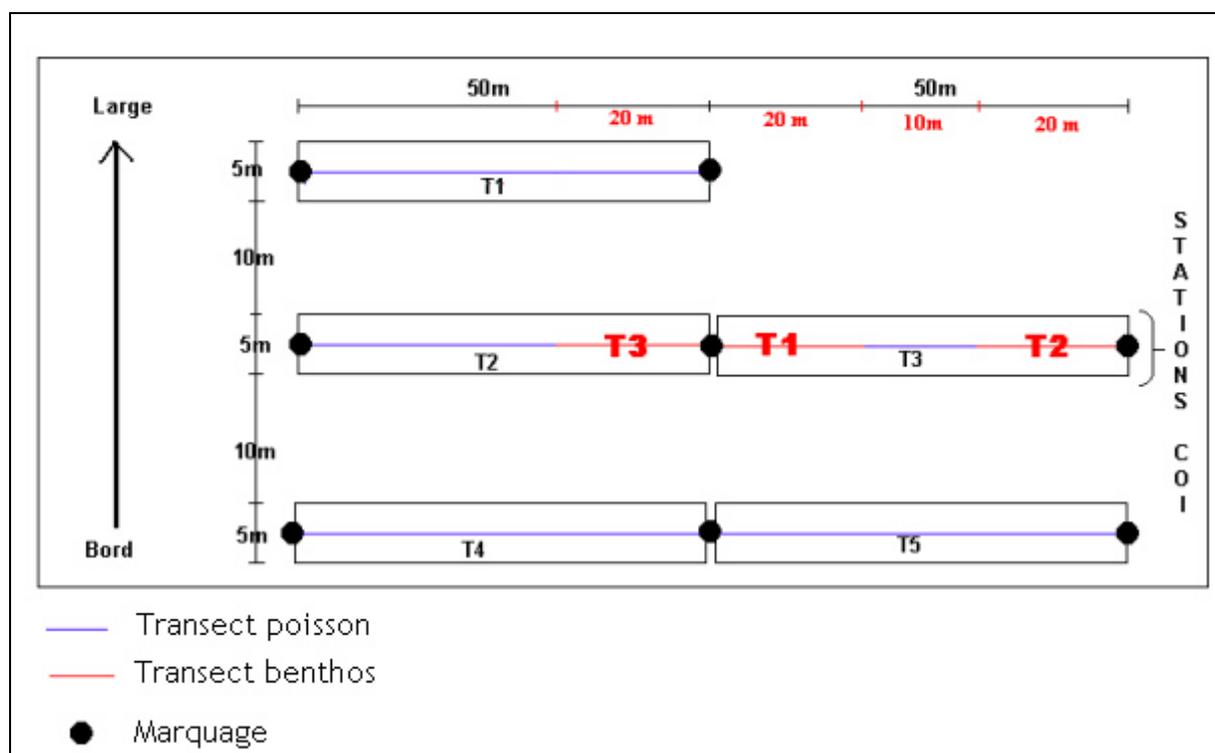


Figure 15 : Disposition des transects pour le suivi du recouvrement des substrats biotiques et abiotiques (transect benthos).

NB : Dans le cadre de la reprise des stations déjà suivies dans le programme PRE-COI (suivi de l'état de santé du récif), la position des transects sera gardée.

### 2.3.2. Croissance, mortalité et recrutement corallien

|                 |  |                                |                                     |
|-----------------|--|--------------------------------|-------------------------------------|
| Problématique   | ➤ Dans quelles mesures la réserve influence-t-elle la régénération du récif corallien ?  |                                |                                     |
| Paramètres      | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Croissance.</li> <li>➤ Mortalité.</li> <li>➤ Recrutement.</li> </ul>  |                                |                                     |
| Intérêt         | Les diverses pressions anthropiques directes sur les coraux seront limitées par la mise en place de la réserve. La première conséquence attendue sur le peuplement corallien sera donc une régénération. Les photo-quadrats permettent une quantification précise de cette régénération. C'est une méthode complémentaire aux transects, elle permet d'appréhender des paramètres différents : la croissance, la mortalité et le recrutement corallien.  |                                |                                     |
| Personnel       | 2 plongeurs<br>Qualification : (R)   | Durée estimée                  | <10min<br>/quadrat                  |
| Stations        | Platier<br>Pente externe   | Fréquence<br>d'échantillonnage | 1/an (été)<br>[2/an<br>(été/hiver)] |
| Matériel        | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1 quadrat de 1m<sup>2</sup>,</li> <li>➤ Appareil-photo étanche,</li> <li>➤ Planchette B2 (facultatif) pour la collecte de données (Annexe 3).</li> </ul>  |                                |                                     |
| Mode opératoire | <p>8 relevés sont nécessaires pour avoir une bonne représentativité d'une station (Conand <i>et al.</i>, 1997) mais le traitement de ces données représente un travail considérable. Réaliser 8 photo-quadrats et se restreindre au traitement des 5 premiers semble être un bon compromis entre la représentativité du suivi et la charge de travail lié au traitement des données (Bigot, <i>Com Pers</i>).</p> <p>Le quadrat est donc posé sur le fond à 8 endroits fixes répartis sur les 3 transects benthos de la station. Le choix initial de l'emplacement exact des quadrats n'est pas fondamental et peut se faire au hasard ou bien en sélectionnant des endroits riches et pauvres en coraux.</p> <p>Le point essentiel de cette manipulation réside dans le positionnement des photo-quadrats. Ces derniers doivent être disposés exactement au même endroit d'une année sur l'autre. L'effort de balisage des stations prend alors ici tout son sens. Dessins, schémas et photographies peuvent utilement compléter le balisage.</p> <p>Pendant qu'un plongeur réalise la photographie, l'autre peut identifier les types de substrats interceptés par le quadrat et dessiner (fiche mission B2) la répartition des peuplements benthiques. Les photographies ne permettent pas l'identification précise des espèces. La réalisation d'un dessin nécessite du temps et n'est pas indispensable. Cependant, il peut s'avérer utile si l'on souhaite affiner la qualité des données récoltées.</p> |                                |                                     |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   | <p>Si la profondeur d'eau ne permet pas la réalisation de la photographie du quadrat complet, notamment sur les stations de platier, il peut être utile de recourir à quelques astuces :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser des quadrats de plus petites surfaces. Par exemple 4 photo-quadrats de 0,25 m<sup>2</sup> posés côte à côte pourrait efficacement permettre de reconstituer une image correspondant à 1m<sup>2</sup>.</li> <li>- Utiliser une caméra sous-marine pour filmer le quadrat et reconstituer une image à partir du film.</li> <li>- Réaliser un dessin en respectant le plus précisément les dimensions des colonies coralliennes.</li> </ul> |  |
| <b>Avantages</b>  | <b>Inconvénients</b>  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adapté au suivi des changements des communautés macro benthiques au cours du temps.</li> <li>- Informations complémentaires au transect benthos.</li> <li>- Permet la collecte de données rapides et permanentes, utiles pour évaluer à long terme la croissance, la mortalité et le recrutement corallien (Gitting <i>et al.</i>, 1990).</li> <li>- Peut être efficace pour détecter des variations sédimentologiques.</li> <li>- Echantillonnage non destructif.</li> <li>- Permet de quantifier l'impact des destructions mécaniques de l'homme sur le peuplement corallien.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Méthode lente.</li> <li>- Equipement nécessaire (appareil pour photographies sous-marines).</li> <li>- Nécessite une eau claire.</li> <li>- Nécessite une bonne reconnaissance des espèces.</li> <li>- Photo-quadrat difficilement réalisable dans des eaux de faibles profondeurs.</li> </ul>   |  |

### 2.3.3. Richesse spécifique

|   |  |  |                  |
|---|--|--|------------------|
| Problématique   | ➤ De nouvelles espèces de coraux colonisent-elles les récifs réunionnais suite à la mise en place de la réserve ?  |  |                  |
| Paramètre   | ➤ Nombre d'espèces coralliennes présentes sur le site (richesse spécifique).   |  |                  |
| Intérêt   | Le suivi du nombre d'espèces présentes sur les différents sites est primordial pour mettre en évidence le retour d'éventuelles espèces. La richesse spécifique est une donnée importante de la biodiversité qui est souvent utilisée comme valeur de référence dans le monde.  |  |                  |
| Personnel   | 1 plongeur<br>qualification : (S)  | Durée estimée  | 1h/station       |
| Stations  | Platier interne<br>Pente externe   | Fréquence<br>d'échantillonnage   | 1/2ans<br>[1/an] |
| Matériel  | ➤ Plaquette pour la prise de données.  |  |                  |
| Mode opératoire   | Le plongeur réalise un parcours aléatoire et comptabilise toutes les espèces de coraux rencontrés (fiche mission B3). Il s'attache à parcourir tous les types d'habitats de la station et s'efforce de réaliser un recensement le plus exhaustif possible dans la zone.<br>La durée d'un comptage varie selon les stations et correspond au temps au bout duquel la courbe du nombre cumulé d'espèces rencontrées au cours du temps se stabilise. Sur le terrain, on peut considérer que ce temps est atteint si au bout d'1/4 H après l'identification d'une espèce aucune autre nouvelle n'est observée. |  |                  |
| Avantages   |  | Inconvénients  |                  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inventaire exhaustif du peuplement corallien de la station.</li> <li>- Rapide, non destructif et peu onéreux.</li> <li>- Nécessite un minimum de personnels et d'équipements.</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite l'intervention d'un benthologue spécialiste capable d'identifier toutes les espèces présentes sur les sites.</li> </ul> |                  |

### 3. Le scénario 2

#### 3.1. L'étude approfondie du peuplement ichthyologique

|   |   |  |                    |
|---|---|--|--------------------|
| Problématiques  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Comment évolue l'ensemble du peuplement ichthyologique suite à la mise en place d'une réserve marine ?</li> <li>➤ Quelle est l'influence de la réserve sur la taille, l'abondance, la biomasse et la diversité des poissons ?</li> </ul>   |  |                    |
| Paramètres  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Abondance relative des espèces ichthyologiques (nombre d'individus / unité de surface).</li> <li>➤ Taille des espèces rencontrées sur les transects.</li> <li>➤ Diversité du peuplement ichthyologique.</li> </ul>   |  |                    |
| Intérêt   | <p>Le suivi ichthyologique du scénario 1 ne porte que sur une petite partie du peuplement ichthyologique que l'on pense représentative. Pour un suivi basique, il est donc suffisant. Cependant, une étude précise sur l'Effet Réserve ne peut se contenter d'approcher le peuplement ichthyologique par la simple prise en compte de quelques espèces. Plusieurs suivis en milieu corallien, notamment en nouvelle Calédonie (Wantiez <i>et al.</i>, 1997), corroborent cette observation. Toutes les espèces présentes doivent donc être prises en compte afin d'obtenir une vision complète de l'Effet Réserve sur l'évolution de l'abondance, de la taille et de la biomasse de poissons.</p> |  |                    |
| Personnel   | 1 personne<br>Qualification (S)   | Durée estimée  | 30<br>min/transect |
| Stations  | Dépression d'arrière-récif,<br>Platier interne<br>Pente externe   | Fréquence<br>d'échantillonnage   | 1/an               |
| Matériel  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 5 rubans gradués de 50 m,</li> <li>➤ Plaquettes pour la prise de donnée,</li> <li>➤ "T " de 1m de long</li> </ul>  |  |                    |
| Mode opératoire   | <p>Le mode opératoire est identique à celui du suivi du nombre et de la taille des espèces cibles du scénario 1 à l'exception des deux points détaillés ci-après :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Toutes les espèces rencontrées sont prises en compte sur les transects T1, T2 et T3.</li> <li>- 3 passages successifs sont nécessaires pour prendre en compte l'ensemble du peuplement ichthyologique. Lors du premier, sont échantillonnés les prédateurs qui ont souvent un comportement de fuite. Le second passage est consacré aux autres espèces à l'exception des Pomacentridae qui sont comptés lors du dernier passage car ils sont peu fuyants.</li> </ul>              |  |                    |
| Avantages   |   | Inconvénients  |                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluation quasi exhaustive du peuplement ichthyologique (les espèces cryptiques, de petites tailles ou vivant dans les anfractuosités coralliennes ne sont pas prises en compte).</li> <li>- Détecte les différences dans la structure</li> </ul> |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les observateurs devront être capables de reconnaître toutes les espèces de poissons ainsi que posséder une expérience avancée dans la pratique des comptages ichthyologiques <i>in situ</i>.</li> <li>- Phénomènes d'attraction ou de répulsion</li> </ul> |                    |

|  |  |
|--|--|
| <p>des populations.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Une des méthodes d'échantillonnages par observation visuelle les plus répandues dans les suivis des récifs coralliens.</li> <li>- Non destructif et peu onéreux.</li> <li>- Nécessite un minimum de personnels et d'équipements.</li> <li>- Peut fournir une base de données pour le zonage et le suivi des récifs coralliens.</li> <li>- Donne des indications sur l'état de santé de l'écosystème corallien par l'intermédiaire, entre autres, de calculs de diversité ichthyologique.</li> </ul> | <p>des poissons liés à la présence du plongeur.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible puissance statistique pour mettre en évidence des changements pour les espèces rares.</li> </ul> |
|--|--|

### 3.2. L'étude approfondie du peuplement corallien

|                 |  |                             |              |
|-----------------|--|-----------------------------|--------------|
| Problématique   | ➤ Dans quelle mesure la suppression des pressions anthropiques directes* contribue-t-elle à une amélioration de l'état de santé du récif corallien ?   |                             |              |
| Paramètres      | ➤ Pourcentage de recouvrement des différents types de substrat (coraux vivants, morts, etc.).<br>➤ Abondance relative des espèces les plus communes.<br>➤ Diversité corallienne.   |                             |              |
| Intérêt         | Le scénario 1 permet de suivre l'évolution de mêmes zones au cours du temps. Cependant, malgré un choix judicieux de l'emplacement des transects du scénario 1, il est difficile de considérer que les observations sont caractéristiques de l'ensemble du site. En effet, compte tenu de la diversité du milieu corallien à la Réunion, une technique d'étude beaucoup plus fine est nécessaire pour suivre l'évolution globale du peuplement corallien sur un site, suite à la mise en place de la réserve (NAIM, <i>com. pers.</i> ). Ainsi, les mêmes paramètres du scénario 1 sont évalués mais ici, le suivi peut être considéré comme représentatif des sites d'étude.  |                             |              |
| Personnel       | 2 plongeurs<br>Qualification (R)   | Durée estimée               | 1 h/transect |
| Stations        | Dépression d'arrière-récif,<br>platier, pente externe  | Fréquence d'échantillonnage | 1/an         |
| Matériel        | ➤ 1 ruban gradué de 50 m.<br>➤ Planchettes B1 pour la collecte de données.   |                             |              |
| Mode opératoire | <p>Ce suivi est réalisé de manière différente sur les stations de "lagon " et de pente externe.</p> <p>Platier :</p> <p>Les transects de 50 m sont réalisés parallèlement au rivage (afin de maintenir l'homogénéité des biotopes) à une même distance les uns des autres. La distance entre 2 transects** peut varier selon la taille du récif corallien. 40 m est pris comme distance de base entre 2 transects pour le complexe récifal de Saint-Gilles/la Saline. Ils sont posés en tournant le dos au sens de déroulement. Ce dernier point est primordial pour éviter les biais d'échantillonnage dus à un choix inconscient de l'emplacement du ruban gradué (Bouchon, 1978).</p> <p>Le plongeur nage le long du ruban gradué. Il identifie les types de substrats interceptés par le ruban (Annexe 6), les mesure et les note sur la fiche mission B1. La classification des types de substrat et leurs codifications sont les mêmes que celles employées dans le suivi de l'état de santé des récifs coralliens (Conand <i>et al.</i>, 1997). Une identification la plus précise possible des espèces benthiques interceptées doit être réalisée.</p> |                             |              |

\* Par pressions anthropiques directes, nous entendons toutes les pressions liées à une activité de l'homme dans le milieu récifal. Les diverses pollutions des bassins versants, ne font donc pas partie de cette catégorie.

\*\* La distance entre le rivage et le premier transect est égal à la distance entre 2 transects.

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | <p>Pente externe :</p> <p>Sur la pente externe, au minimum 2 transects de 50m sont effectués à 10 et 15 m de profondeur. Dans le meilleur des cas, des relevés sont réalisés aussi aux profondeurs de 5, 20 m. Pour un suivi plus rigoureux, la position de chaque transect est marquée.</p>   |   |
|  | Avantages  | Inconvénients   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Représentativité accrue du peuplement corallien des sites d'étude.</li> <li>- Une des méthodes d'échantillonnages qualitatifs et quantitatifs les plus répandues dans les suivis des récifs coralliens.</li> <li>- Non destructif.</li> <li>- Nécessite un minimum d'équipements.</li> <li>- Peut fournir rapidement une base de données pour le zonage et le suivi des récifs coralliens.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Non adapté pour le suivi des paramètres démographiques des coraux (mortalité, croissance, recrutement).</li> <li>- Nécessite un investissement humain très important.</li> </ul> |

### 3.3. L'étude de pêche

Avant de commencer la description des protocoles de suivi, il est important de souligner le caractère particulier d'une telle étude à la Réunion. Considérant le contexte social actuel et les relations souvent tendues entre pêcheurs (parfois braconniers) et observateurs, il semble nécessaire de préciser que le succès de ce suivi dépendra en premier lieu de la participation sincère des pêcheurs. La mise en place d'un tel suivi peut et a déjà posé de nombreux problèmes à la Réunion. La mobilisation d'efforts importants pour l'échantillonnage n'est pas systématiquement récompensée par des données et des résultats fiables. Une campagne d'information et de communication réussie est le pré-requis de cette étude. Dans le cas contraire, il serait hasardeux d'investir des moyens importants. Le commanditaire de cette étude doit donc toujours garder cet état de fait à l'esprit.

|                         |   |                             |                        |
|-------------------------|---|-----------------------------|------------------------|
| Intérêt                 | <p>L'augmentation des stocks de poissons dans les zones de non réserve est l'argument fort qui à lui seul peut légitimer l'existence de la réserve aux yeux des pêcheurs et par la même des politiques. Ce suivi aura donc une forte portée socio-économique. L'évolution des captures dans les zones de pêche est un facteur déterminant qui est étudié dans plusieurs travaux sur l'Effet Réserve. Ce suivi permet de mettre en évidence de manière indirecte le rôle de nursery de la réserve marine.</p> <p>Compte tenu de l'exiguïté des formations récifales réunionnaises il est raisonnable de penser que la mise en place d'une réserve marine influencera principalement la pêche côtière ainsi que les diverses pêches pratiquées dans les "lagons". Ces 2 compartiments de la pêche réunionnaise devront alors faire l'objet d'un suivi selon des protocoles d'étude différents suivant la nature de la pêche (côtière ou dans les "lagons") et de la qualité des données que l'on souhaite récolter. Pour chaque compartiment est conçu un protocole minimal et les améliorations envisageables si les moyens le permettent.</p> |                             |                        |
| <b>La pêche côtière</b> |   |                             |                        |
| Problématique           | ➤ Suite à la mise en place d'une réserve marine à la Réunion, les rendements de la pêche côtière augmentent-ils de manière significative?   |                             |                        |
| Paramètres              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Rendement des pêches c'est-à-dire le nombre de poissons capturés et leurs masses / unité d'effort.</li> <li>➤ Diversité des captures.</li> <li>➤ Effort de pêche</li> </ul>  |                             |                        |
| Personnel               | 2 personnes<br>Qualification : (R)  | Durée estimée               | 8h                     |
| Stations                | Ports de Saint-Gilles et de Saint-Leu (éventuellement de Saint-Pierre)  | Fréquence d'échantillonnage | 2 / mois [1 / semaine] |
| Matériel                | ➤ Planchette PC pour la collecte de données (Annexe 3).   |                             |                        |

|   |  |           |               |
|---|--|-----------|---------------|
| <p>Mode opératoire (suivi minimal)</p>  | <p>Le suivi minimal est basé sur les données récoltées par la Direction Départementale des Affaires Maritimes. En effet, cette dernière suit les captures réalisées par les pêcheurs "inscrits maritimes" sur la base de déclaration mensuelle depuis plus de 20 ans. Cependant, ces déclarations sont souvent entachées d'une marge d'erreur importante (Biais et Taquet, 1992) car:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- peu de pêcheurs notent les captures lors de leur sortie journalière, les déclarations se font alors le plus souvent de mémoire,</li> <li>- compte tenu de critères financiers (fisc, aides publiques, etc.), certains pêcheurs sont tentés de sous-estimer ou sur-estimer leurs déclarations.</li> </ul> <p>Néanmoins, le nombre d'embarcations et les captures déclarées sont des informations intéressantes à récolter dans le cadre du suivi de l'Effet Réserve. Malgré la marge d'erreur importante, ces informations sont faciles à collecter et peuvent aider à suivre, pour un coût minimum, l'évolution des rendements de pêche (tonne / embarcation / an) suite à la mise en place de la réserve.</p>  |           |               |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Avantages</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Inconvénients</td> </tr> </table>                    |  | Avantages | Inconvénients |
| Avantages   | Inconvénients  |           |               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les données sont déjà récoltées par la D.D.A.M. et ne nécessitent aucune observation de terrain supplémentaire.</li> <li>- Permet de suivre l'évolution des pêcheries côtières.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les données récoltées témoignent d'une forte imprécision.</li> <li>- Seuls les pêcheurs professionnels sont pris en compte.</li> </ul>  |           |               |
| <p>Mode opératoire (suivi amélioré)</p>   | <p>Le protocole minimal ne considère pas l'ensemble des pêches côtières. En effet, les plaisanciers pratiquant une pêche "non professionnelle" ne sont pas pris en compte.</p> <p>Pour pallier ces problèmes, il est possible de renforcer cette étude en réalisant des enquêtes au niveau des ports en dénombrant le nombre de bateaux de pêche qui sortent et qui entrent en une journée. L'enquête se poursuit alors auprès des embarcations au retour de pêche. Les informations suivantes sont notées de manière anonyme :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le nombre de pêcheurs et leur nature (professionnel ou non).</li> <li>- Le temps de pêche (heure de début et de fin de pêche).</li> <li>- Le ou les lieux de pêche. Compte tenu des réticences de certains pêcheurs à dévoiler leurs lieux exacts de pêche, il peut alors être intéressant de leur proposer plusieurs réponses en fonction de la profondeur de pêche (&lt;5m, 5-20m, 20-50, 50-100 et &gt;100 m) et une localisation approximative.</li> <li>- Les matériels utilisés.</li> <li>- Les captures. Chaque individu capturé est identifié, mesuré et pesé.</li> <li>- La date et la lune.</li> <li>- Toutes autres remarques pertinentes ou inattendues.</li> </ul> |           |               |

|                                   |   |                                |  |
|-----------------------------------|---|--------------------------------|--|
|                                   | <p>Cette enquête peut être réalisée à une fréquence hebdomadaire ou bimensuelle. Il est nécessaire de considérer différemment les jours de semaine et les week-ends et jours fériés. Ces derniers sont, en effet, plus propices à la pratique d'une pêche récréative.</p> <p>D'autres types d'approches peuvent être réalisés : la pêche scientifique ou l'observation à bord de bateaux de pêche. Ces protocoles ne feront pas l'objet de précisions supplémentaires car ils se basent sur le même type d'observations que le protocole précédent.</p> |                                |  |
|                                   | <b>Avantages</b>  |                                | <b>Inconvénients</b>   |
|                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prise en compte de l'ensemble des pêcheries côtières des ports considérés.</li> <li>- Permet de suivre précisément l'évolution des pêcheries côtières.</li> </ul>  |                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La collecte de données nécessite un investissement humain et temporel important.</li> <li>- La valeur des données dépend fortement de la qualité des relations entre pêcheurs et observateurs.</li> </ul> |
| <b>La pêche dans les "lagons"</b> |   |                                |  |
| Problématiques                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La mise en place d'une réserve marine à la Réunion permet-elle une augmentation significative des rendements de pêche dans les "lagons"?</li> <li>➤ Quelles sont les techniques de pêches pratiquées dans les zones autorisées et avec quelle intensité ?</li> <li>➤ La réglementation est-elle respectée dans les zones protégées ?</li> </ul>  |                                |  |
| Paramètres                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Rendement des pêches c'est-à-dire le nombre de poissons capturés et leurs masses par unité d'effort.</li> <li>➤ Intensité des pressions de pêche : répartition et fréquence des types de pêche.</li> <li>➤ Diversité des captures.</li> </ul>  |                                |  |
| Personnel                         | 2 personnes<br>Qualification (R)  | Durée estimée                  | Voir mode opératoire   |
| Stations                          | Dépression d'arrière-récif,<br>Platier, Pente externe   | Fréquence<br>d'échantillonnage | Voir mode opératoire   |
| Matériel                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bateau.</li> <li>➤ GPS.</li> <li>➤ Planchettes PL1 et PL2 pour la collecte de données (Annexe 3).</li> </ul>   |                                |  |
| Mode opératoire                   | <p>L'enquête est réalisée en 2 étapes successives : premièrement, une évaluation des efforts de pêche dans les zones considérées en prenant en compte chaque technique de pêche et ensuite, une estimation des captures moyennes pour chaque type de pêche.</p>   |                                |  |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>1) Evaluation des efforts de pêche (planchette PL 1)<br/> Les zones de pêche sont parcourues à pied ou en bateau*. Tous les pêcheurs observés sont notés ainsi que le type de pêche pratiquée et les instruments utilisés. La position des pêcheurs est prise à l'aide d'un GPS ou par repérage avec des amers. Afin d'appréhender l'effort de pêche journalier, le suivi est réalisé le matin (9 – 11h) et l'après midi (15 – 17h) (Anonyme, 2001). Si les moyens le permettent, il est préférable de réaliser les suivis du matin et de l'après midi le même jour.<br/> Ils peuvent être réalisés durant les sorties routinières de surveillance mais au minimum 1 fois par semaine et 1 fois tous les 2 week-ends (samedi ou dimanche). Les jours d'échantillonnage doivent pouvoir être considérés comme étant choisis aléatoirement.</p> <p>2) Estimation des captures par type de pêche (planchette PL 2)<br/> Une enquête est menée sur le terrain auprès des pêcheurs. Les observateurs vont à la rencontre des pêcheurs en action de pêche ou à leur sortie de l'eau et récoltent les renseignements suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le type de pêche</li> <li>- Le matériel utilisé</li> <li>- L'heure de début de pêche</li> <li>- L'heure de fin de pêche estimée</li> <li>- L'heure actuelle</li> <li>- La capture actuelle (nombre, diversité, poids et taille)</li> </ul> <p>Il note aussi la date et la lune.</p> <p>L'important dans cette étude est d'échantillonner un nombre suffisant d'individus afin d'être le plus représentatif possible des types de pêche. Ce nombre minimal d'échantillons dépend des types de pêche. Il n'y a pas de nombre maximal mais à partir de 30 échantillons, l'effort d'échantillonnage pour un type de pêche peut être atténué.<br/> Fréquence : 2 campagnes / an (été et hiver)</p> |
| <p style="text-align: center;"><b>Avantages</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet la collecte d'un plus grand nombre d'informations accessoires (notamment sur les pratiques de pêche).</li> <li>- Bonifie les relations du gestionnaire avec les pêcheurs en impliquant directement ces derniers dans le suivi de l'Effet Réserve.</li> </ul> | <p style="text-align: center;"><b>Inconvénients</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les données sur les captures et effort de pêche peuvent être erronées car elles dépendent de la nature de la collaboration avec les pêcheurs. Une étude réalisée à la Réunion (Anonyme, 2001) a montré que cette contrainte est particulièrement lourde dans le contexte local.</li> <li>- Les pêches illégales peuvent difficilement être échantillonnées.</li> </ul>  |

\* Il est préférable d'avoir recours au bateau car celui ci permet un échantillonnage plus rapide de toute la zone considérée, améliorant ainsi le suivi.

## 4. Les Propositions d'études complémentaires

La mise en œuvre des scénarios 1 et 2, bien que permettant une étude approfondie de l'Effet Réserve sur la communauté récifale, ne permet pas de répondre à toutes les interrogations que peut se poser le gestionnaire de la réserve. Plusieurs effets réserves relatés dans la littérature ne sont pas étudiés pour diverses raisons : leur intérêt immédiat n'est pas important à la Réunion, les techniques d'études ne sont pas encore opérationnelles et nécessitent une phase expérimentale ou alors, ils ne font pas parti des aspects purement écologiques et font appel à d'autres disciplines scientifiques.

### 4.1. Les études à caractères écologiques

#### 4.1.1. Etude de l'Effet Réserve sur le poulpe : *Octopus ssp*

*Octopus ssp* ou "Zourite" à la Réunion est une espèce qui est fortement pêchée. La pratique de cette pêche est interdite à la Réunion dans les réserves par arrêtés préfectoraux, mais elle se pratique régulièrement à l'aide de bâtons, de barres à mine ou en chasse sous-marine. Les impacts sont alors importants sur le milieu et la ressource.

Bien que d'importance commerciale non négligeable, aucune étude de cette espèce n'a été réalisée sur l'île. La mise en évidence d'un Effet Réserve positif sur le "zourite" serait un argument supplémentaire au service du gestionnaire de la réserve.

Le suivi d'*Octopus sp* n'ayant jamais été réalisé à la Réunion, la mise en place d'un protocole à cet effet nécessite une phase expérimentale réalisée lors d'une étude pilote. Cette dernière se doit de répondre aux questions suivantes :

Quelles sont les espèces de "zourite" à la Réunion ?

Quelle est la technique d'échantillonnage qui convient le mieux pour le poulpe ? Il nous semble que l'utilisation de pièges pourrait faire ses preuves. Dans ce cas, il faut s'interroger sur les points suivants :

Quel est le piège qui permet une capture optimale de zourite tout en ne dégradant pas le milieu corallien et à un coût économiquement acceptable ?

Des appâts sont-ils nécessaires et dans ce cas, quels sont les plus adaptés ?

Quels doivent être les dates et les horaires d'échantillonnages pour une bonne représentativité de l'Effet Réserve sur cette espèce ?

Où doit-on placer ces pièges pour un effort d'échantillonnage raisonné ?

Comment affiner les connaissances sur la biologie du poulpe ?

Pour affiner cette étude il serait intéressant de pouvoir marquer les individus capturés afin de pouvoir utiliser les méthodes d'études des populations par capture, marquage, recapture. Les techniques de marquages sont aussi à expérimenter. Quelques idées pour la mise en place d'une étude pilote sont développées en Annexe 4.

#### 4.1.2. Etude des modifications comportementales de la macro-faune récifale

De nombreux chercheurs ont remarqué une modification du comportement des espèces de poissons suite à la mise en place d'une réserve marine. Ces modifications sont de deux ordres :

- les poissons deviennent moins circonspects, ne percevant plus l'homme comme un prédateur (Russ, 1991 ; Wantiez *et al.*, 1997),
- l'absence de pressions anthropiques permet le retour des comportements reproducteurs de groupes de certaines espèces, surtout chez les mérours (Barnabe et Barnabe, 1997 ; Robert, 1998).

Ces deux phénomènes, bien que souvent abordés dans la littérature, n'ont pas encore été quantifiés précisément dans le cadre de suivis de l'Effet Réserve et font toujours partie des constatations *a posteriori*.

Il peut être intéressant de quantifier les modifications comportementales des poissons. Outre l'intérêt scientifique indéniable de cette étude, elle permettrait d'améliorer l'image de la réserve auprès des touristes et des naturalistes amateurs. Aucune technique d'étude n'a été recensée dans la bibliographie traitant de l'Effet Réserve. Ce suivi serait donc expérimental et pourrait par exemple se baser sur un "indice de circonspection". Il pourrait être établi comme suit : un plongeur se met à l'eau et pour chaque individu d'un groupe considéré, il note si le poisson fuit, est attiré par le plongeur ou semble être indifférent. Ce suivi est réalisé régulièrement sur un nombre défini d'individus et l'évolution de "l'indice de circonspection" est utilisé comme base du suivi des modifications comportementales. Les modalités de ce suivi restent à être détaillées et approfondies.

L'effet bordure décrit par Mouton (1999) pourrait aussi être testé par ce suivi. Le comportement des poissons serait alors qualifié selon la localisation des sites dans la réserve : en milieu et en bordure de réserve.

Le phénomène de regroupement des individus pour la reproduction est un facteur clé des problèmes de chute des stocks de poissons. Pouvoir quantifier ce phénomène et localiser les sites de regroupement serait un atout pour le gestionnaire de la réserve qui pourrait alors redimensionner la réserve afin d'améliorer de manière significative l'efficacité de celle-ci. Il est important de rappeler que la localisation de tels sites devrait à elle seule justifier la mise en place d'une réserve marine (Robert, 1998).

Bien que cette étude soit instinctivement tournée vers le peuplement ichthyologique, il est envisageable, selon le type de réserve mis en place, d'aborder d'autres groupes zoologiques, comme les tortues, les mammifères, les mollusques, etc.

#### 4.1.3. Etude sur les peuplements ichthyologiques nocturnes

Toutes les études ichthyologiques précédentes témoignent d'un biais évident car elles ne considèrent qu'une partie des peuplements de poissons : les peuplements diurnes. Or, ces derniers sont très différents des peuplements nocturnes. De plus, de nombreuses espèces d'importance économique ont une activité nocturne et ne peuvent donc être évaluées de manière rigoureuse lors d'échantillonnages en journée. Elles font alors l'objet d'une sous-évaluation.

La mise en place d'un suivi de nuit selon la méthode de comptage visuel peut donner des informations précises sur ces espèces. La réalisation d'un tel suivi est sujet à de lourdes contraintes liées aux plongées de nuit. Le suivi se focalise alors uniquement sur les espèces d'importance économique forte. Sont alors pris en compte les familles suivantes : Serranidae, Lutjanidae et Lethrinidae.

Au lieu de plongée nocturne, il est envisageable d'utiliser une caméra sous-marine équipée d'un éclairage suffisant, mais cette technique peut avoir un coût financier important.

#### 4.1.4. Etude des échinodermes

L'intérêt du suivi des échinodermes revêt une importance écologique et scientifique indéniable. Cette étude ne pouvant être abordée dans les scénarios 1 ou 2 (intérêt moindre), elle peut se réaliser de manière basique autorisant un investissement humain, matériel et temporel minimum. La collaboration des différents usagers de la mer peut être ici un atout considérable.

Il faut savoir que les échinodermes jouent un rôle fondamental dans l'équilibre de l'écosystème récifal. Ils peuvent être indicateurs de perturbations diverses. Les holothuries, essentiellement détritivores, épurent le sable de sa matière organique et les oursins, pour la plupart herbivores peuvent être les témoins d'une prolifération algale. De plus, le suivi de l'étoile de mer épineuse *Acanthaster planci* permet de prévenir les infestations et/ou d'expliquer d'éventuelle mortalité corallienne.

#### 4.1.5. Etude des peuplements de crustacés

La pêche aux crustacés sur les récifs réunionnais est une activité couramment pratiquée et les espèces capturées ont le plus souvent une valeur économique élevée. La langouste est une des proies les plus convoitées et sa pêche est réglementée. La démonstration d'un éventuel Effet Réserve significatif sur les pêcheries de crustacés serait un argument qui permettrait de dynamiser cette pêche.

#### 4.1.6. Colonisation du récif par des larves de poissons et de coraux.

L'intérêt de ces suivis est essentiellement de l'ordre de la recherche écologique. De nombreux chercheurs pensent que la mise en place d'une réserve marine favorise la reproduction des poissons (voir la deuxième partie). Mais ce phénomène n'a pas été quantifié ni étudié précisément. Ce suivi permettrait d'enrichir les connaissances sur ce sujet. Il est bien entendu qu'il serait nécessaire de considérer, dans ces études, le rôle important des conditions environnementales qui influencent fortement la colonisation des récifs coralliens.

Dans la même optique, une étude sur le recrutement des larves de coraux pourrait être mise en œuvre, traduisant ainsi l'Effet Réserve sur les larves coralliennes.

#### 4.1.7. Etude des modifications de la structure trophique de la communauté récifale

Ce suivi présente essentiellement un intérêt pour la recherche fondamentale. La mise en place d'une réserve marine bouleverse entièrement les équilibres biologiques établis. Cette étude présente une approche écosystémique de l'Effet Réserve qui n'a été abordée que d'une manière théorique et partielle. Nécessitant la mise en œuvre de systèmes de suivi des principaux compartiments biologiques du récif corallien, ce suivi exige la participation d'un groupe de recherche comprenant plusieurs spécialistes.

## 4.2. L'étude des impacts socio-économique de la réserve

Outre les aspects purement écologiques de l'Effet Réserve, le gestionnaire d'une réserve marine se doit de connaître les impacts économiques et sociaux de la réserve. Il ne peut en aucun cas négliger cet aspect car il constitue un des points forts qui légitime l'existence de la réserve aux yeux des politiques et des acteurs économiques locaux.

Cette étude constitue, avec les suivis écologiques de base, deux sources importantes d'information et d'aide à la décision pour une gestion raisonnée de la réserve et plus globalement de l'ensemble du littoral réunionnais.

Dans cette optique, il est donc indispensable pour le gestionnaire de la réserve de pouvoir quantifier précisément les répercussions de celle-ci sur la population réunionnaise. Tous les usagers du milieu corallien seront identifiés et l'impact de la réserve sera analysé selon leurs points de vue. Ainsi, les aspects socio-économiques seront traités en analysant finement les avantages et inconvénients apportés par la réserve pour chaque type d'utilisateur. La quantification de l'impact de la réserve sur la pêche ou le tourisme et surtout sur les devises qui en sont issues devrait être un point fort de cette étude. Une quantification se basant sur un système de coût/avantage (ou coût/recette) et consentement à payer est nécessaire.

La mise en évidence d'effets (directs et indirects) de la réserve sur l'emploi est aussi un aspect intéressant à quantifier qui sensibiliserait fortement les politiques.

Il est important de préciser que la plupart des réserves sont mises en place pour répondre à des problèmes socio-économiques avérés ou futurs. Une importante littérature se consacre donc aux effets socio-économiques des réserves marines et peut alors servir de base pour une étude à la Réunion.

## 5. Le traitement des données

La mise en évidence de l'Effet Réserve suppose un travail considérable pour l'analyse des données de terrain. Celles-ci concernent plusieurs compartiments biologiques qu'il est nécessaire au préalable, d'analyser séparément, puis d'aborder dans une vision globale des équilibres biologiques en milieu récifal.

L'analyse des données récoltées sur le terrain permet en premier lieu de caractériser les stations et les sites. L'Effet Réserve est visualisé en comparant les sites et stations entre-eux, avant et après la mise en place de la réserve.

### 5.1. La caractérisation des stations et des sites

La station est l'unité de base du suivi de l'Effet Réserve. Chaque échantillonnage sur le terrain nécessite un traitement spécifique des données récoltées. Ces dernières sont utilisées pour caractériser les stations. La synthèse des données relatives aux stations permet de caractériser les sites.

## 5.1.1. Suivi du peuplement ichthyologique

### 5.1.1.1. Nombre et taille

Plusieurs paramètres peuvent être appréhendés à partir des données récoltées sur le terrain. Ils sont d'abord calculés au niveau spécifique. Des synthèses peuvent ensuite être effectuées au niveau de la famille et selon le régime alimentaire. Le traitement des données est abordé en utilisant le Tableau 1 comme exemple. L'application du scénario 1 permet le calcul de l'abondance, la densité, la taille moyenne, le poids total et la biomasse totale par espèce. La diversité ichthyologique, l'équitabilité et le nombre d'espèces par transects sont des paramètres qui ne peuvent être évalués qu'à partir du Scénario 2. Ce traitement correspond à un seul transect. Pour caractériser une station, il est nécessaire de réaliser des moyennes sur l'ensemble des transects de la station. Il est évidemment nécessaire de réaliser ces moyennes à partir des 5 transects pour les espèces de mérus et des transects T1, T2 et T3 pour les autres espèces.

Tableau 1 : Tableau théorique correspondant à la collecte de données pour le suivi du nombre et de la taille des espèces ichthyologiques.

|         | Classe de taille / taille moyenne                     |                 |                 |     |
|---------|---|-----------------|-----------------|-----|
|         | [ 1 - 5 ]   | [ 6 - 10 ]      | [ 11 - 15 ]     | ... |
|         | Taille moyenne par classe de taille (t <sub>i</sub> ) |                 |                 |     |
| Espèces | 3   | 8               | 12              | ... |
| X       | n <sub>x1</sub>                                       | n <sub>x2</sub> | n <sub>x3</sub> | ... |
| Y       | n <sub>y1</sub>                                       | n <sub>y2</sub> | ...             | ... |
| Z       | ...   | ...             | ...             | ..  |

n<sub>x1</sub> : le nombre d'individus de l'espèce X appartenant à la classe de taille 1 à 5 cm de long,  
n<sub>x2</sub> : le nombre d'individus de l'espèce X appartenant à la classe de taille 6 à 10 cm ...

➤ **L'Abondance relative (N)** correspond au nombre d'individus rencontrés sur le transect.

$$N_x = \sum (n_{xi})$$

Unité : nombre d'individus

➤ **La densité (D)** est calculée à partir de l'abondance relative (N) et de la surface du couloir d'échantillonnage (S) selon la formule suivante :

$$D_x = n_{xi} / S_x$$

Avec S<sub>x</sub> = 100 pour les Pomacentridae et S<sub>x</sub>=250 pour les autres espèces.

Unité : nombre d'individus / m<sup>2</sup>

➤ **La taille moyenne (T)** des espèces rencontrées sur les transects

$$T_x = \sum (n_{xi} \times t_i) / N_x$$

Unité : cm

➤ **Le poids total (Ptotal)** de chaque espèce rencontrée sur le transect est calculé à partir de l'équation type suivante, liant le poids (P) à la taille (T) de l'individu :

$$P = a \times T^b$$

a et b sont des nombres dont la valeur est différente selon les espèces. Ils sont fixés lors de travaux de recherche et ne sont pas encore déterminés pour toutes les espèces. Une mise à jour régulière en fonction des publications scientifiques est donc nécessaire\*. Pour les espèces dont la relation taille/poids n'est pas encore établie, leur poids est estimé en utilisant la relation taille/poids d'une espèce voisine.

$$Ptotal_x = \sum (n_{xi} \times a_x \times T_x^{bx})$$

Unité : g

➤ **Le poids moyen (Pmoyen)** de chaque espèce peut aussi être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$Pmoyen_x = a_x \times T_x^{bx}$$

Unité : g

➤ L'évaluation du nombre et de la taille des espèces dans un couloir permet de réaliser des estimations de biomasse. **La biomasse totale (Btotale)** de chaque espèce est une estimation correspondant à un poids rapporté à une surface.

$$Btotale_x = Ptotal_x / S_x$$

Unité : g / m<sup>2</sup>

L'unité de biomasse la plus répandue dans la littérature est le Kg / ha. Il suffit alors de multiplier par 10 la valeur donnée par la formule précédente.

➤ **Le nombre d'espèces par transect** est un résultat obtenu directement à partir de la collecte de données et ne nécessite aucun traitement.

Unité : nombre d'espèces

➤ **La diversité** est un indicateur de l'état de santé d'un écosystème. Dans le cas présent, plus le peuplement ichthyologique est diversifié, plus on peut penser qu'il est en équilibre et que le récif corallien est en bonne santé. Elle est calculée à partir de l'indice de diversité de Shannon (H') :

---

\* Le site Internet <http://www.fishbase.org> est un outil simple et efficace créé par plusieurs ichthyologues et informaticiens qui permet de s'informer des mises à jour régulières des relations taille/poids pour les poissons.

$$H' = \sum_{i=1}^{i=S} P_i \cdot \text{Log}_2 P_i$$

Ici, S est le nombre d'espèces rencontrées et  $P_i$  la dominance de chaque espèce c'est-à-dire le nombre en pourcentage que représente l'espèce  $i$  par rapport à l'ensemble des espèces. Le résultat s'exprime en "bits". L'indice de diversité de Shannon varie entre 0 (peuplement monospécifique) et  $\text{Log}_2 S$  (espèces idéalement distribuées dans le biotope).

➤ **L'équitabilité.** L'indice de diversité est dépendant du nombre d'espèces et pour comparer des peuplements ayant un nombre d'espèces différent, on tient compte de ce phénomène en calculant l'équitabilité. Cette dernière est une grandeur relative qui représente le degré de maturité d'un peuplement par rapport à son maximum théorique.  
Indice d'équitabilité de Pielou ( $J'$ ) :

$$J' = H' / \text{Log}_2 S$$

#### 5.1.1.2. Richesse spécifique

La richesse spécifique est le nombre total d'espèces qui peuplent la station. Ce paramètre est obtenu directement à partir des données récoltées sur le terrain, sans aucun traitement.

#### 5.1.2. Suivi du peuplement benthique

Le suivi du peuplement benthique est réalisé sur la base des méthodes du transect benthos (Scénario 1 et 2) et des photo-quadrats. Toutes deux nécessitent un traitement spécifique qui est abordé successivement au chapitre 6.1.2.1 et 6.1.2.2.

##### 5.1.2.1. Recouvrement des différents types de substrat (méthode des transects benthos)

La méthode des transects benthos permet d'évaluer plusieurs paramètres : le taux de recouvrement des différents substrats, le nombre d'espèces par transect, la diversité et l'équitabilité.

➤ A partir de chaque transect, on peut calculer **un taux de recouvrement**. Pour un type de substrat donné, le taux de recouvrement (R) est donné par la formule suivante :

$$R = 100 \times (\text{total des tailles du type de substrat}) / (\text{longueur totale du transect}).$$

Le taux de recouvrement est exprimé en pourcentage.

Dans le cadre du suivi du scénario 1, 3 transects de 20 m sont réalisés par station. Pour caractériser les stations, il convient alors de réaliser la moyenne des 3 taux de recouvrement calculés.

- **Le nombre d'espèces par transect** est un résultat obtenu directement en dénombrant les espèces rencontrées sur les transects. Pour caractériser une station, dans le cadre du scénario 1, il convient de sommer le nombre d'espèces rencontrées sur les 3 transects.
- **La diversité** est calculée à l'aide de l'indice de diversité de Shannon (voir chapitre 5.1.1.1.)
- **L'équitabilité** est évalué par l'intermédiaire de l'indice de Pielou (voir chapitre 5.1.1.1.).

#### 5.1.2.2. Croissance, mortalité et recrutement corallien (méthode des photo-quadrats)

Les photographies sont numérisées à haute résolution et incorporées à un logiciel de traitement d'images suffisamment performant pour réaliser des calculs de surface (ex : ADOBE Photoshop). Les images sont calibrées pour que le logiciel adopte une échelle précise sur laquelle la taille du quadrat est respectée (1m x 1m).

Numériser, à l'aide de polygones, par-dessus la photographie les différentes colonies coralliennes (ou d'autres éléments remarquables) en y affectant des couleurs correspondant au type de substrat et des numéros identifiant chaque polygone. A chaque numéro est associé une légende avec l'identification de la colonie et toutes autres remarques pertinentes. L'utilisation des dessins réalisés sur le terrain est d'un recours indispensable pour l'élaboration de la légende.

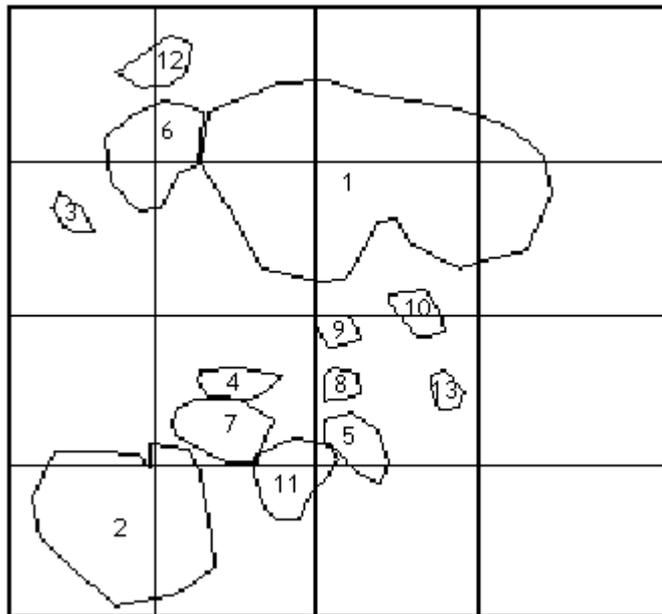
Dans le cas où la photographie n'a pas été réalisée, la numérisation se fait uniquement à partir du dessin, d'où l'importance d'effectuer des dessins précis lorsque la photographie est impossible.

Suite à cette phase de numérisation des différentes colonies, la surface de chaque polygone est calculée par l'intermédiaire du logiciel. La réalisation du traitement de ces données est illustrée par l'exemple concret ci-dessous.

Exemple de traitement des données des photo-quadrats (traitement réalisé par l'ARVAM dans le cadre du suivi de l'état de santé des récifs corallien Mete *et al.*, 2001)



Image brute



Dessin réalisé sur le terrain



Numérisation des colonies

- 1 : Acropore branchu, *A. robusta*, 1395 cm<sup>2</sup>
- 2 : Acropore tabulaire, 638 cm<sup>2</sup>
- 3 : Acropore digité, 49 cm<sup>2</sup>
- 4 : Acropore digité, 62 cm<sup>2</sup>
- 5 : Acropore branchu, 109 cm<sup>2</sup>
- 6 : Pocillopore (*P. eyedouxi*, 260 cm<sup>2</sup>)
- 7 : Pocillopore (*P. verrucosa*, 177 cm<sup>2</sup>)
- 8 : *Favia* sp ? (38 cm<sup>2</sup>)
- 9 : *Pocillopora* sp ? (20 cm<sup>2</sup>)
- 10 : *Favia* sp ? (51 cm<sup>2</sup>)
- 11 : *Pocillopora* sp ? (150 cm<sup>2</sup>)
- 12 : *Pocillopora* sp, 115 cm<sup>2</sup>
- 13 : *Pocillopora* sp ? 9 cm<sup>2</sup>

Légende (avec l'aide du dessin) et calcul de la surface de chaque polygone

La réalisation annuelle de cette opération sur les mêmes photo-quadrats permet de réaliser un suivi individualisé extrêmement précis des différentes colonies coralliennes interceptées. La croissance est évaluée en suivant l'évolution de la surface de chaque colonie d'une année sur l'autre. La mortalité et le recrutement sont quantifiés en dénombrant respectivement le nombre de colonies qui sont mortes et le nombre de colonies qui sont apparues.

### 5.1.3. Suivi de l'activité de pêche

Le traitement des données relatives au suivi de l'activité de pêche est variable selon le protocole mis en place et la qualité des informations récoltées, mais il est toujours basé sur une évaluation des captures, de l'effort de pêche et du rendement.

➤ **Les captures** sont évaluées en poids et en nombre d'individus totaux ou selon d'autres facteurs comme l'espèce, le régime alimentaire, etc. La diversité des captures est aussi un paramètre qu'il est intéressant d'évaluer. Les captures sont toujours exprimées par rapport au nombre de pêcheurs ou par unité de temps ou de surface.

Pour le suivi de l'Effet Réserve, le traitement minimal à réaliser est le poids des captures par pêcheur. Les autres critères viendront affiner les connaissances de l'Effet Réserve sur les captures.

$$\text{Capture} = \text{poids} / \text{pêcheur}$$

En considérant l'ensemble des captures réalisées et le nombre de pêcheurs, il est possible d'estimer la capture en poids total.

➤ **L'effort de pêche** est une estimation quantitative et qualitative de l'activité de pêche. Il est exprimé par le nombre de pêcheurs (et d'embarcations de pêche) par unité de temps sur une surface ou sur un lieu donné. Le type de pêche, la localisation des pêcheurs ainsi que les matériels utilisés sont des informations complémentaires qui viennent préciser l'évaluation de l'effort de pêche.

$$\text{Effort de pêche} = \text{nombre de pêcheurs} / \text{unité de temps (heure, jour, etc.) ou unité de surface.}$$

➤ **Le rendement** est calculé selon le type de pêche pratiqué en évaluant les captures (poids, diversité) en fonction du nombre de pêcheurs et de l'effort de pêche correspondant.

$$\text{Rendement}_{\text{pour un type de pêche}} = (\text{poids ou diversité}) / \text{pêcheur ou d'embarcation} / \text{temps de pêche ou par an}$$

## 5.2. La mise en évidence de l'Effet Réserve par l'analyse des résultats

La démonstration d'un Effet Réserve est basée sur une mise en évidence de différences entre les zones de réserve et de non réserve à un instant donné et d'une évolution significative de ces zones avant et après l'établissement de la réserve. Chaque paramètre calculé selon le protocole du chapitre 6.1 pourra ainsi faire l'objet de ces comparaisons. Ces dernières peuvent être réalisées selon deux niveaux : graphique et statistique.

### 5.2.1. Comparaison des sites et stations à un instant donné

En premier lieu, il est important de préciser que la comparaison des stations entre elles, n'a de sens que pour les stations disposées sur le même faciès géomorphologique du récif. Il est par exemple d'un intérêt limité de comparer des stations de pente externe et de platier.

L'Effet Réserve est appréhendé en comparant les sites et stations appartenant aux différents niveaux de protection à un moment donné. Il est alors pertinent de comparer les sites et stations des zones de réserve par rapport aux zones de non réserve ou de protection intermédiaire.

#### 5.2.1.1. Interprétation graphique des données.

La représentation graphique est une méthode simple et rapide qui permet de mettre en évidence l'Effet Réserve. Une comparaison visuelle par l'intermédiaire de représentations graphiques discriminant les différents niveaux de protection pour chaque paramètre doit donc être effectuée. Un diagramme en bâton peut alors utilement être réalisé (Fig. 16).

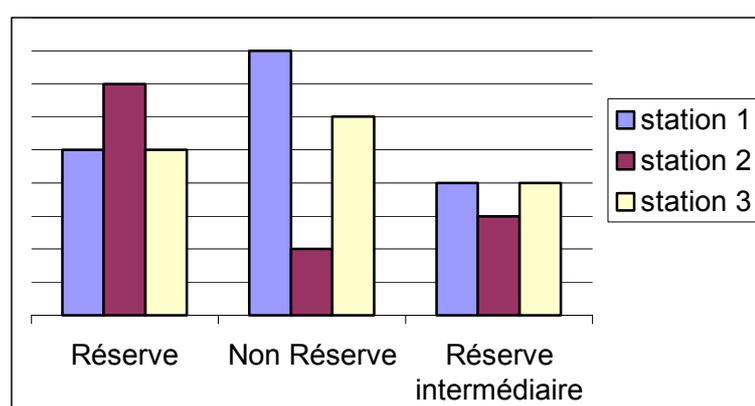


Figure 16 : Comparaison graphique des différents niveaux de protection, pour un paramètre évalué sur 3 stations de réserve, 3 de non réserve et 3 de réserve intermédiaire (valeurs fictives).

#### 5.2.1.2. Interprétation statistique des données

Pour une analyse plus rigoureuse de l'Effet Réserve, il est nécessaire d'utiliser l'outil statistique\*, qui passe par l'utilisation de tests et par une analyse multivariée : l'Analyse en Composantes Principales.

##### 5.2.1.2.1. Les tests statistiques

Les tests statistiques utilisés (Tomassone *et al*, 1993) dans le cadre de ce protocole se basent sur la détection de différences significatives entre différents échantillons (ou populations) pour un seuil de risque donné (généralement de 5% et 1%). Cependant, il faut garder à l'esprit que lorsqu'un test ne décèle pas de différences significatives, cela ne signifie

\* L'utilisation de logiciels de statistiques (ex : SPSS, StatLab) permet un gain de temps considérable tout en limitant les erreurs humaines.

nullement que les échantillons sont identiques. La puissance d'un test détermine sa performance pour détecter une hétérogénéité significative. Les tests non paramétriques (Mann&Whitney, Kruskall-Wallis) sont moins puissants que leurs homologues paramétriques (ANOVA). Mais ces derniers pré-requièrent des conditions particulières en ce qui concerne la nature et la distribution des données. Les tests non paramétriques sont réalisables nonobstant ces conditions particulières et sont donc applicables pour l'ensemble des manipulations des scénarios 1 et 2.

Pour affiner le test statistique, il est préférable, pour les suivis autres que celui de pêcheries, de ne pas utiliser les résultats moyens par station, mais les résultats de chaque transect, ce qui a pour effet d'augmenter la taille des populations statistiques à comparer.

La méthode statistique utilisée dépend de la nature des données à comparer et de leurs distributions. Selon le nombre de populations statistiques, la normalité des distributions et l'homogénéité des variances, plusieurs tests peuvent être utilisés (Tableau 2).

Tableau 2 : Tests statistiques à appliquer en fonction du nombre de populations, de la normalité des distributions et de l'homogénéité des variances.

| Hypothèse   | 2 populations               | > 2 populations  |
|---|-----------------------------|--|
| Normalité des distributions refusée                             | Test U de Mann&Whitney      | Test de Kruskall-Wallis + test de sous-hypothèse associé |
| Normalité des distributions acceptée et Variances homogènes     | Analyse de variance (ANOVA) | Analyse de variance (ANOVA) + test de Bonferroni         |
| Normalité des distributions acceptée et Variances non homogènes | Test U de Mann&Whitney      | Test de Kruskall-Wallis + test de sous-hypothèse associé |

Chaque paramètre nécessaire à la réalisation de cette stratégie statistique est exposé ci-dessous.

### **Normalité des distributions**

La normalité des distributions est acceptée lorsque les données à comparer sont des données biologiques brutes issues d'un échantillonnage aléatoire, ce qui est par exemple le cas de l'abondance ichthyologique. Par contre, si les données à comparer ont fait au préalable, l'objet de calculs divers, comme pour la taille moyenne, le poids ou la biomasse, l'hypothèse de la normalité des distributions est rejetée\*.

### **Homogénéité des variances**

Pour tester l'homogénéité des variances, deux méthodes sont utilisées selon le nombre de populations.

---

\* Il est toujours possible de tester statistiquement la normalité des distributions, notamment par le test de Shapiro-Wilk mais cette méthode n'est pas détaillée dans ce rapport.

Dans le cas de 2 populations 1 et 2, si le rapport des 2 variances  $S_1^2 / S_2^2$  (avec  $S_1^2 > S_2^2$ ) suit une loi de F alors l'hypothèse des variances homogènes est acceptée. Dans la pratique, il s'agit de calculer F selon la loi de F avec  $S_1^2 / S_2^2$ , ddl1 =  $n_1 - 1$  et ddl2 =  $n_2 - 1$  ( $n_1$  et  $n_2$  sont respectivement le nombre de données des populations 1 et 2). Si la valeur F ainsi calculée est inférieure à 0,05, l'hypothèse de l'homogénéité des variances est rejetée \*\*.

Lorsqu'il y a plus de 2 populations, il est nécessaire d'utiliser le test de Leven. Ce test est une variante de l'analyse de variance (ANOVA). Il consiste, en fait, à réaliser une ANOVA en transformant les données brutes. A chaque donnée brute est alors substituée la valeur absolue de la différence entre la donnée brute et la moyenne de la population dont elle est issue.

### Analyse de variance (ANOVA) à un facteur

Afin de réaliser ce test on utilise la variable aléatoire "F", tel que :  $F = (SM/I-1)/(SR/n-I)$  qui suit la loi de Fisher à (I-1) et (n-I) degrés de liberté s'il n'y a pas de différences significatives

"I" étant le nombre de population et "n" l'effectif total.

"SM" représente la somme du modèle, elle a pour valeur « $SM = \sum n_i \cdot (Y_i - Y)^2$ », (avec "Y<sub>i</sub>" pour la moyenne d'une population et "Y" pour la moyenne de toutes les populations confondues).

"SR" est la somme résiduelle et elle a pour valeur  $SR = \sum (Y_{ij} - Y_i)^2$  (avec Y<sub>ij</sub> pour chaque valeur d'une population et "Y<sub>i</sub>" pour la moyenne d'une population).

Les calculs nécessaires au test décrit ci-dessus sont présentés dans le Tableau n°3, qui est un tableau d'analyse de variances.

Tableau n°3 : tableau d'analyse de variance

I : nombre de population ; n : effectif total ; F observé = la probabilité d'avoir le Fcal avec un risque de 5% à (I-1) et (n-I) degrés de liberté.

| Origine des variations | Somme des Carrés | Degrés de liberté | Carré moyen | F calculé               | F observé |
|------------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------------------|-----------|
| Modèle                 | SM               | I-1               | SM/I-1      | $= (SM/I-1) / (SR/n-I)$ |           |
| Résiduel               | SR               | n-I               | SR/n-I      |                         |           |
| Total                  | SM+SR            | (I-1)+(n-I)       |             |                         |           |

### Test de sous hypothèse : méthode du t corrigé de Bonferroni

Si des différences significatives sont montrées par l'ANOVA, il convient de déterminer quelles sont les populations qui sont différentes en réalisant des comparaisons de chaque population 2 à 2.

Le seuil de risque pour ces comparaisons est  $\alpha' = \alpha / (I (I-1))$

La variable Tik suit une loi de Student à n – I degrés de liberté

$$Tik = (Y_i - Y_k) / S \sqrt{(1/n_i + 1/n_k)}$$

\*\* Si l'homogénéité des variances ne peut être acceptée, on peut réaliser un changement de variable pour valider cette hypothèse, mais cette méthode n'est pas détaillée dans ce rapport.

Avec :  $n_i$  et  $n_k$  les effectifs des populations I et k,  
 $S = SR$  =:estimation de la variance résiduelle,  
 $Y_i$  et  $Y_k$ , la moyenne des populations I et k.

### Test U de Mann&Withney

Ce test est utilisé pour comparer 2 échantillons E1 et E2 indépendants. Il s'agit de classer par ordre croissant l'ensemble des valeurs des 2 échantillons. A chaque valeur est donc affecté son rang dans ce classement. S'il y a des *ex aequo*, le rang attribué à chaque *ex aequo* est égal à la moyenne de leur rang. Pour tout élément  $x_i$  de E1, on compte le nombre d'éléments de E2 situés après  $x_i$  (en comptant pour 0,5 pour tous les éléments *ex aequo* de E2 avec  $x_i$ ).  $U_1$  est égal à la somme de toutes les valeurs ainsi associées à tout élément de E1.  $U_2$  est déterminé de la même manière en permutant E1 et E2. Puis on pose  $U = \min(U_1, U_2)$ , c'est-à-dire la plus petite valeur de  $U_1$  et  $U_2$ .

Si  $n_1$  et  $n_2 < 20$  : les tables statistiques de Mann&Withney donnent la valeur  $m\alpha$  en fonction du nombre d'individus des populations E1 et E2  $n_1, n_2$  et le seuil de risque  $\alpha$ .

Si  $m\alpha \geq U$  alors la différence entre les 2 populations est significative au seuil de risque  $\alpha$ .

Si  $n_1, n_2 > 20$ , alors U suit la loi normale  $N(\mu, \sigma)$  si les différences ne sont pas significatives.

Avec  $\mu = (n_1 \times n_2) / 2$  et  $\sigma = \sqrt{((n_1 \times n_2 \times (n_1 + n_2 + 1)) / 12)}$

O calcul donc  $\xi = (U - \mu) / \sigma$ . La table de la loi normale réduite donne  $U\alpha$  pour un seuil de risque  $\alpha$ . Si  $\xi$  n'appartient pas à l'intervalle  $[-U\alpha ; U\alpha]$ , les différences sont significatives au seuil de risque  $\alpha$ .

### Test de Kruskal-Wallis

Il s'agit de comparer K échantillons indépendants (E1, E2, ... EK) comportant  $n_1 \dots n_k$  individus. Tout comme le test de Mann&Whitney, les individus sont classés par ordre croissant puis on détermine leur rang.

Pour chaque échantillon  $E_i$ , on note  $R_i$  la somme des rangs des valeurs de cet échantillon. On calcule alors la variable aléatoire de Kruskal-Wallis "Q" telle que:

$$Q = (12 / n(n+1)) \times \sum_{i=1}^k (R_i - (n_i(n+1)/2))^2$$

Q suit la loi du  $\chi^2$  à  $K - 1$  degrés de liberté s'il n'y a pas de différence significative entre les échantillons. (Tomassone *et al*, 1993).

### Test de sous hypothèse

Si le test de Kruskal-Wallis montre des différences significatives entre les K échantillons, il s'agit de déterminer parmi ces échantillons lesquels diffèrent les uns des autres. On réalise donc un test de sous hypothèse pour comparer 2 à 2 les échantillons i et k.

Si  $|\bar{R}_i - \bar{R}_k| > Z\alpha' [(1/n_i + 1/n_k) \times n(n+1)/12]^2$  alors les différences entre les échantillons i et k sont significatives.

Avec :  $\alpha' = \alpha / (K(K-1))$

$Z\alpha'$  = valeur de la loi normale standard inverse pour  $\alpha'$

#### 5.2.1.2.2. L'analyse multivariée

La réalisation d'une analyse multivariée comme l'Analyse en Composante Principale (A.C.P.) est un outil statistique et graphique qui doit compléter utilement les tests statistiques. Elle permet de comparer les différentes stations (variables) à partir d'un grand nombre de paramètre (individus). Les stations sont alors regroupées en fonction de leurs affinités pour les différents paramètres. Il est raisonnable de penser que si un Effet Réserve existe, l'ACP discriminera les stations de réserve et de non réserve.

Chaque variable et chaque individu sont définis par 3 facteurs :

- Un facteur de qualité, qui donne les risques de mauvais placement des points sur le graphique. Si ce facteur est supérieur à 0,8, on peut considérer que la variable ou l'individu est bien représenté.
- Une contribution absolue, qui donne la "quantité d'information" détenue par chaque point.
- Une contribution relative, qui donne la "quantité d'information" détenue par chaque point par rapport à chaque axe.

#### 5.2.2. Qualification de l'évolution temporelle

Comme pour les comparaisons entre les sites et stations à un instant donné, plusieurs approches peuvent être réalisées.

Tout d'abord, une analyse visuelle par l'intermédiaire de courbes représentant l'évolution d'un paramètre au cours du temps pour les différentes stations et les différents niveaux de protection (Fig 17.).

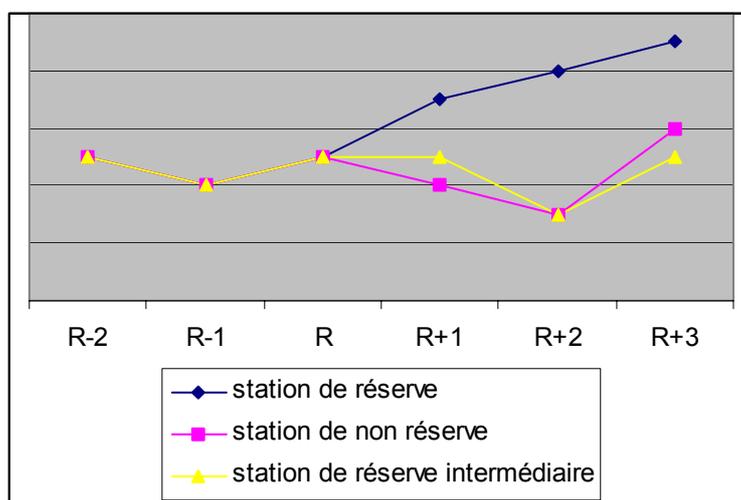


Figure 17 : Evolution d'un paramètre en fonction du temps avant et suivant la mise en place de la réserve selon les différents niveaux de protection (valeurs fictives).

Le traitement statistique des données en fonction du temps peut aussi parfaire la mise en évidence d'une évolution en la qualifiant de significative ou non. Ainsi, la même stratégie statistique développée au chapitre 6.2.1.2.1 doit être utilisée. Il suffit alors d'y intégrer la variable temporelle en se basant sur des comparaisons entre l'avant et l'après réserve.

Il existe aussi des traitements statistiques spécifiquement adaptés au suivi de l'évolution d'un paramètre au cours du temps (ARIMA), mais ils sont complexes et nécessitent la participation d'un statisticien confirmé.

# Conclusion générale

Les récifs coralliens, écosystèmes spécifiques à la zone intertropicale, s'inscrivent dans une problématique mondiale de gestion et de conservation des milieux naturels. Par leur rôle de barrière physique contre les fureurs de la mer, ils conditionnent la présence de l'homme sur le littoral. Véritables oasis de vie dans le désert de l'océan, ils représentent une opportunité incontournable pour les populations humaines.

Ils sont le support d'activités de pêche et de tourisme qui deviennent souvent des points forts de l'économie d'un pays. A cela viennent s'ajouter les nouvelles formes d'exploitation comme l'alimentation du marché de l'aquariophilie qui est en pleine expansion et leur importance au niveau de la recherche scientifique.

Cependant, de nombreuses menaces pèsent sur l'intégrité de ces écosystèmes fragiles. Les dégradations sont aujourd'hui croissantes et ont pour principales causes l'activité anthropique et les phénomènes naturels (cyclones, invasions biologiques, maladies, ...), ces derniers étant souvent accentués par l'action de l'homme.

L'activité humaine est particulièrement destructrice car elle est réalisée sans réflexion sur l'utilisation durable des récifs coralliens et la gestion intégrée des zones côtières. La surexploitation des ressources marines, que ce soit au niveau des prélèvements dans le milieu ou par rapport à la sur-fréquentation touristique est extrêmement préjudiciable aux récifs coralliens.

Pour faire face à cette problématique complexe, les gestionnaires de ces milieux disposent de plusieurs outils. La mise en place de zones marines protégées, phénomène relativement récent (1<sup>er</sup> parc marin créé aux Etats-Unis en 1947) fait progressivement ses preuves.

A la Réunion, les premières constatations de dégradation des récifs coralliens date de la fin des années 1970 avec les travaux des scientifiques C. Bouchon, G. Faure, L. Montaggianni. Les pressions sont de plus en plus importantes et les mesures réglementaires sont inadaptées et non respectées. Il en suit une prise de conscience des décideurs locaux aboutissant à la création le 17 juillet 1997 de l'Association Parc Marin de la Réunion dont l'une des missions statutaires est de participer à la mise en place d'une réserve marine. La procédure de classification en réserve naturelle a été initiée par le Préfet en 1998. Actuellement le dossier suit son cours administratif mais accumule du retard par rapport au planning prévisionnel initial.

Dans la littérature scientifique, l'évaluation de l'efficacité des réserves marines est appelée Effet Réserve. Il apparaît que le succès d'une réserve n'est pas systématique et dépend de plusieurs facteurs, notamment le respect strict des réglementations. Les études se consacrent essentiellement aux peuplements ichtyologiques et les effets les plus souvent relatés sont alors une augmentation de l'abondance, de la diversité, de la taille et de la biomasse dans les zones protégées. Un autre facteur important est le rôle de nursery, favorisant la reproduction des adultes et donc la production d'œufs. Les zones de réserves alimentent donc les zones non protégées par un flux d'individus aux stades adulte et larvaires. Il en découle un renflouement des stocks de poissons. La réserve possède alors un double intérêt au niveau de la conservation et de l'exploitation des ressources marines.

Le protocole de suivi de l'Effet Réserve adopté à la Réunion se base essentiellement sur des méthodes reconnues internationalement. Deux niveaux de suivi sont élaborés en fonction de l'importance des paramètres pris en compte pour l'évaluation de l'Effet Réserve. Le scénario 1 comprend les suivis fondamentaux sur les populations ichtyologiques et la nature du substrat. Le scénario 2 représente un suivi non fondamental et se base sur un approfondissement du scénario 1 et une étude complémentaire sur les pêches côtières et dans

les "lagons". D'autres facteurs qui ne sont pas traités dans ce rapport doivent être abordés, notamment le suivi des impacts socio-économiques de la réserve.

Le protocole de suivi de l'Effet Réserve est conçu pour pouvoir être mis en œuvre en grande partie par des non spécialistes. Cependant, il nécessite un investissement temporel et humain important. Compte tenu de l'existence actuelle d'une autre démarche de suivi très proche sur les récifs réunionnais (suivi de l'état de santé des récifs coralliens, PRE/COI), il est intéressant, dans la mesure du possible, de coupler ces deux suivis afin de limiter cet investissement. Néanmoins, leurs problématiques sont différentes. Le suivi de l'état de santé des récifs se base sur une évaluation à long terme alors que le suivi de l'Effet Réserve nécessite une mobilisation importante sur le court et moyen terme (4-8 ans).

Pour conclure, il nous semble important d'insister sur trois points pour le succès de la réserve et pour le suivi de son efficacité :

- La réserve se doit d'être élaborée selon le contexte écologique et social réunionnais. Il est nécessaire entre autres d'adapter les limites de la réserve en fonction des moyens réels de surveillance afin d'assurer le respect strict de la réglementation.
- Il est important de débiter le suivi avant la mise en place de la réserve. Tout manquement à cet impératif entraîne une perte importante d'informations.
- Pour un suivi rigoureux de l'Effet Réserve, un effort supplémentaire à celui réalisé actuellement doit être effectué. Le Parc Marin ne peut, à lui seul, supporter toute la mise en œuvre du suivi, plusieurs organismes doivent donc collaborer dans la mesure de leur compétence.

# Bibliographie

ALCALA A.C., 1988. Effects of marine reserves on coral fish abundance and yield of Philippines coral reefs. *Ambio* 17 : 194-199.

ALCALA A.C. & RUSS., 1990. A Direct test of the effects of protective management on abundance and yield of tropical marine resources. *J. Const. Int. Explor. Mar.* 46 : 40-47.

AYLING A.M. & AYLING A.L., 1986. Coral trout survey data : raw data sheets and abundance summaries from all surveys of coral trout species (*Plectropomus spp.*) carried out by sea research for the Great Barrier Reef Marine Park Authority between february 1983 and july 1986. *Report to the Great Barrier Reef Marine Park Authority*, Townsville.

BALGOS M.C., 1997. Artificial reefs in the Philippines : a policy analysis. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym.* 2 : 1987-1990.

BARNABE G. & BARNABE-QUET R., 1997. Ecologie et aménagement des eaux côtières. *Ed. Tec. et Doc.* 301p.

BAYLE-SEMPERE J.T. & RAMOS-ESPLA A.A., 1993. Some population parameters as bioindicators to assess the « reserve effect » on the fish assemblage. In : Boudouresque C.F., Mavon M. & Pergent-Martini (Eds). *Qualité du milieu marin. Indicateurs biologiques et physico-chimiques. GIS Posidonie publ. Fr.* : 183-214.

BELL J.D., 1983. Effects of depth and marine reserve fishing restriction on the structure of a rocky reef fish assemblage in the north-western Mediterranean Sea. *J. Appl. Ecol.* 20 : 357-369.

BENNET B.A. & ATTWOOD C.G., 1991. Evidence for recovery of a surf-zone fish assemblage following the establishment of a marine reserve on the southern coast of South africa. *Mar. Ecol. Pro. Ser.* 75 : 173-181.

BIAIS G. & TAQUET M., 1992. La pêche locale aux abords de La Réunion. *Repère Océan n°2. Ed. IFREMER.* 77p.

BOHNSACK J.A., 1990. The potential of marine fishery reserves for reef fish management in the US Southern Atlantic. *NOAA Tech Memo NMFS-SEFC-261*, Miami : 40p.

BOHNSACK J.A., 1993. Marine reserves. They enhance fisheries, reduce conflicts, and protect resources. *Oceanus.* 36 : 63-71

BOHNSACK J.A., 1996. Maintenance and recovery of reef fishery productivity. In : Polunin N.V.C., Roberts C.M. Eds. *Reef Fisheries*. Chapman and Hall, London : 283-313.

BOHNSACK J.A., HARPER D.E. & McCLELLAN D.B., 1992. Marine reserves for reef fishes : lessons from partially protected areas in the Florida Keys, U.S.A. *Proc. 7<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym., Guam.* 2 : 993.

BOUCHON C., 1978. Etude quantitative des peuplements à base de scléactiniaires d'un récif frangeant de l'île de la Réunion (Océan Indien). *Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Aix-Marseille II.* 71p.

- BUXTON C.D., 1993a. Life-history changes in exploited reef fishes on the east coast of South Africa. *Env. Biol. Fishes.* 36 : 47-63.
- BUXTON C.D., 1993b. Marine reserves –The way ahead. In : BECKLEY L.E. & VAN DER ELTS R.P. (Eds.). Fish and Fisheries. *Oceanogr. Res Inst. Spec. Publ.* 2 : 170-176.
- BUXTON C. D. & SMALE M.J., 1989. Abundance and distribution patterns of three temperate marine reef fish (Teleostei : Sparidae) in exploited and unexploited areas off the southern cape coast. *J. Appl. Ecol.* 26 : 441-451.
- CAPELLA J., 1996. Une aire protégée : les îles Medes. *Fragile Méditerranée. A la reconquête d'un équilibre écologique.* Edisud ed., Aix-en-Provence : 238-239.
- CARR M.H. & REED D.C., 1993. Conceptual issues relevant to marine harvest refuges : example from temperate reef fishes. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 50 : 2019-2028.
- CARTER J. & SEDBERRY G.R., 1997. The design function of marine fishery reserves as tool for the management and conservation of the Belize barrier reef. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym.* 2 : 1911-1916.
- CHABANET P., 1994. Etude des relations entre les peuplements coralliens et les peuplements ichtyologiques sur le complexe récifal de Saint-Gilles la Saline. *Thèse de doctorat, Univ. Aix-Marseille III*, 235p.
- CHAUVET C., BARNABE G., BAYLE-SEMPERE J., BIANCONI C.H., FRANCOUR P., GARCIA-RUBIES A., HARMELIN J.G., MINICONI R., PAIS A. & ROBERT P., 1991. Recensement du mérou *Epinephelus guaza* (Linnaeus, 1758) dans les réserves et parcs marins des côtes méditerranéennes françaises. In : Les espèces marines à protéger en Méditerranée, Boudouresque C.F., Avon M. & Gravez V. Eds. *GIS Posidonie Publ.* Marseille : 277-290.
- CHIAPPONNE M., & SULLIVAN K.M., 1991. A comparaison of line quadrat transect versus linear percentage sampling for evaluating stony coral (Scleractinia and Milleporidae) community similarity and area coverage on reef of the central Bahamas. *Coral Reef* 10 : 139-154.
- CLARK J.R., CAUSEY B. & BOHNSACK J.A., 1989. Benefits from coral reef protection : Looe Key Reef, Florida. In : Magoon O.T., Converse H., Miner D., Tobin L.T. & Clark D. *Proc. 6<sup>th</sup> Symp. Coastal and Ocean manage* : 3076-3086.
- COLE R.G., AYLING T.M. & CREESE R.G., 1990. Effect of marine reserve protection at Goat Island northern New Zealand. *New zealand J. Freshwater Research* 24 : 197-210.
- CONAND C., CHABANET P., QUOD J-P. & BIGOT L., 1997. Manuel méthodologique pour le suivi de l'état de santé des récifs coralliens du sud-ouest de l'Océan Indien. *Commission Océan Indien* : 27p.
- CUET P.& NAIM O., 1989. Les platiers récifaux de l'île de la Réunion. *Univ. Réunion, Lab Biol. Mar., Lab. Chim. Org. A.U.R.*, 303p.

CULIOLI J.-M., 2000. Rôle du suivi scientifique dans les espaces protégés aux fins de gestion conservatoire des milieux et des espèces à valeur patrimoniale. *Colloque sur les Aires Marines Protégées en Méditerranée du 09 au 11 novembre 2000*.

DE MEYER K., GLENDINNING C. RIEDMILLER S. & AALBERSBERG B., 2001. Creating self-financing mechanisms for Mpas : three cases. *MPA news*. 8 (2) : 1-3.

DUFOUR V., 1992. Colonisation des récifs coralliens par les larves de poissons. *Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie*. 220p.

DUFOUR V., JOUVENEL J.-Y. & GALZIN R., 1995. Study of a Mediterranean reef fish assemblage. Comparisons of population distributions between depths in protected and unprotected areas over one decade. *Aquat. Liv. Res.* 8 (1) : 17-25.

DUGAN J.E. & DAVIS G.E., 1993. Application of marine refugia to coastal fisheries management. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 50 : 2029-2042.

EDMUNDS P.J. & WITMAN J.D., 1991. Effect of hurricane Hugo on the primary framework of a reef along the south shore of St. John, U.S. Virgin Islands. *Mar. Eco. Pro. Ser.* 78 : 201-204.

ENGLISH S., WILKINSON C. & BAKER V., 1994. Survey manual for tropical marine resources. *ASEAN-Australia Mar. Sci. Proj.* AIMS. 368p.

FAURE G., 1982. Recherches sur les peuplements de scléactiniaires des récifs coralliens des Mascareignes (Océan Indien Occidental). *Thèse es sciences. Univ. Aix-Marseille II*, 206p.

FLOWER A.J., 1987. The development of sampling strategies for population studies of coral reef fishes : a case study. *Coral Reef*. 6 : 49-58.

FRANCOUR F., 1989. Les peuplements ichtyologiques de la réserve de Scandola, Corsica. *Rev. Ecol. (Terre vie)*. 46 : 65-81.

FRANCOUR F., 1992. Ichtyofaune de la réserve de Scandola (Corse, Méditerranée Nord-Occidentale). Analyse pluriannuelle de l'Effet Réserve. *MEDPAN News*. 3 : 3-14.

FRANCOUR F., 1993. Analyse pluriannuelle de l'Effet Réserve sur l'ichtyofaune de la réserve naturelle de Scandola (Corse, Méditerranée Nord-Occidentale). *Mar. Life*. 3 (1-2) : 83-93 .

FRANCOUR F., 1994. Pluriannual analysis of the reserve effect on ichthyofauna in the Scandola naturel reserve (Corsica, Northern-Occidental Mediterranean). *Oceanol. Acta*. 17 (3) : 309-317.

FRANCOUR F., 2000. L'Effet Réserve : passé, present et avenir. *Colloque sur les Aires Marines Protégées en Méditerranée du 09 au 11 novembre 2000*.

FRANCOUR F. & LE DIREAC'H L., 1994. Recrutement de l'ichtyofaune dans l'herbier superficiel à *Posidonia oceanica* de la réserve naturelle de Scandola (Corse, Méditerranée nord-occidentale) : données préliminaires. *Trav. Sci. Parc Nat. Rés. Nat. Corse*. 46 : 71-79.

- FRANCOUR F. & LE DIREAC'H L., 1997. Le recrutement des poissons dans les herbiers à *Posidonia oceanica* : quels sont les facteurs influents ? In *Asso. Fran. Limnologie, Acte du XXXIX congrès national*, Université de Corse, Office Environnement Corse & DIREN Corse Publ. : 67-78.
- FRANCOUR P., SARTORETTO S. & HARMELIN J.G., 1997. Synthèse des connaissances et des acquis sur les aires marines protégées de Méditerranée : éléments raisonnés pour leur création et leur mise en place. *Premier séminaire international sur Mobilisation, Exploitation et Conservation des Ressources Naturelles* In : Dossier "zones marines protégées". 1998. Parc National de Port-cros :1-19.
- GALZIN R., 1979. La faune ichthyologique d'un récif corallien de Moorea, Polynésie française : échantillonnage et premiers résultats. *Rev. Ecol. Terre Vie.* 33 : 623-642.
- GARCES L., 1998. Marine coastal conservation in San Salvador Island, Philippines. *NAGA. The ICLARM Quarterly.* 59.
- GARCIA-RUBIES A., & ZABALA M., 1990. Effect of total fishing prohibition on the rocky fish assemblages of Medes Island marine reserve. *Sci Mar.* 54 : 317-328.
- GARCIA-RUBIES A., & MACPHERSON E., 1995. Substrate use and temporal pattern of recruitment in juvenile fishes of the Mediterranean littoral. *Mar. Biol.* 124 : 35-42.
- GOEDEN G.R., 1982. Intensive fishing and keystone of predator species : ingredients for community instability. *Bio. Cons.* 22 : 273-281.
- GREENE L.E. & ALEVIZON W.S., 1989. Comparative accuracies of visual assessment methods for coral reef fishes. *Bull. Mar. Sci.* 44 (2) : 899-912.
- HALPERN B., sous presse. The impact of marine reserve : do reserve work and does reserve size matter ? *Ecol. Appl.*
- HARMELIN J.G., 1987. Structure et variabilité de l'ichtyofaune d'une zone rocheuse protégée en Méditerranée (Parc National de Port-Cros, France). *P.S.Z.N.I., Mar. Ecol.* 8 : 263-284.
- HARMELIN J.G., 1995. Une aire marine protégée à Marseille, pour quoi faire ? In : Dossier "zones marines protégées". 1998. Parc National de Port-cros. 29-34.
- HARMELIN J.G. & BACHET F., 1992. Impact de la protection sur l'ichtyofaune de la réserve de Carry-le-Rouet. In : Impact économique des espaces côtiers protégés en Méditerranée. *Medpan News.* 3 : 21-25.
- HARMELIN J.G., BACHET F. & GARCIA F., 1995. Mediterranean marine reserves : fish indices as test of protection efficiency. *P.S.Z.N.I : Mar. Ecol.* 16 (3) : 233-250.

- HARMELIN-VIVIEN M., HARMELIN J.G., CHAUVET C., DUVAL C., GALZIN R., LEJEUNE P., BARNABE G., BLANC F. CHEVALIER R., DUCLERC J. & LASSERRE G., 1985. Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : méthodes et problèmes. *Rev. Ecol. Terre Vie.* 40 : 467-538.
- HARMELIN-VIVIEN M., HARMELIN J.G. & LÉBOULLEUX V., 1995. Microhabitat recruitment for settlement of juveniles Sparid fishes on Mediterranean rocky shore. *Hydrobiologia.* 300/301 : 309-320.
- HATCHER B.G., JOHANNES R.E. & ROBERTSON A.I., 1989. Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 27 : 237-414.
- HOLLAND D.S., 2000. A Bioeconomic model of marine sanctuaries on Georges Bank. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57 (6) : 1307-1319.
- IDECHONG N.T. & GRAHAM T., 1998. The Ngerukewid island of Palau : 40 years of managing a marine protected area. *PARCKS marine protected areas IUCN* 8 (2) : 17-22.
- KALY U.L. & JONES G.P., 1997. Minimum sampling design for assessing the magnitude and scale of ecological impacts on coral reef. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym.* 2 : 1479-1748.
- KELLER G., BLEAKLEY C. & WELLS S., 1995. A global system of marine protected areas Vol. 3 Central Indian Ocean, Arabian Seas, East Africa and East Asian Seas. *Great Barrier Reef marine park Authority world bank and world conservation union (IUCN), Washington DC.* 147p.
- KENCHINGTON R.A., 1988. Managing reefs and interreefal environments and resources for sustained exploitative, extractive and recreational uses. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Coral. Reef. Symp.* 1 : 81-87.
- KULBICKI M., 1988a. Correlation between catch data from bottom longline and fish census in the south-west lagoon of New Caledonia. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Coral reef Symp.* 2 : 305-312.
- KULBICKI M., 1988b. Pattern in the trophic structure of fish populations across the SW lagoon of New Caledonia. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Coral Reef Congr., Townsville.* 2 : 89-94.
- KULBICKI M. & WANTIEZ L., 1990. Comparison between fish bycatch from shrimp trawlnet and visual census in St. Vincent Bay. New Caledonia. *Fish Bull US.* 88 : 667-675.
- KULBICKI M., BARGIBANT G., MENOUE J.L., MOU THAM G., THOLLOT P., WANTIEZ L. & WILLIAMS J., 1994. Evaluation des ressources en poissons du lagon d'Ouvéa. *Convention Sci. Mer. Biol. Mar. ORSTOM Nouméa* 31 : 448p.
- LEENHARDT M.M., 2000. Exemple de coopération internationale en matière de protection des AMPs, l'accord RA.MO.GE. *Colloque sur les Aires Marines Protégées en Méditerranée du 09 au 11 novembre 2000.*
- LETOURNEUR Y., 1992. Dynamique des peuplements ichthyologiques des platiers récifaux de l'île de la Réunion. *Thèse Univ. Aix-Marseille II,* 244p.

- LETOURNEUR Y., HARMELIN-VIVIEN M. & GALZIN R., 1993. Impact of hurricane firinga on fish community structure on fringing reefs of Reunion Island, S.W. Indian Ocean. *Env. Biol. Fish* 37 : 109-120.
- LETOURNEUR Y., CHABANET P., VIGLIOLA L. & HARMELIN-VIVIEN M., 1998. Mass settlement and post-settlement mortality of *Epinephelus merra* (Pisces Serranidae) on Reunion coral reef. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 78 : 307-319.
- LIESKE E., & MYERS R.F., 1994. Guide des poisons des récifs coralliens. *Delachaux et Niestlé Ed.* 400p.
- LUBCHENCO J. & WARNER R., 2001. Citing of no-take areas, scientists call for new networks of marine reserve. *MPA news*. 8 (2) : 4.
- MACDIARMID A.B. & BREEN P.A., 1993. Spiny lobster population change in a marine reserve. In Battershill et al. (eds) *Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Temp. Reef Symp.* 1992. NIWA Marine Wellington.
- MACPHERSON E., BIAGI F., FRANCOUR P., GALZIN R., GAMBACCINI S., GARCIA-RUBIES A., GORDOA A., HARMELIN J.G., HARMELIN-VIVIEN M., JOUVENEL J.Y., LEDIREAC'H L., MARIANI L., PLANES S., TUNESI L., VACCHI H., VIGIOLA L., ZAZZETTA M., 1996. Studies on Mediterranean fishes : settlement and mortality patterns in protected and unprotected areas. *EU DG XIV, Rapport final MED/92/007* : 246p.
- McCLANAHAN T.R., 1989. Kenyan coral reef-associated gastropod fauna : a comparison between protected and unprotected reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 53 : 11-20.
- McCLANAHAN T.R., 1994. Kenyan coral reef lagoon fish : effects of fishing, substrate complexity, and sea urchins. *Coral Reefs*. 13 : 231-241.
- METE K., GARNIER R., BIGOT L., NAIM O. & QUOD J-P., 2001. Suivi de l'état de santé des récifs coralliens de la Réunion, année 2000. Rapport ARVAM/ECOMAR pour le compte du Parc Marin Réunion.
- MILON J.W., BAKER P.B., BOHNSACK J., CAUSEY B.D., COLOSI P., KOENIG G.G., LEVITAN R.R. PROULX E., THOMSAS S. & WHITROCK F.C., 1999. Marine reserve technical document. *Scoping document for the Gulf of Mexico Fishery management council*. Document internet ([gulf.council@gulfcouncil.org](mailto:gulf.council@gulfcouncil.org)).
- MONTAGGIONI L., 1978. Recherche géologiques sur les complexes récifaux de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien Occidental). *Thèse es sciences, Univ. Aix-Marseille II*, 212p.
- MONTAGGIONI L. FAURE G., 1980, Les récifs coralliens de la Réunion. *Coll. Trv. Centre Univ., Univ. Fr. O. Indien*, 151p.
- MORENO C.A., SUTHERLAND J.P. & JARA H.J., 1984. Man as a predator in the intertidal zone of southern Chile, *Oikos*. 42 : 155-160.

- MORENO C.A., LUNECKE K.M. & LEPEZ M.I., 1986. The response of an intertidal *Concholepas concholepas* (Gastropoda) population to protection from man in southern Chile and the effects on benthic sessile assemblages. *Oikos*. 46 : 359-364.
- MOUTON P., 1999 .Quand les réserves font leur effet. *Océan* 26 : 26-30.
- MUNRO J.L. & FAKAHAU S.T., 1993. Management of coastal fishery resources. In Wright A., Hill L. (Eds) Nearshore marine resources of the South Pacific. *Forum Fisheries Agency, Honiara*. : 55-72.
- MUNRO J.L., PARRISH J.D. & TALBOT F.H., 1987. The biological effects of intensive fishing upon coral reef communities. In : Human impacts on coral reefs : facts and recommendations, *Salvat B. Ed. Antenne Muséum EPHE publ.* Polynésie française : 41-49.
- NAIM O., 1994. Structure des communautés benthiques et eutrophisation en milieu corallien. In : Environnement en milieu tropical, Coudray J, et Bougerra M.L. *Eds. ESTEM, Paris* : 99-104.
- NOWLIS J.S. & ROBERTS C.M., 1997. You can have your fish and eat it, too : theoretical approach to marine reserves design. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym.* 2 : 1907-1910.
- PDT (plan development team), 1990. The potential of marine fishery reserves for reef fish management in the U.S. Southern Atlantic. *NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFC-261* : 40p.
- PITON B., 1992. Variation du niveau moyen de la mer à la Réunion. Causes et Conséquences. *Bull. Oceanographie et Pêche, La Réunion*, 23 : 8p.
- POLUNIN N.V.C., 1990. Marine regulated areas : an expanded approach for the tropics. *Ressourcs Manag. Optimisation*. 7 : 283-299.
- POLUNIN N.V.C. & ROBERTS C.M., 1993. Grater biomass and value of target coral reef fishes in two small Caribbean marine reserves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 100 : 167-176.
- RANDALL J.E., 1982. Tropical marine sanctuaries and their significance in reef fisheries research. In : The biological bases for reef fishery management. *Proc. Workshop, Oct. 1980, St Thomas, U.S. Virgin Islands, NOAA Tech? Memo.* 167-178.
- RISK M.J., 1972. Fish diversity on a coral reef in the Virgin Islands. *Atoll Res. Bull.* 153 : 1-4.
- RISK M.J. & RISK A.C., 1997. Reef survey as an aid in management. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym.* 2 : 1471-1474.
- ROBERT E.J., 1998. Tropical marine reserves should encompass spawning aggregation sites. *PARKS marine protected areas IUCN* 8 (2) : 53-54.
- ROBERTS C.M., 1995. Rapid build-up of fish biomass in a Caribbean marine reserve. *Cons. Biol.* 9 (4) : 816-826.

ROBERTS C.M., 1998. Permanent no-take zone : a minimum standard for effective marine protected areas. *Coral reef*. 96-100.

ROBERTS C.M. & POLUNIN N.V.C. 1991. Are marine reserves effective in management of reef fisheries? *Rev. Fish Biol. Fisher.* 1: 65-91.

ROBERTS C.M. & POLUNIN N.V.C., 1992. Effect of marine reserve protection on Northern Red Sea fish population. *Pro. 7<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym., Guam.* 2 : 969-977.

ROBERTS C.M. & HAWKINS J.P., 1997. How small can marine reserve be and still be effective ? *Coral Reefs* 16 : 150.

ROBERTSONS J., 1998. Effectiveness of temporary reef closures to replenish reef fish stocks in the Great Barrier Reef. *Int. Trop. Mar. Eco. Management Symp.* 147-154.

ROWLEY R.J., 1992. Impact of marine reserve on fisheries : a report and reviews of the literature. Wellington, New Zealand. Department of conservation. 50p.

ROWLEY R.J., 1994. Marine reserve in fisheries management. *Aquat. Cons. – Mar. Freshw. Ecol.* 4 : 233-254.

RUSS G.R., 1985. Effects of protective management on coral reef fishes in the Central Philippines. *Proc. 5<sup>th</sup> Int. Coral Reef Cong., Tahiti.* 4 : 219-224.

RUSS G.R., 1991. Coral reef fisheries : effects and yield. In Sale P.F. (Ed.) *The ecology of fish on coral reefs.* Academic Press, San Diego, U.S.A. : 601-635.

RUSS G.R. & ALCALA A.C., 1989. Effects of intense fishing pressure on an assemblage of coral reef fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 56 : 13-27.

RUSS G.R., ALCALA A.C. & CABANBAN A.S., 1992. Marine reserves and fisheries management on coral reef with preliminary modelling of the effects on yield per recruit. *Pro. 7<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym., Guam.* 2 : 978-985.

RUSS G.R. & ALCALA A.C., 1994. Sumilon reserve : 20 years of hopes and frustrations. *NAGA the ICLARM Quartely july 1994* : 8-12.

RUSS G.R. & ALCALA A.C., 1996a. Do marine reserves export adult fish biomass? Evidence from Apo Island, Central Philippines. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 132 (1) : 1-9.

RUSS G.R. & ALCALA A.C., 1996b., Marine reserves : rates and patterns of recovery and decline in abundance of large predatory fish. *Ecological Applivation.* 6 (3) : 947-961.

SALA E., 1997. The role of fishes in the organisation of a Mediterranean sublittoral community. II. Epifaunal communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 212 : 45-60.

SALA E GARRABOU I. & ZABALA M., 1992. Erosio de la comunitat coralligena de les illes Medes : els briozous *Sertella sptentrionalis* i *pentapora fascilis*. *Seguiment temporal de la reserva marina de les illes Medes. Informme anual (any 1992).* Universitat de Barcelona, Departament d'Ecologia publ., Berceclona : 113-140.

SHAPIRO D.Y., 1987. Tropical Snappers and groupers. Biology and fisheries management. (Eds) Polovina J.J. and Ralston S. Westview Press. : 295-327.

SLAM R.V & CLARK J.R., 1984., Marine and coastal protected areas : a guide for planners and managers. Ed IUCN. 302p.

SLUKA R., CHIAPPONE M., SULLIVAN K.M. & WRIGHT R., 1997. The benefits of marine fishery for nassau grouper *Epinephelus striatus* in the Central Bahamas. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym. 2* : 1961-1964.

SMITH L.M.P., 1988. Effect of observer swimming speed on sample counts of temperate rocky reef fish assemblages. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 43 : 223-231.

SMITH L.M.P., BELL J.D. & MAPSTONE B.D., 1997. Testing the use of a marine protected area to restore and manage invertebrate fisheries at the Arnavon Islands, Solomon Island : choice of methods and preliminary results. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym. 2* : 1937-1942.

THOLLOT P., 1999. Caractérisation des communautés marines et suivi des peuplements ichtyologiques des îlots du Parc du Lagon Sud placés en réserve. *Rapport de Monsieur Thollot.* 99p.

TOMASSONE R., DERVIN C. & MASSON J.P., 1993. Modélisation de phénomènes biologiques, *Masson Ed.*, 10 : 205-223.

UNEP/IUCN., 1988. Coral reefs of the world, vol 2 Indian Ocean, Red Sea and Gulf. *Wells SM, Sheppard D (eds) UNEP Regional seas directories and bibliographies. IUCN Publication services, Gland and Cambridge. UNEP Nairobi.* 389p.

VERON J.E.N., 1993. Corals of Australia and the Indo-Pacific. *University of Hawaii Press Ed.* 644p.

WANTIEZ L. & THOLLOT P., 1994. Caractéristiques générales des communautés de poissons récifaux du Gand Nouméa et des îlots du Parc du Lagon Sud. Province Sud de la Nouvelle Calédonie. 101p.

WANTIEZ L., THOLLOT P. & KULBICKI M., 1997. Effects of marine reserves on coral reef fish communities from five islands in New Caledonia. *Coral Reef.* 16 : 215-224.

WATSON M., ORMOND R.F.G. & HOLLIDAY L., 1997. The role of Kenya's marine protected areas in artisanal fisheries management. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym. 2* : 1955-1960.

WELLS S.M., 1997. Capacity building for science and management in Belize : toward sustainable reef management. *8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym. 2* : 1991-1994.

WILKINSON C.R. & CHOU L.M., 1997. The role of science in the establishment and management of marine protected areas in Southeast Asia. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym. 2* : 1949-1954.

WHITE A.T., 1986. Marine reserve : how effective is management strategies for Philippines, Indonesian and Malaysian coral reef environment ? *Ocean Management* 10 : 137-159.

ZELLER D.C. & RUSS G.R., 1998. Marine reserves : patterns of adult movement on the coral trout (*Plectropomus leopardus*) (Serranidae). *Can. J. Fish. Aqu. Sci.* 55 (4) : 917-924.

# Annexes

Annexe 1 : Schéma synthétique de l'Effet Réserve

Annexe 2 : Paramètres étudiés dans quelques exemples de réserves marines en milieu corallien

Annexe 3 : Fiches de collecte de données pour le suivi de l'Effet Réserve

Annexe 4 : Expérimentation sur les pièges à poulpe (*Octopus ssp*)

Annexe 5 : Exercices d'entraînement pour la réalisation du suivi ichthyologique de l'Effet Réserve

Annexe 6 : Codification pour les différents types de substrat benthique

Annexe 7 : Liste des espèces ichthyologiques cibles sélectionnées pour le suivi du Scénario 1

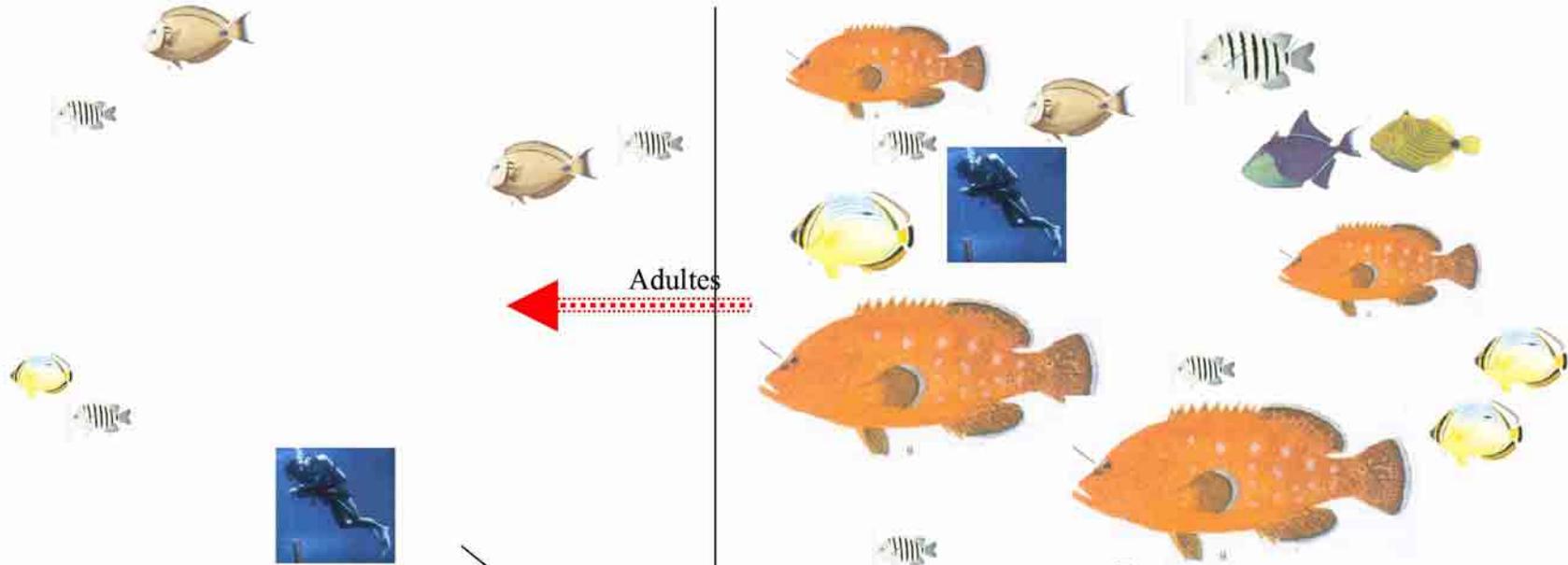
Annexe 8 : Investissement temporel pour la réalisation du suivi de l'Effet Réserve

Annexe 9 : Glossaire à l'attention des personnes non familières avec le vocabulaire écologique

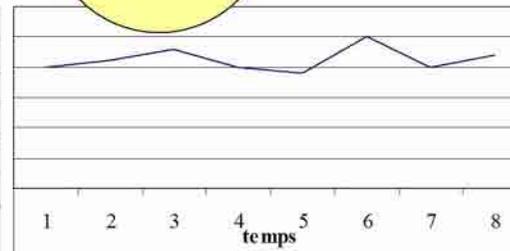
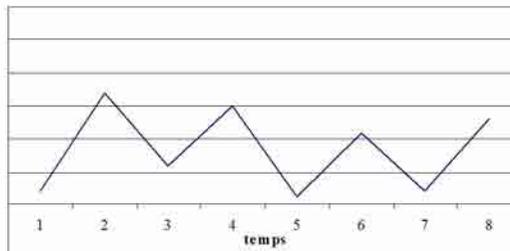
# Annexe 1 : Schéma synthétique de l'Effet Réserve

# Zone non protégée

# Réserve marine



|                           |   |
|---------------------------|---|
| Abondance                 | - |
| Diversité                 | - |
| Taille                    | - |
| Biomasse                  | - |
| Reproduction              | - |
| Comportement de fuite     | + |
| Comportement reproducteur | - |
| Occupation de l'espace    | - |
| Émigration                | - |
| Pressions de pêche        | + |
| Pressions tourisme        | - |



Variation de l'abondance et de la diversité au cours du temps



|                           |   |
|---------------------------|---|
| Abondance                 | + |
| Diversité                 | + |
| Taille                    | + |
| Biomasse                  | + |
| Reproduction              | + |
| Comportement de fuite     | - |
| Comportement reproducteur | + |
| Occupation de l'espace    | + |
| Émigration                | + |
| Pressions de pêche        | - |
| Pressions tourisme        | + |

Annexe 2 : Paramètres étudiés dans  
quelques exemples de réserves marines  
en milieu corallien

Ces données sont extraites du site Internet : [http://als.dms.state.fl.us/~fdd/noaa\\_fmri.html](http://als.dms.state.fl.us/~fdd/noaa_fmri.html)

#### FLORIDA KEYS NATIONAL MARINE SANCTUARY

- abondance et taille des poissons
- type substrat, type d'habitat, profondeur des échantillonnages, pourcentage de recouvrement corallien
- visibilité
- profondeur
- température

Fréquence d'échantillonnage : 1/an mais pour quelques sites particuliers 4/an

#### DRY TORTUGAS NATIONAL PARK

- type d'habitat
- visibilité
- profondeur
- température, composition du substrat (pourcentage en corail vivant, mort, octocoralliaires ect...)
- nombre de poissons par espèce
- taille des poissons
- biomasse des poissons
- oxygène dissous
- PH
- Salinité

Fréquence d'échantillonnage : 1/an

#### LOOE KEY NATIONAL MARINE SANCTUARY KEY LARGO NATIONAL MARINE SANCTUARY BISCAYNE NATIONAL PARK

- richesse spécifique corallienne
- diversité corallienne
- abondance relative des différents substrats
- pourcentage de recouvrement corallien

#### FLORIDA KEYS NATIONAL MARINE SANCTUARY

- recouvrement corallien
- taille des mérous
- température
- richesse spécifique des poissons
- biomasse algale
- densité des mérous

#### MARINE COASTAL CONSERVATION PROJECT FOR SAN SALVADOR ISLAND

- stock de poissons (évolution des prises, abondance et diversité)
- recouvrement corallien

# Annexe 3 : Fiches de collecte de données pour le suivi de l'Effet Réserve

## PE1 : Suivi des paramètres environnementaux

|                  |
|------------------|
| <b>Date :</b>    |
| <b>Site :</b>    |
| <b>Station :</b> |
| <b>Suivi :</b>   |

**Observateur :**

|                    | Surface | Fond |
|--------------------|---------|------|
| <b>Température</b> |         |      |
| <b>Salinité</b>    |         |      |
| <b>O2</b>          |         |      |

|              |  |
|--------------|--|
| <b>Marée</b> |  |
|--------------|--|

**Nébulosité**

|              |                     |                |                |                     |
|--------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|
| <b>Clair</b> | <b>Lég. Nuageux</b> | <b>Nuageux</b> | <b>Couvert</b> | <b>Très couvert</b> |
|--------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|

**Vent**

|              |                     |                    |                    |
|--------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Calme</b> | <b>Petite brise</b> | <b>Jolie brise</b> | <b>Bonne brise</b> |
| < 1nd        | 1-6 nd              | 7-16nd             | 17-21nd            |

**Direction**

|                 |           |           |
|-----------------|-----------|-----------|
| <b>Pas vent</b> | <b>N</b>  | <b>S</b>  |
|                 | <b>NE</b> | <b>SO</b> |
|                 | <b>E</b>  | <b>O</b>  |
|                 | <b>SE</b> | <b>NO</b> |

**Etat mer**

|              |              |                   |               |              |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|--------------|
| <b>calme</b> | <b>belle</b> | <b>peu agitée</b> | <b>agitée</b> | <b>forte</b> |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|--------------|

**Visibilité**

|                       |                   |              |                    |                 |
|-----------------------|-------------------|--------------|--------------------|-----------------|
| <b>Exceptionnelle</b> | <b>Excellente</b> | <b>Bonne</b> | <b>Assez bonne</b> | <b>Mauvaise</b> |
| >20m                  | 10-20m            | 5-10m        | 2-5m               | <2m             |

**Courant surface**

|                    |               |              |             |
|--------------------|---------------|--------------|-------------|
| <b>Pas courant</b> | <b>Faible</b> | <b>Moyen</b> | <b>Fort</b> |
|--------------------|---------------|--------------|-------------|

**Courant fond**

|                    |               |              |             |
|--------------------|---------------|--------------|-------------|
| <b>Pas courant</b> | <b>Faible</b> | <b>Moyen</b> | <b>Fort</b> |
|--------------------|---------------|--------------|-------------|

| Espèces                             | [ 1 - 5 ] | [ 6 - 10 ] | [ 11 - 20 ] | [ 21 - 25 ] | [ 26 - 30 ] | [ 31 - 35 ] | [ 36 - 40 ] | [ 41 - 50 ] | [ 51 - 55 ] | [ 56 - 60 ] | Autres |
|-------------------------------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| <i>Cephalopholis argus</i>          |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Cephalopholis nigripinnis</i>    |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Epinephelus hexagonatus</i>      |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Epinephelus merra</i>            |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Epinephelus fasciatus</i>        |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Lutjanus kasmira</i>             |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Monotaxis grandoculis</i>        |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Gnathodentex aureolineatus</i>   |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Mulloidichthys flavolineatus</i> |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Mulloidichthys vanicolensis</i>  |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Parupeneus barbenirus</i>        |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Parupeneus bifasciatus</i>       |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Chaetodon trifasciatus</i>       |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Halichoeres scapularis</i>       |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Ctenochaetus striatus</i>        |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Naso unicornis</i>               |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Scarus sp</i>                    |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     | [ 1 - 3 ] |            | [ 4 - 6 ]   |             | [ 7 - 9 ]   |             | [ 10 - 12 ] |             |             |             | autres |
| <i>Dascyllus aruanus</i>            |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|                                     |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| <i>Stegastes ssp</i>                |           |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |









## Annexe 4 : Expérimentation sur les pièges à poulpe (*Octopus ssp*)

Durant l'étude pilote, il est nécessaire de tester différents pièges avec différents types d'appâts.

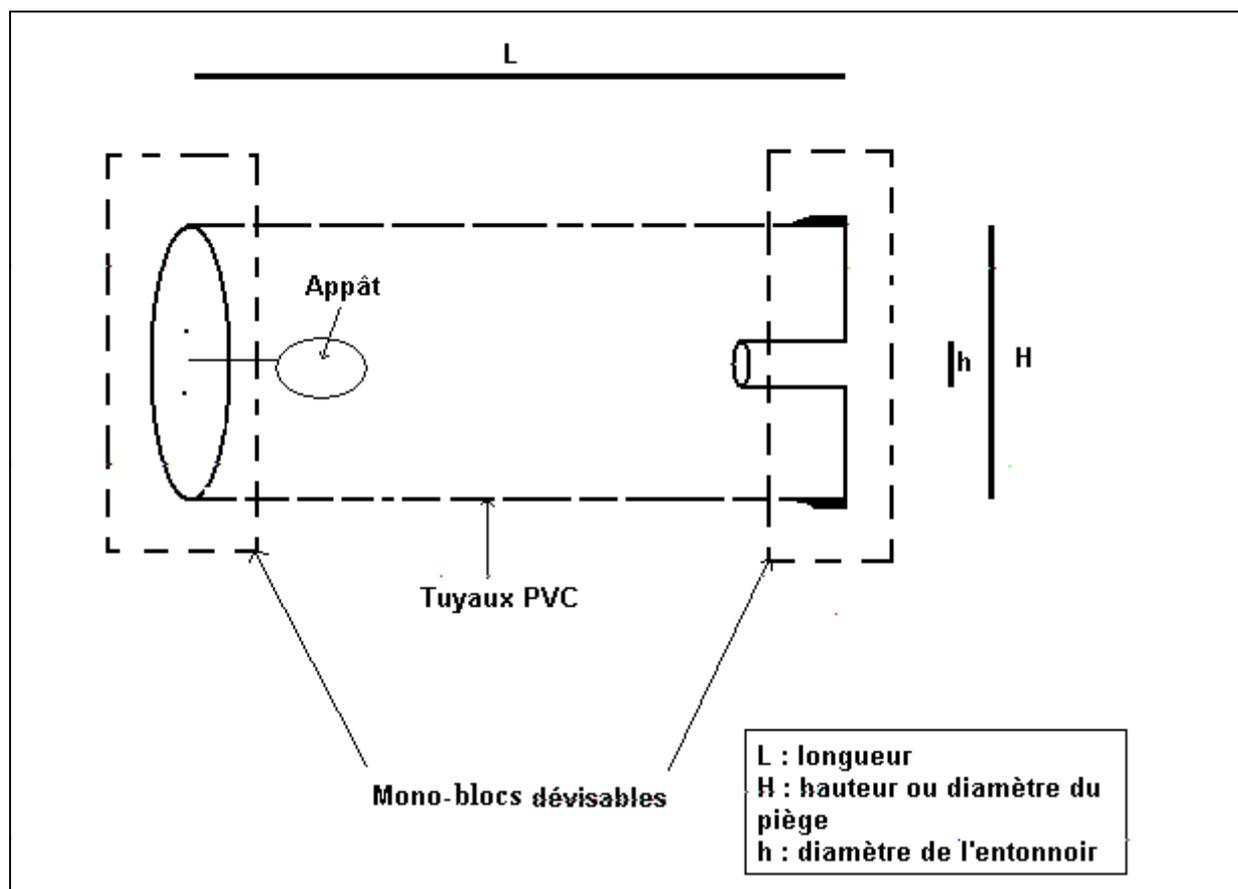
Les premiers pièges testés sont réalisés à partir de tuyaux en PVC (perforés de manière à faciliter la récolte des pièges) de diamètre et de longueurs variables (voir schéma général). Une des extrémités du tuyau est fermée et comporte un dispositif pour la fixation de l'appât. L'autre extrémité doit être en forme d'entonnoir afin de limiter la capture des appâts par d'autres espèces indésirables. Plusieurs types d'appâts peuvent être expérimentés (se baser sur le régime alimentaire du zourite) avec notamment des crustacés (crabe congelé) ou des poissons.

Les pièges sont lestés et fixés au fond (dépression d'arrière récif, platier et pente externe). Ils sont dans un premier temps posés en fin d'après midi et vérifiés régulièrement à partir du lendemain matin (le zourite ayant une activité essentiellement nocturne, il semble judicieux de laisser ces pièges durant la nuit). Si des individus sont capturés, leur nombre et leur poids sont alors notés. Les pièges sont ré alimentés en appât si ces derniers ont disparus.

L'échantillonnage doit d'abord suivre un cycle lunaire pour identifier d'éventuelles liaisons, puis sur une période plus grande en prenant en compte les résultats obtenus.

Si les pièges testés n'affichent pas de bon rendement, il serait intéressant d'utiliser d'autres types, avec des matériaux différents (céramique, etc.).

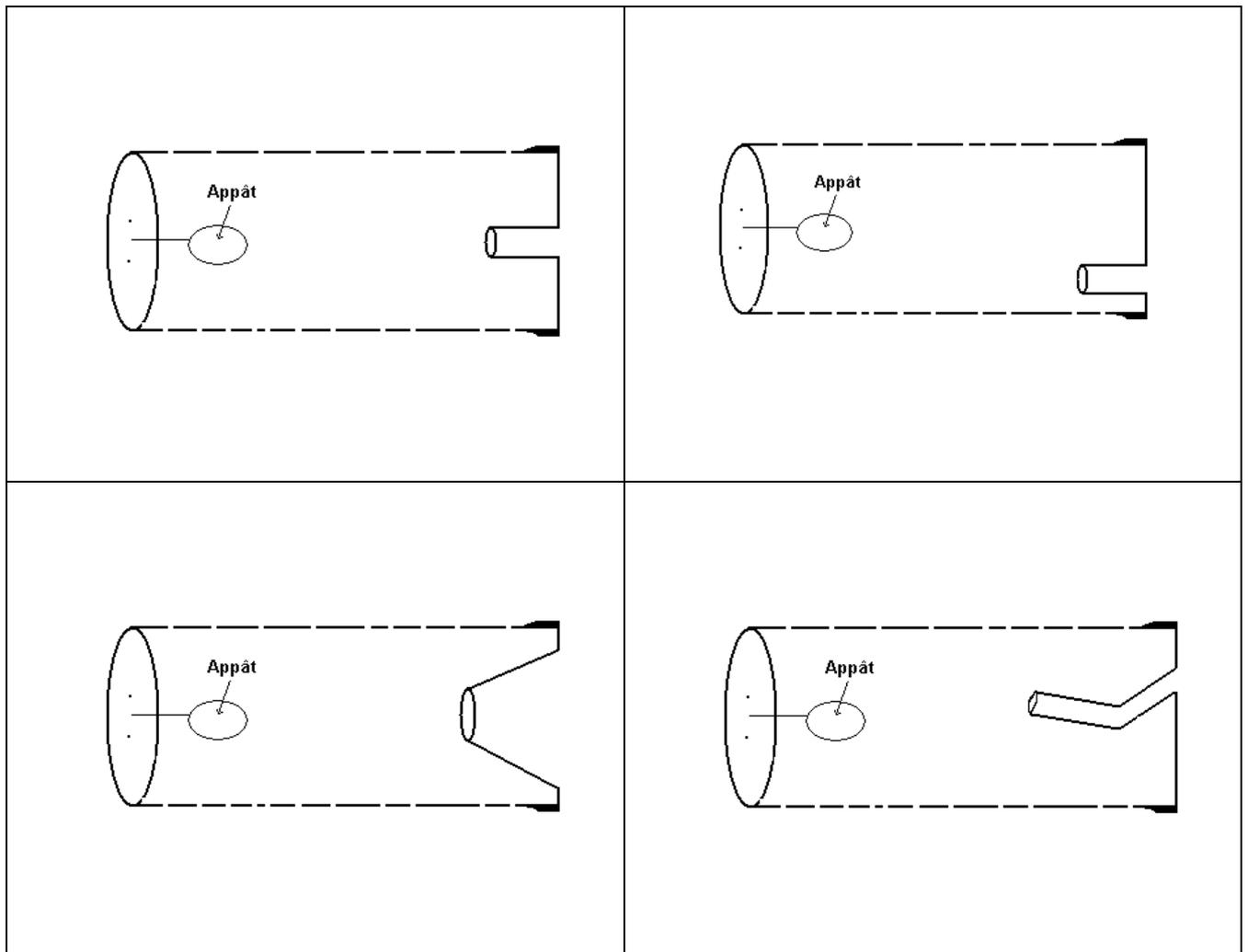
#### Schéma général d'un piège expérimental :



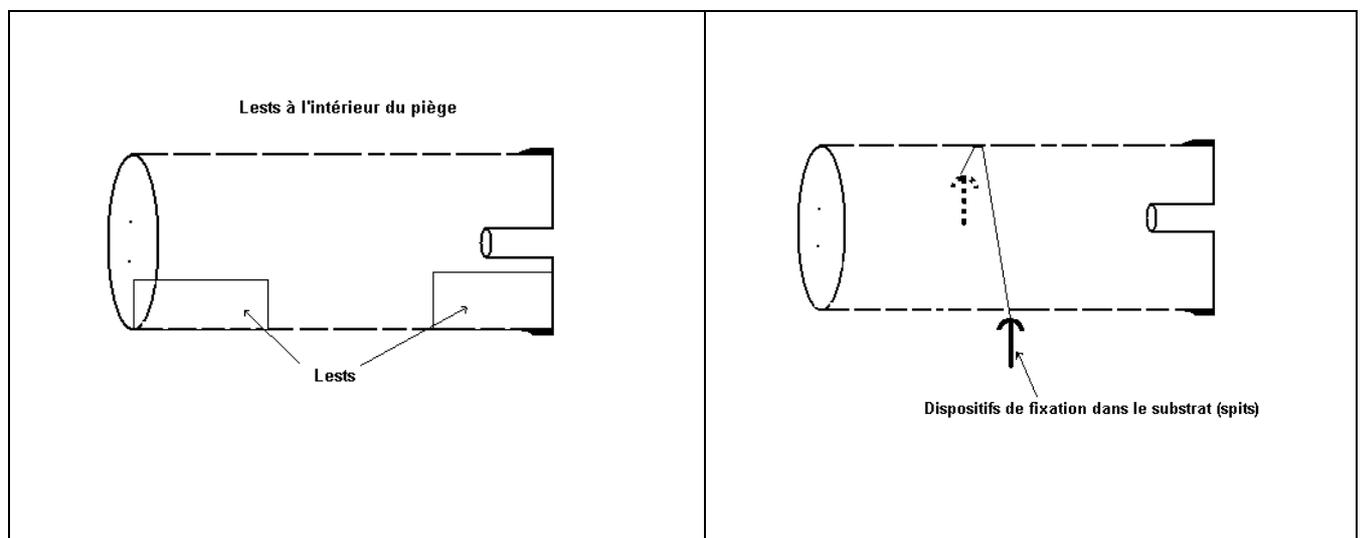
**L, H, h et la nature de l'appât sont des paramètres qu'il convient de tester en les faisant varier afin d'optimiser la capture.**

**Problèmes éventuels et dispositions prises en conséquence :**

- Limiter la prédation des appâts par d'autres espèces récifales



- Dispositifs pour la fixation des pièges



**Annexe 5 : Exercices d'entraînement pour  
la réalisation du suivi ichtyologique  
de l'Effet Réserve**

## Estimation de la taille des poissons sous l'eau

Cet entraînement est nécessaire car sous l'eau la taille des objets est augmenté (1,5 fois plus grand) par un phénomène de déformation dû au masque.

La taille des espèces cibles étant un paramètre incontournable de suivi de l'Effet Réserve, un effort particulier doit être réalisé pour l'entraînement des plongeurs responsables de la mission P1. Ils devront s'entraîner en même temps. Belle *et al.* (1985) montrent que la capacité d'un plongeur à estimer la taille des poissons sous l'eau diminue si celui-ci n'a pas pratiqué pendant 6 mois. Un entraînement régulier semble donc indispensable à la bonne réalisation de cette estimation.

Matériel nécessaire : 30 modèles de poissons ou plus de taille variant de 2 à 60 cm avec la taille exacte inscrite au dos

L'entraînement se réalise en trois étapes. Il nécessite le travail simultané de 2 personnes : 1 testé et 1 testeur.

### Phase 1 :

Elle est destinée à fournir des références aux plongeurs.

Le testeur présente différents modèles de poissons sous l'eau. Le testé se maintient sous l'eau à une distance de 3 m du testeur et estime la taille du modèle. Après chaque estimation, le testeur retourne le modèle afin de dévoiler sa taille réelle. Cette opération est répétée jusqu'à ce que les observateurs soient performants dans l'estimation de la taille des poissons sous l'eau (erreur de l'ordre de 5 cm).

Les plongeurs inversent ensuite les rôles.

### Phase 2 :

Le test se déroule selon la même méthode que l'entraînement.

Le testeur présente des modèles de tailles différentes et le testé note la taille des modèles sur la fiche suivante :

|        |         |         |         |         |         |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 – 5  | 6 -10   | 11 - 15 | 16 – 20 | 21 - 25 | 26 – 30 |
|        |         |         |         |         |         |
| 31 –35 | 36 - 40 | 41 - 45 | 46 - 50 | 51 - 55 | 56 – 60 |
|        |         |         |         |         |         |

Au moins 5 modèles pour chaque classe de taille doivent être présentés au testé. L'efficacité du testé est évaluée en utilisant un test du  $X^2$ . L'observateur sera apte à réaliser les suivis lorsque son résultat sera satisfaisant c'est à dire lorsque le test statistique ne détectera pas de différence significative entre les tailles réelles et estimées. D'un point de vue statistique, la non détection de différences significatives entre les valeurs observées et réelles par le test ne signifie pas que ces valeurs sont égales. Il permet néanmoins d'écarter les observateurs qui effectuent des estimations fortement erronées et peut être alors perçu comme l'évaluation minimale pour la réalisation des estimations de la taille des poissons sous l'eau.

La précision des estimations, facteur intéressant, peut aussi être évaluée précisément pour chaque plongeur.

Phase 3 :

Elle consiste en un test selon les conditions réelles d'échantillonnage.

Les 2 plongeurs réalisent simultanément sur le même transect un échantillonnage selon le protocole du scénario 1 et les résultats sont comparés statistiquement (test  $X^2$ ).

## **Reconnaissance des espèces ichtyologiques**

La reconnaissance des espèces de poissons étant relativement malaisée, un apprentissage théorique dans divers ouvrages (Lieske et Myers, 1994, Myers, 1999) est nécessaire mais doit être complété par des entraînements *in situ*. Il est important que les personnes devant acquérir ces compétences se familiarisent avec le milieu pour, dans un premier temps, déterminer les espèces dominantes, et ensuite affiner leurs capacités de reconnaissance. Ces entraînements doivent se réaliser sur l'ensemble épirécifal et sur la pente externe car les peuplements ichtyologiques n'y sont pas similaires et de nombreuses espèces se rencontrent préférentiellement sur l'une ou l'autre de ces parties du récif.

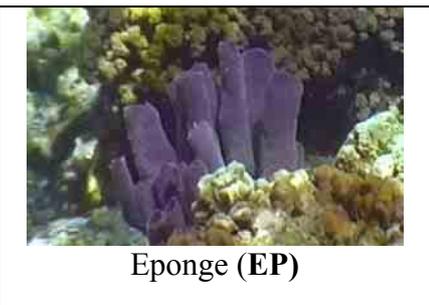
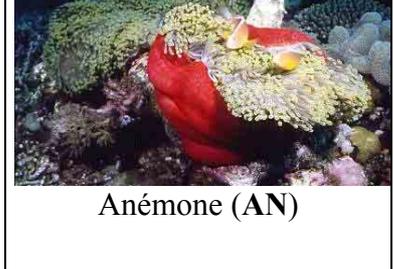
L'utilisation d'une caméra sous-marine peut être d'un grand intérêt pour parfaire cet entraînement. Une collaboration préliminaire avec l'Aquarium de Saint-Gilles et l'Université de la Réunion doit être envisagée pour accroître la faculté de reconnaissance des responsables. Des visites régulières en groupes permettent une communication objective et adoucissent les difficultés d'identification des espèces.

Les observateurs doivent s'évaluer mutuellement de manière régulière en identifiant les poissons sur les films sous-marins, à l'Aquarium et en réalisant des comptages comparés sur les mêmes transects.

# Annexe 6 : Codification pour les différents types de substrat benthique

Tableau résumant les types de substrats benthiques qui peuvent être rencontrés, leur codification et des images représentatives (d'après Conand *et al.*, 1997). Les images sont en grande partie issue du CD rom de présentation du suivi de l'état de santé des récifs.

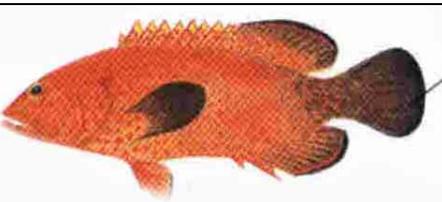
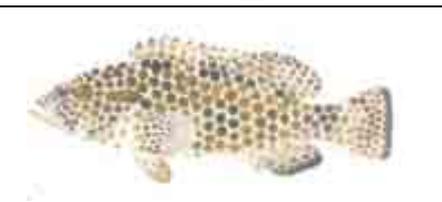
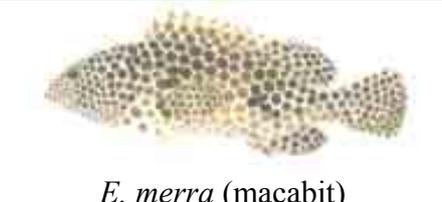
|  |  |  |
|--|--|--|
|   |  <p><i>Acropora spp.</i><br/>(ECOMAR O. Naim)</p> |    |
| <p><b>Corail mort (CX)</b><br/>Préciser si possible :<br/>mortalité récente, couleur,<br/>débris</p>                                 | <p><b>Corail vivant (CV)</b><br/>Opposé au corail Mort</p>   | <p><b>Acropore branchu (ACB)</b><br/>Avec des branches secondaires</p>   |
|  <p><i>Acropora digitifera</i><br/>(Co-ARVAM)</p>  |    |   |
| <p><b>Acropore digité (ACD)</b><br/>Pas de branches secondaires</p>  | <p><b>Acropore submassif (ACS)</b><br/>Robuste avec branches peu<br/>digitées</p>  | <p><b>Acropore tabulaire (ACT)</b><br/>Grands plateaux horizontaux</p>   |
|  <p><i>Seriatopora hysdrix</i><br/>(Co-ARVAM)</p> |   |  <p><i>Echinopora lamellosa</i><br/>(Co-ARVAM)</p> |
| <p><b>Non-acropore branchu (CB)</b><br/>Avec des branches<br/>secondaires</p>  | <p><b>Non-acropore encroûtant<br/>(CE)</b><br/>Grande part attachée au<br/>substrat</p>  | <p><b>Non-acropore foliacé (CF)</b><br/>Apparence de feuille</p>   |
|   |   |    |
| <p><b>Non-acropore massif (CM)</b><br/>Forme massive ressemblant<br/>à un rocher</p>   | <p><b>Non-acropore submassif<br/>(CS) Petites colonies sans<br/>digitations</b></p>  | <p><b>Corail libre (CL)</b><br/>Corail solitaire</p>   |

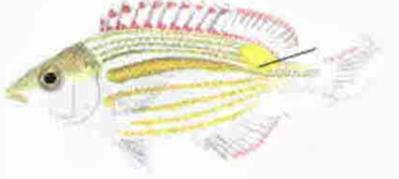
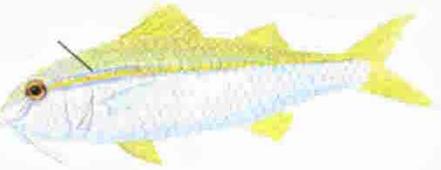
|   |   |  |
|---|---|--|
|    |    |    |
| <p>Millepore (Mi)<br/>Corail de feu</p>   | <p>Corail mou (CMO)</p>   | <p>Eponge (EP)</p>   |
|    |    |    |
| <p>Zoanthaires (ZO)</p>   | <p>Oursin (OU)</p>  | <p>Acanthaster (AP)</p>  |
|   |   |   |
| <p>Autres étoile de mer (ET)</p>  | <p>Anémone (AN)</p>   | <p>Bénitier (BE)</p>   |
|  |  | <p>Autres organismes benthiques (OT)</p>   |
| <p>Gastéropode (GA)</p>   | <p>Holothurie (HO)</p>  | <p>Autres organismes benthiques (OT)</p>   |
| <p>Algue calcaire (AC)</p>  |  |  |
| <p>Algue calcaire (AC)</p>  | <p>Algue dressée (AD)</p>   | <p>Algue gazonnante (AG)</p>   |

|                                |   |   |
|--------------------------------|---|---|
| Assemblage algal ( <b>AA</b> ) |  | Vase ( <b>VA</b> )  |
| Sable ( <b>SA</b> )            | <b>Débris (DEB)</b><br>Taille centimétrique et<br>décimétrique                    | <b>Bloc rocheux (BL)</b><br>Taille décimétrique et métrique |

**Annexe 7 : Liste des espèces ichthyologiques  
cibles sélectionnées pour le suivi  
du Scénario 1**

Tableau synthétique décrivant les espèces ichthyologiques cibles, leurs images, quelques éléments de connaissance biologique et leurs intérêts dans le cadre du suivi de l'Effet Réserve (d'après Lieske et Myers, 1994).

| Espèce   | Ecologie  |
|--|---|
|  <p><i>Cephalopholis argus</i> (Prude)<br/>Serranidae<br/>40 cm</p>         | <p>Milieu de vie : lagons et pentes externes (1 – 40 m). Surtout dans les eaux claires et les zones coralliennes florissantes.<br/>Comportement : les juvéniles vivent habituellement dans des zones protégées couvertes d'herbier de phanérogame.<br/>Régime alimentaire : carnivore (piscivore).<br/>Intérêt : espèce d'intérêt halieutique.</p>  |
|  <p><i>C. urodeta</i> (cuisinier)<br/>Serranidae<br/>27 cm</p>              | <p>Milieu de vie : lagons et pentes externes (1 – 40 m). Surtout dans les eaux claires et les zones coralliennes florissantes.<br/>Régime alimentaire : carnivore nocturne (piscivore essentiellement mais consomme occasionnellement des crustacés).<br/>Intérêt : espèce d'intérêt halieutique.</p>   |
|  <p><i>C. sonnerati</i> (rouge ananas)<br/>Serranidae<br/>57 cm</p>       | <p>Milieu de vie : lagons profonds et pentes externes (12 à 150 m).<br/>Comportement : les juvéniles se tiennent près des éponges et des massifs coralliens.<br/>Régime alimentaire : carnivore nocturne (piscivore).<br/>Intérêt : espèce d'intérêt halieutique.</p>   |
|  <p><i>Epinephelus hexagonatus</i> (macabit)<br/>Serranidae<br/>26 cm</p> | <p>Milieu de vie : platiers externes, lagons aux eaux claires et pentes externes. Habituellement à moins de 6m.<br/>Régime alimentaire : carnivore nocturne.<br/>Intérêt : espèce d'intérêt halieutique.</p>  |
|  <p><i>E. merra</i> (macabit)<br/>(Serranidae)<br/>31 cm</p>              | <p>Milieu de vie : eaux peu profondes des lagons et pentes externes abritées, jusqu'à 50 m.<br/>Comportement : espèce sédentaire et solitaire. Se regroupe en période de reproduction.<br/>Reproduction : espèce qui change de sexe avec l'âge (femelle puis mâle).<br/>Régime alimentaire : carnivore nocturne (poissons et crustacés).<br/>Intérêt : espèce très pêchée à la Réunion. Son attachement à un site spécifique et sa croissance relativement lente le rend très vulnérable à la pêche. Il est un bon indicateur de la pression de pêche sur les platiers de la Réunion.</p> |

|  |   |
|--|---|
|  <p><i>Variola louti</i> (rouge grand queue)<br/>(Serranidae)<br/>31 cm</p>           | <p>Milieu de vie : zones coralliennes florissantes des lagons et pentes externes (1 à &gt; 150m).<br/>Régime alimentaire : carnivore (piscivore essentiellement mais consomme occasionnellement des crustacés).<br/>Intérêt : espèce d'intérêt halieutique.</p>   |
|  <p><i>Gnathodentex aureolineatus</i><br/>(karandine)<br/>Lethrinidae<br/>24 cm</p>   | <p>Milieu de vie : platiers, lagons et pentes externes jusqu'à 30 m.<br/>Régime alimentaire : carnivore nocturne.<br/>Intérêt : espèce d'intérêt halieutique.</p>   |
|  <p><i>Monotaxis grandoculis</i> (gueule pavée)<br/>Lethrinidae<br/>60 cm</p>        | <p>Milieu de vie : zones sableuses des lagons et des pentes externes (1 à 100 m).<br/>Comportement : les juvéniles sont solitaires. Les adultes peuvent former des bancs.<br/>Régime alimentaire : carnivore nocturne.<br/>Intérêt : espèce d'intérêt halieutique.</p>  |
|  <p><i>Mulloidichthys flavolineatus</i> (Capucin carême)<br/>Mullidae<br/>43 cm</p> | <p>Milieu de vie : sable des lagons et des pentes externes (0 à 35 m)<br/>Comportement : seul ou en groupe.<br/>Régime alimentaire : carnivore nocturne.<br/>Intérêt : cette espèce fait l'objet d'une pêche ayant une forte portée sociale. Les recrues sont pêchées de manière saisonnière dans les lagons. Le suivi des populations de capucins carêmes suite à la mise en place d'une réserve est un moyen de tester l'efficacité de la réserve comme outil de gestion de cette pêche en déclin.<br/>Espèces semblables : <i>M. vanicolensis</i> mais possède une tache noire caractéristique et un museau plus long.</p> |
|  <p><i>M. vanicolensis</i> (Capucin jaune)<br/>Mullidae<br/>38 cm</p>               | <p>Milieu de vie : platiers, lagons et pentes externes jusqu'à 113 m<br/>Comportement : en groupe inactif le jour, se disperse la nuit sur le sable pour se nourrir.<br/>Régime alimentaire : carnivore nocturne.<br/>Intérêt : espèce souvent pêchée en même temps que <i>M. flavolineatus</i> lors de la pêche au capucin carême.<br/>Espèces semblables : <i>M. flavolineatus</i>.</p>   |

|  |  |
|--|--|
|  <p><i>Parupeneus barberinus</i> (Capucin galet)<br/>Mullidae<br/>60 cm</p>   | <p>Milieu de vie : sable des platiers, lagons et pentes externes jusqu'à 100 m.<br/>Comportement : par petits groupes dans la journée.<br/>Régime alimentaire : carnivore diurne.<br/>Intérêt : espèce d'intérêt halieutique.</p>  |
|  <p><i>P. bifasciatus</i> (capucin manuel)<br/>Mullidae<br/>35 cm</p>         | <p>Milieu de vie : platiers, lagons et pentes externes jusqu'à 80 m. A l'abri des coraux et des rochers.<br/>Régime alimentaire : carnivore diurne. Se nourrit de crustacés le jour et de larves de poissons et de crabes la nuit.<br/>Intérêt : espèce d'intérêt halieutique.</p>   |
|  <p><i>Chaetodon trifasciatus</i><br/>Chaetodontidae<br/>15 cm</p>           | <p>Milieu de vie : sur des fonds coralliens riches des lagons peu profonds et des pentes externes semi-abritées (0 à 20 m).<br/>Comportement : habituellement en couple à territoire étendu.<br/>Régime alimentaire : brouteur d'invertébrés sessiles (polypes d'<i>Acropora</i>). Il est corallivore strict.<br/>Intérêt : de part son régime alimentaire spécialisé, cette espèce est un bon indicateur de l'état de santé du récif (Chabanet, 1994). Il est surtout présent dans des zones ayant une vitalité corallienne élevée.</p> |
|  <p><i>Scarus ssp</i> (ici <i>Scarus scaber</i> Perroquet)<br/>Scaridae</p> | <p>Milieu de vie : platiers, lagons et pentes externes.<br/>Régime alimentaire : herbivore. Broute le film algale poussant à la surface des rochers ou des coraux morts. Quelques espèces ingèrent aussi des algues charnues et des coraux vivants.<br/>Intérêt : espèces d'intérêt halieutiques.</p>  |
|  <p><i>Ctenochaetus striatus</i><br/>Acanthuridae<br/>26 cm</p>             | <p>Milieu de vie : platiers, lagons et pentes externes, jusqu'à 30 m. Zones rocheuses, coralliennes et détritiques.<br/>Comportement : solitaire ou grégaire (bancs souvent plurispécifiques).<br/>Régime alimentaire : herbivore.<br/>Intérêt : c'est une espèce d'intérêt halieutique à la Réunion et son abondance peu suggérer une prolifération algale.</p>   |

|  |   |
|--|---|
|  <p><i>Naso unicornis</i> (licorne)<br/>Acanthuridae<br/>70 cm.</p>             | <p>Milieu de vie : lagons et pentes externes (1 à 80 m), commun dans les zones de déferlement des vagues.<br/>Comportement : habituellement par groupe.<br/>Régime alimentaire : herbivore. Se nourrit principalement de macro-algues brunes.<br/>Intérêt : espèce d'intérêt halieutique</p>  |
|  <p><i>Dascyllus aruanus</i><br/>Pomacentridae<br/>8 cm</p>                     | <p>Milieu de vie : zones coralliennes abritées (0,5 à 20 m), il est associé aux coraux branchus du genre <i>Acropora</i> et <i>Pocillopora</i>. Surtout rencontré sur les platiers récifaux.<br/>Régime alimentaire : planctonophage diurne.<br/>Intérêt : cette espèce étant vivant parmi les coraux branchus, elle est indicatrice du bon état de santé du récif.</p>   |
|  <p><i>Stegastes ssp</i> (ici <i>Stegastes limbatus</i>)<br/>Pomacentridae</p> | <p>Milieu de vie : platiers récifaux, lagons et pentes externes.<br/>Comportement : territorial, extrêmement agressif et pugnace.<br/>Régime alimentaire : herbivore, plusieurs espèces enlèvent de leurs territoires les algues indésirables pour favoriser la croissance des autres espèces d'algues qu'ils préfèrent.<br/>Intérêt : espèces très abondantes sur les platiers de la Réunion. « Cultivant » leurs algues sur des coraux morts, ils peuvent indiquer un déséquilibre du milieu.</p> |
|  <p><i>Halichoeres scapularis</i><br/>Labridae<br/>20 cm.</p>                 | <p>Milieu de vie : par petits fonds dans les zones mixtes (sable, éboulis, algues, coraux) des lagons.<br/>Régime alimentaire : carnivore diurne.<br/>Intérêt : espèce d'intérêt halieutique.</p>   |

**Annexe 8 : Investissement temporel  
pour la réalisation du  
suivi de l'Effet Réserve**

Récapitulatif des différentes manipulations pour le suivi de l'Effet Réserve, l'estimation de leur durée et le personnel nécessaire.

| Suivi   | Fréquence                     | Nombre et qualification du personnel | Durée estimée pour une station | Durée estimée (en demi-journée) pour un site : suivi minimum / maximum* | Durée estimée (en demi-journée) pour un suivi sur la base de 9 sites : suivi minimum / maximum* | Investissement temporel (jours.homme/an) pour un suivi sur la base de 9 sites : suivi minimum / maximum* | Durée estimée pour le traitement de base des données sur la base de 9 sites : suivi minimum / maximum* |
|---|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---|---|--|--|
| SCENARIO 1  |                               |                                      |                                |   |   |  |  |
| Etude des paramètres environnementaux                               | Durant chaque échantillonnage | 1 : Aucune                           | 15 min                         | -   | -   | -  | -  |
| Etude du nombre et de la taille des espèces cibles                  | 1/an (février/mars)           | 2 : Responsable                      | 60 min                         | 3 / 6   | 27 / 54   | 27 / 54  | 8 h  |
| Etude de la richesse spécifique des poissons                        | 1/an (janvier/mars)           | 1 : Spécialiste                      | 40 min                         | 2 / 2   | 18 / 18   | 9 / 9  | -  |
| Etude du recouvrement des différents types de substrats             | 1/an (été)                    | 2 : Responsable                      | 60 min                         | 3 / 6   | 27 / 54   | 27 / 54  | 8 h  |
| Etude de la croissance, de la mortalité et du recrutement corallien | 1/an (été)                    | 2 : Responsable                      | 30 min                         | 2 / 2   | 18 / 18   | 18 / 18  | 135 h (1h/photo-quadrat)   |
| Etude de la richesse spécifique des coraux                          | 1/2 an                        | 1 : Spécialiste                      | 40 min                         | 2 / 2   | 18 / 18   | 4,5 / 4,5  | -  |
| Ensemble du Scénario 1 (sans regroupement des manipulations)        |                               |                                      | 4 h 5 min                      | 12 / 18   | 108 / 162   | 85,5 / 139,5   | -  |
| Ensemble du Scénario 1 (avec regroupement des manipulations)**      |                               |                                      | 4 h 5 min                      | 3 / 6   | 27 / 54   | 85,5 / 139,5   | 151 h  |
| SCENARIO 2  |                               |                                      |                                |   |   |  |  |
| Etude approfondie du peuplement ichtyologique                       | 1/an (Février/Mars)           | 1 : Spécialiste                      | 110 min                        | 3 / 6   | 27 / 54   | 27 / 54  |  |
| Etude approfondie du peuplement corallien                           | 1/an                          | 2 : Responsable                      | 10 à 60 min                    | 3   | 27  | 54   |  |
| Etude de pêche  | variable                      | variable                             | variable                       |   |   |  |  |

\* Le suivi minimum comprend 3 stations par site tandis que le maximum est basé sur 6 stations par site.

\*\* Les études du nombre et de la taille des espèces cibles, du recouvrement des différents types de substrats et de la croissance, de la mortalité et du recrutement corallien sur une station peuvent être réalisés durant la même demi-journée.

Pour le suivi du scénario 1 de l'Effet Réserve sur une base de 9 sites, l'investissement humain et temporel annuel correspond à moins de 15 journées entières de travail sur le terrain pour une équipe de 6 personnes. Cependant, le traitement des données récoltées est aussi une étape coûteuse en temps. La plupart des traitements de données peuvent être automatisées sur un tableur (Excel) pour le suivi du nombre et de la taille des espèces cibles ou en utilisant la base de données ARMDES-COI pour les transects benthos. Ceci permet de diminuer au maximum le temps nécessaire au traitement des données de ces deux manipulations. En revanche, le traitement des photo-quadrats demande un investissement temporel très élevé de 135 h pour un suivi minimum. Néanmoins, ce temps peut être diminué fortement si les photo-quadrats comprennent peu de colonies ou si la personne chargée du traitement des photographies est performante dans l'utilisation du logiciel de traitement d'image. Ces suivis se concentrent surtout durant la saison chaude, plus propice aux suivis écologiques à la Réunion (état de la mer généralement plus favorable).

**Annexe 9 : Glossaire à l'attention  
des personnes non familières avec  
le vocabulaire écologique**

Ce vocabulaire est couramment employé tout au long de ce rapport.

**Abondance (relative/absolue)** : paramètre quantitatif caractérisant une partie de la biocénose en estimant le nombre d'individus par unité de surface ou de volume. L'abondance absolue correspond à un dénombrement de l'ensemble de la biocénose. L'abondance relative est issue d'un échantillonnage d'une partie de la biocénose.

**Benthique** : relatif au benthos. Le benthos est l'ensemble des organismes aquatiques vivants au contact du sol ou à sa proximité immédiate.

**Biocénose** : Groupements d'êtres vivants (plantes, animaux) vivant dans des conditions de milieu déterminées et unis par des liens. La biocénose correspond à l'ensemble des êtres vivants d'un écosystème.

**Ecosystème** : Unité écologique fonctionnelle douée d'une certaine stabilité, constitué par l'ensemble des organismes vivants (biocénose) exploitant un milieu naturel déterminé (biotope). La notion d'écosystème intègre aussi les interactions des espèces entre elles et avec leur milieu.

**Espèce** : unité de base de la classification des êtres vivants.

**Ethologique** : relatif à l'éthologie qui est la science qui étudie le comportement animal.

**Ichtyologique** : relatif à l'ichtyologie qui est la science qui étudie les poissons.

**Peuplement** : ensemble des individus, de toutes les espèces confondues, présentant une écologie semblable et occupant un territoire à un moment donné.

**Population** : ensemble d'individu appartenant à une même espèce occupant un territoire à un moment donné

**Taxon** : vient de taxonomie qui est la discipline scientifique qui décrit et classe les espèces vivantes. Taxon est le terme employé lorsque l'on souhaite mentionner la position d'un être vivant dans le classement taxonomiste.