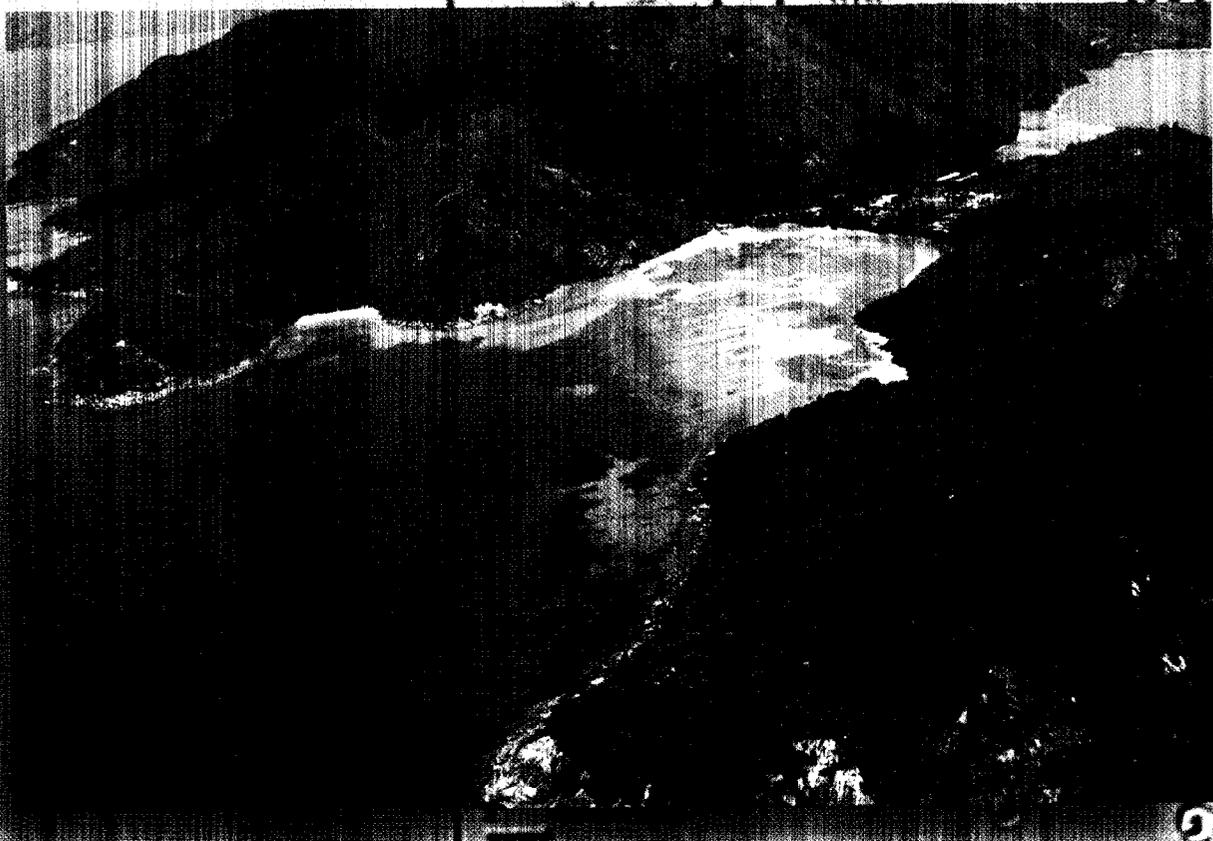




**GUIDE METHODOLOGIQUE
POUR L'ELABORATION
DE CARTES DE VULNERABILITE
DES ZONES COTIERES
DE L'OCEAN INDIEN**



LISTE DES AUTEURS

Lionel Bigot : ARVAM, 14 rue du Stade de l'Est, 97490 Ste Clotilde, La Réunion, France
Tel : 33 (0) 262 28 39 08 - fax : 33 (0) 262 28 08 81, e-mail : arvam@guetali.fr

Sophie Canovas : CREOCEAN, Antenne Languedoc-Roussillon, Les Athamantes,
740 avenue des Apothicaires, 34090 Montpellier, France
Tel : 33 (0) 4 99 23 31 67 - fax : 33 (0) 4 99 23 31 71, e-mail : canovas@creocean.fr

Jacques Denis : IFREMER, Laboratoire côtier, Direction de l'Environnement et de
l'Aménagement littoral, Centre de Toulon, BP 330, 83507, La Seyne-sur-mer Cedex, France
Tel : 33 (0) 94 30 48 20 - fax : 33 (0) 4 94 06 55 29, e-mail : jacques.denis@ifremer.fr

Eric Dutrieux : CREOCEAN, Antenne Languedoc-Roussillon, Les Athamantes,
740 avenue des Apothicaires, 34090 Montpellier, France
Tel : 33 (0) 4 99 23 31 66 ; 33 (0) 4 99 23 31 71, e-mail : dutrieux@creocean.fr

Yves Hénocque : IFREMER, Laboratoire côtier, Direction de l'Environnement et de
l'Aménagement littoral, Centre de Toulon, BP 330, 83507, La Seyne-sur-mer Cedex France
Tel : 33 (0) 94 30 49 07 - fax : 33 (0) 4 94 06 55 29, e-mail : yves.henocque@ifremer.fr

Jean-Pascal Quod : ARVAM, 14 rue du Stade de l'Est, 97490 Ste Clotilde, La Réunion, France
Tel : 33 (0) 262 28 39 08 - fax : 33 (0) 262 28 08 81, e-mail : arvam@guetali.fr

Références du document :

E. Dutrieux, S. Canovas, J. Denis, Y. Hénocque, J.P. Quod et L. Bigot, 2000 :
Guide méthodologique pour l'élaboration de cartes de vulnérabilité des zones côtières de l'Océan Indien
Réalisé par Créocéan, Ifremer et Arvam pour le compte de l'UNESCO/IOC et le PRE-COI/UE

COI Manuels et Guides n°38

Maquette : Christophe Aichelmann, infographie & cartographie

Photographie : Eric Dutrieux

Impression : Aqualog Edition

Sommaire

Préface et remerciements	2	
Introduction	5	
Principes méthodologiques	7	
Les étapes de la démarche	9	
Etape 1 : Découper le littoral en unités géomorphologiques		9
Etape 2 : Le recueil des données		11
Etape 3 : Représentation cartographique des données brutes		17
Etape 4 : Les notions de sensibilité et de risques		21
Etape 5 : Restituer les résultats de l'étude		25
Etudes de cas	27	
Cas n°1 : Zones marines peu profondes de l'île de Mahé aux Seychelles		27
Cas n°2 : Gestion du littoral de l'île de la Réunion		34



Préface & Remerciements

AVANT-PROPOS

La coopération entre les pays ACP et l'Union Européenne attache une importance particulière à la protection de l'environnement et à la préservation et restauration des équilibres naturels dans les Etats ACP. En ce qui concerne plus particulièrement la région de l'Océan Indien, l'Union Européenne intervient dans plusieurs domaines, soit bilatéralement, soit dans le cadre de la coopération régionale à travers le Programme Régional Environnement (PRE), pour la promotion d'une politique de gestion durable des ressources naturelles, et notamment celles des zones côtières.

Protéger l'environnement tout en garantissant un niveau de vie adéquat aux populations de ces Etats insulaires, en particulier celles vivant dans les zones côtières, requiert non seulement une approche qui prend en compte l'aspect socio-économique mais aussi des politiques rationnelles pour l'exploitation des ressources de manière à assurer leur durabilité à long terme pour le bénéfice des futures générations. Aussi, pour ce faire les décideurs ont besoin des données viables qui ne peuvent être collectées, traitées et analysées qu'à travers des systèmes d'information d'aide à la décision dont fait partie la méthodologie décrite dans ce guide.

Il est à espérer que ce guide méthodologique, issu de l'expérience régionale, renforcera d'avantage les liens de coopération entre les Etats insulaires de cette partie de l'Océan Indien et qu'il sera un précurseur pour d'autres outils de ce type.

GERD JARCHAW

Chef de la Délégation, Union Européenne en République de Maurice

La Délégation de l'Union Européenne : St. James Court, Rue St. Denis, Port Louis, BP 1148, République de Maurice

Tél. : 2116295 - Fax : 2116624 - E-mail : europe@bow.intnet.mu

La Commission de l'Océan Indien (COI), qui est composée des Comores, France/Réunion, Madagascar, Maurice et Seychelles, a pour objectif général de favoriser le développement économique, social et culturel de ces Etats membres de façon concertée, intégrée et durable. Ces Etats insulaires font face à des problèmes communs, parmi lesquels l'urbanisation, l'accumulation des déchets et l'accroissement des pollutions, l'érosion côtière, la gestion de l'eau en quantité et qualité. Par ailleurs, il est nécessaire pour ces Etats d'anticiper les effets probables du changement climatique afin de pouvoir s'y adapter à temps et de façon efficiente, notamment en ce qui concerne l'aménagement des zones côtières, où se concentrent les populations et les activités économiques et industrielles. L'ensemble de ces facteurs présente aux décideurs un défi de planification à moyen et long terme.

Dans cette perspective, la Commission de l'Océan Indien met en œuvre une politique régionale ayant pour objet de soutenir et de compléter les efforts des Etats membres pour promouvoir sur leur territoire un développement durable, entre autres par une gestion intégrée des zones côtières. La promotion des méthodes et des outils harmonisés sur des sujets d'intérêt commun en matière de gestion intégrée des zones côtières et la proposition des solutions opérationnelles appropriées aux problèmes identifiés sont des thèmes forts de cette politique régionale.

L'édition du présent ouvrage par le Programme Régional Environnement de la COI, en partenariat avec l'UNESCO, s'inscrit dans cet esprit d'échange de connaissance et d'expérience qui a été mise au point avec le concours de l'expertise de la région COI. Il sera, sans nul doute, un outil précieux pour les acteurs intervenant dans le domaine de la gestion durable des ressources des Etats membres de la COI.

CAABI ELYACHROUTU MOHAMED

Secrétaire Général, Commission de l'Océan Indien

Secrétariat Général de la COI : 4, Avenue Guy Forget, Quatre Bornes, République de Maurice

Tél. : 4259564 - Fax : 4252709 - E-mail : coi7@bow.intnet.mu

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce guide pédagogique a été rendu possible grâce à un cofinancement de la Commission Océanographique Intergouvernementale de l'UNESCO et du Programme Régional Environnement de la Commission de l'Océan Indien (PRE-COI/UE) financé par Union Européenne. Il a été élaboré par le bureau d'étude CREOCEAN pour le compte du PRE-COI/UE.

Nous remercions toutes les personnes et institutions qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation. Nos remerciements vont également aux réalisateurs des photos qui les ont gracieusement mis à notre disposition.

Préface & Remerciements

Fort de son expérience acquise lors de la réalisation, en partenariat avec l'IOC-UNESCO, de l'Atlas de sensibilité des zones marines peu profondes de Mahé aux Seychelles (1998), le Programme Régional Environnement de la COI a décidé de vulgariser sous forme pédagogique le processus d'élaboration des cartes de sensibilité et de vulnérabilité des zones côtières, à priori dans les îles de l'Océan Indien, mais qu'il espère s'avérerait également utile pour d'autres Etats insulaires dans d'autres parties du monde. Ce qui se veut être, avant tout, un outil de gestion intégrée des zones côtières, et vise l'harmonisation et la diffusion d'une méthodologie peu onéreuse et facilement assimilable.

L'approche méthodologique adoptée a pour objectif la présentation d'une démarche simplifiée basée sur :

- l'analyse de l'existant et la définition des besoins (analyse bibliographique, cartographique et photographique) ;
- l'acquisition des données (levées topographiques, photos aériennes, plongées sur transect) permettant de réaliser des diagnostics environnementaux ;
- la compilation, la typologie, et l'analyse de l'ensemble des données permettant leur représentation cartographique.

La connaissance du milieu, en conséquence la disponibilité des données fiables, est fondamentale pour une prise de décision judicieuse en ce qui concerne l'utilisation optimale, donc durable, des ressources qui s'y trouvent. Si les cartes de l'espace terrestre jusqu'au littoral existent depuis de nombreuses décennies dans les Etats membres de la COI, dans la majorité des cas, il n'en est pas de même pour les zones côtières – interface hautement sensible entre le littoral et la mer. D'où l'intérêt évident de développer un système d'information géographique qui, lui-même, sera intégré dans un système d'informations d'aide à la décision plus étendu. La vulgarisation de ces méthodes sous forme de guide constitue l'une des priorités du Programme dans sa démarche d'appui aux programmes nationaux et fait suite à ses nombreux acquis méthodologiques.

Le Programme Régional Environnement espère, qu'à part son application pédagogique, que ce guide méthodologique trouvera un usage pratique auprès des décideurs et des acteurs intervenant dans le milieu côtier.

SOLOHERY ANDRIANKOVA RAKOTOVAO
Directeur Régional, Programme Régional Environnement de la COI

La Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO (COI/UNESCO) s'attache depuis quarante ans à promouvoir la recherche marine scientifique et les services océanographiques associés en vue de mieux comprendre et gérer les ressources des océans et zones côtières à travers les actions concertées de ses membres. C'est à travers ces différents programmes régionaux, et son programme consacré à la gestion intégrée des zones côtières (IOC/ICAM), que la Commission s'efforce de renforcer la production, la collecte et l'échange de données scientifiques sur l'océan Indien dans le but de permettre à ses états membres l'élaboration de plan de gestion intégrée des zones côtières. C'est dans ce cadre qu'en 1997, à la demande du Gouvernement des Seychelles, l'IOC/UNESCO et le PRE-COI/UE, reconnaissant la complémentarité de leurs programmes, se sont engagés dans la préparation de l'Atlas de sensibilité des zones peu profondes de Mahé. Ce type d'outil apporte des éléments d'informations essentiels pour l'évaluation de la sensibilité des écosystèmes côtiers aux activités humaines.

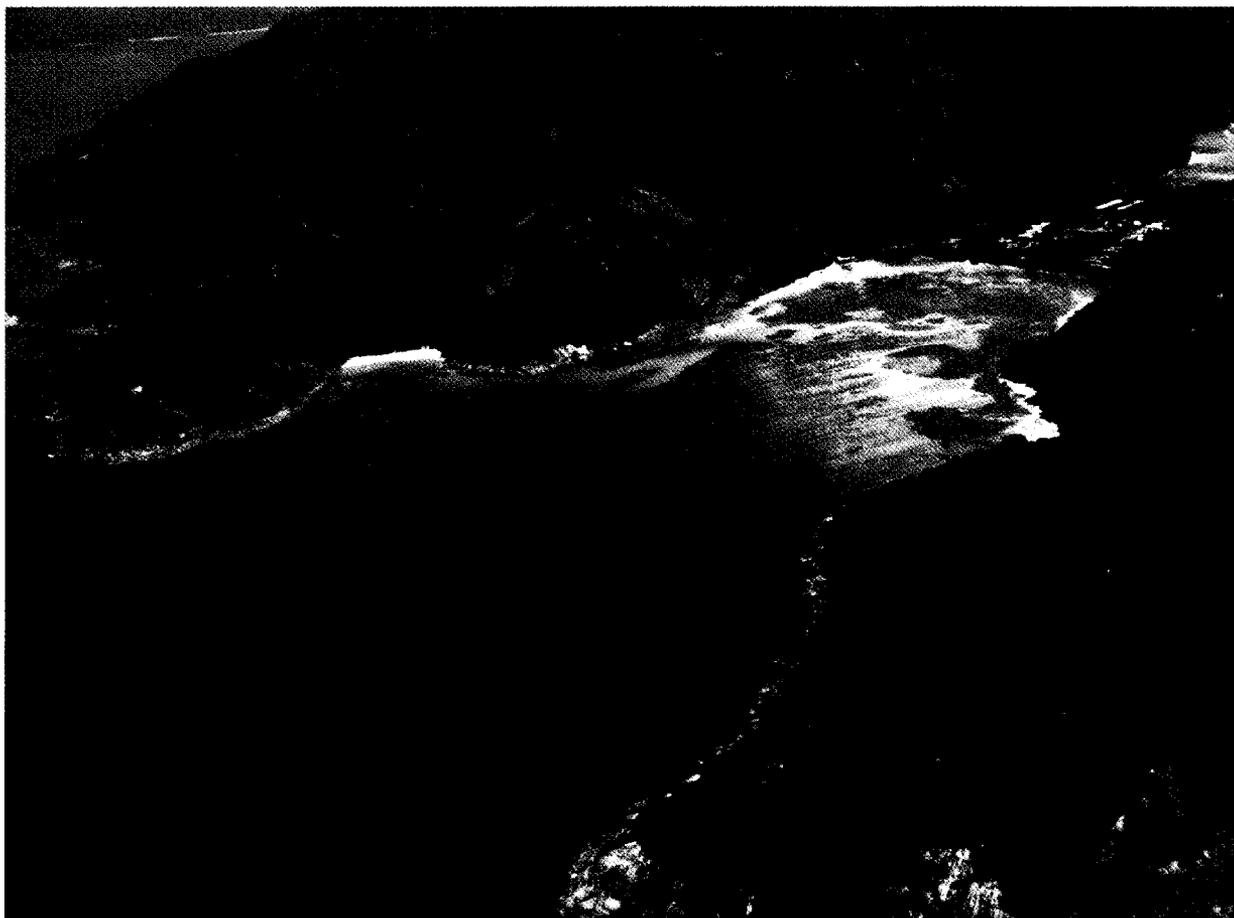
Dans un souci de partager cette expérience avec les autres états insulaires et côtiers de la région et de rendre accessible la méthodologie développée dans le cadre de l'Atlas, l'IOC/UNESCO, en partenariat avec le PRE-COI/UE, a décidé d'entreprendre la réalisation de ce guide méthodologique.

De plus en plus de pays dans la région de l'océan Indien mettent en place des politiques environnementales proactives, à travers l'adoption de plan d'action nationale. Face à cette volonté politique, il est important de s'assurer qu'une expertise locale se développe et puisse répondre à la demande des décideurs. Une approche cartographique étape par étape telle qu'elle est proposée dans ce guide assistera les autorités de ces pays en charge de la gestion de la zone côtière à former le personnel nécessaire en vue de la compilation de ces cartes. L'IOC/UNESCO continuera sa mission dans la région tant dans le domaine de la formation en sciences marines que dans la mise en œuvre de programmes opérationnels en fournissant des bases d'informations et de données marines solides, au service de la planification locale et régionale.

PATRICIO BERNAL
Secrétaire exécutif de la IOC, Sous-Directeur général de l'UNESCO
IOC/UNESCO : 1, rue Miollis, 75732 Paris Cedex 15, France
Tel.: (1)45683983 - Fax: (1)45685812 - E-mail: p.bernal@unesco.org



Introduction



*Baie Ternay : l'un des sites les plus remarquables de l'île de Mahé aux Seychelles.
Un important patrimoine écologique attire plongeurs et plaisanciers dans cet espace protégé.*

Introduction

La zone côtière est un espace résolument complexe du fait de sa situation à l'interface entre terre et mer et en tant que lieu préférentiel de nombreuses formes de développement.

Les enjeux socio-économiques et écologiques dont elle est l'objet et les conflits qu'elle génère imposent un besoin croissant de gestion plus globale, prenant en compte les milieux, leurs ressources et les activités qui s'y développent.

Pour les îles du sud-ouest de l'Océan Indien, la gestion intégrée de la zone côtière est devenue un objectif prioritaire. Pour le satisfaire, les démarches adoptées sont fortement structurées, notamment autour de la question de la gestion de l'information.

En effet, la gestion d'un milieu requiert une connaissance de base importante sur sa structuration, son fonctionnement et ses usages ainsi que des moyens d'analyse et de restitution des problèmes rencontrés pour identifier les solutions à apporter.

C'est dans ce sens que la prise en compte de la gestion de l'information en général et de sa représentation cartographique en particulier trouve toute sa justification. L'enjeu est effectivement de maîtriser l'utilisation de données nombreuses et variées pour apporter des solutions opérationnelles aux problèmes de gestion. Un outil conçu pour cette tâche doté d'une fonction dédiée à la cartographie, est donc essentiel au processus de mise en œuvre de la gestion des zones côtières.

L'objectif de ce guide est de proposer une démarche méthodologique complète, permettant d'aboutir à une base de données et à un outil cartographique d'aide à la décision. Il est illustré par deux études de cas réalisées dans la région, notamment dans le cadre du Programme Régional de l'Environnement de la Commission de l'Océan Indien financé par l'Union Européenne (PRE-COI/UE).



Principes méthodologiques



Les grandes gorgones constituent à la fois un élément du patrimoine écologique, un paysage sous-marin remarquable et un véritable attrait pour les plongeurs.

Les zones où elles prospèrent sont donc considérées comme sensibles. (La Réunion)

Principes méthodologiques

Les principes méthodologiques qui prévalent dans cette approche de la cartographie reposent sur :

- Une définition conceptuelle des cartes de vulnérabilité sur la base des notions de sensibilité et de facteurs de risque,
- L'élaboration opérationnelle de ces cartes, mises en œuvre quels que soient les objectifs recherchés.
- L'utilisation spécifique de ces cartes par application de protocoles permettant d'atteindre divers objectifs prédéfinis.

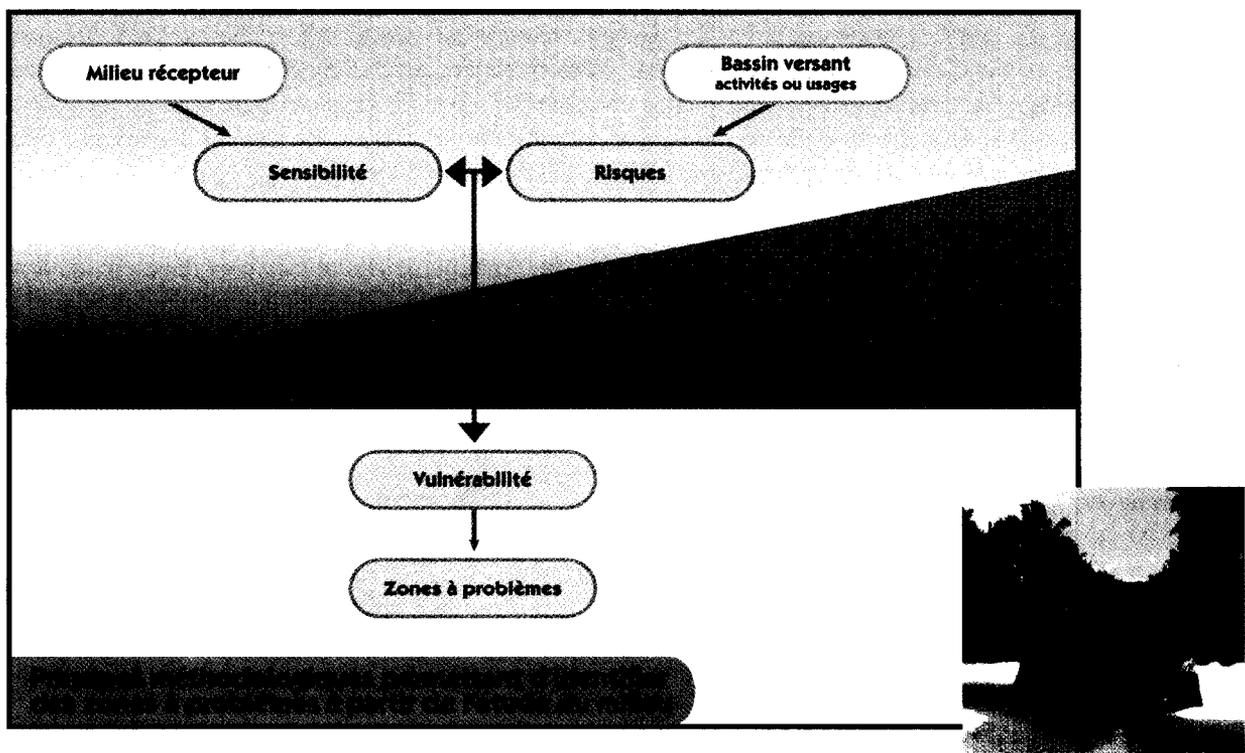
1. Définition conceptuelle des cartes

Le contenu des cartes vise à représenter les réactions du milieu naturel marin sous l'effet des activités humaines développées sur le bassin versant proche. Ces réactions s'expriment directement en fonction de la **sensibilité** du milieu récepteur et des facteurs de **risques** existant en amont sur le bassin versant.

- La sensibilité est fonction des caractéristiques intrinsèques du milieu et varie selon ses spécificités. Elle est définie par la capacité du milieu à subir des altérations compte tenu de sa richesse (ou biodiversité) et de sa capacité à résister à un stress (résilience).

- Le risque est fonction des activités que l'homme mène en zone côtière et varie selon les types d'actions développés. Les facteurs engendrant des risques de dégradation proviennent notamment de diverses nuisances ou apports polluants, des aménagements du littoral, de la surexploitation des ressources, etc., mais ils peuvent également être liés à des facteurs naturels, éventuellement aggravés par l'action de l'homme (apports terrigènes).

La prise en compte de la sensibilité des milieux et des risques qu'ils encourent conduit à mettre en évidence des zones à problèmes, dites «vulnérables».



Principes méthodologiques

2. Elaboration des cartes

Une zone vulnérable est donc une zone **à la fois** sensible et soumise à des risques. Son degré de vulnérabilité est fonction des degrés respectifs de sensibilité et de risque.

Les degrés de sensibilité et de risque sont des données de synthèse issues d'un travail de transformation de données brutes choisies comme étant les plus représentatives. La représentation cartographique de ce travail est élaborée à plusieurs niveaux :

- Niveau 1 :
cartes descriptives du milieu au travers de ses composantes naturelles (paramètres physiques et biologiques) et anthropiques (paramètres socio-économiques relatifs aux activités génératrices de risques),
- Niveau 2 :
cartes de sensibilité et de risque issues de l'interprétation des paramètres précédents selon un code couleur correspondant à une échelle croissante de valeurs,
- Niveau 3 :
cartes de vulnérabilité des zones à problèmes issues du croisement des deux types de cartes du niveau précédent.

3. Utilisations spécifiques des cartes

Les protocoles d'utilisation de ces cartes vont dépendre des objectifs définis en début d'étude. Les principaux objectifs peuvent être résumés de la manière suivante :

- Préservation de l'environnement sous-marin : la carte de sensibilité permet d'identifier les zones à plus fortes valeurs patrimoniales devant être protégées en priorité. En cas de menace avérée sur ces zones (carte de risque), des actions visant à la réduire sont proposées. L'identification des zones à protéger, c'est à dire vulnérables dans le cas présent et des mesures correctives à entreprendre sur le bassin versant, permettent de définir les objectifs d'un éventuel Parc Marin (voir étude Mahé)

- Développement d'activités respectueuses de l'environnement : La carte des caractéristiques physiques et biologiques des fonds marins permet d'identifier d'une part les zones riches et remarquables et, d'autre part, les zones propices à la pratique de certaines activités (plongée sous-marine par exemple). En confrontant ces deux types de représentation, il est alors possible de mettre en évidence des secteurs à problèmes (conflits) où des mesures permettant d'allier le développement de certaines activités à la préservation des zones les plus fragiles.

- Mise en place d'un réseau de surveillance : La typologie des fonds marins et de la morphologie du littoral permettent de proposer un maillage pour la surveillance. La nature des variables suivies et mesurées dépendra du type d'agressions et des caractéristiques du milieu. Leur prise en compte simultanée fournit alors les éléments de stratégie optimaux (voir étude de cas n°1 puis n°2).

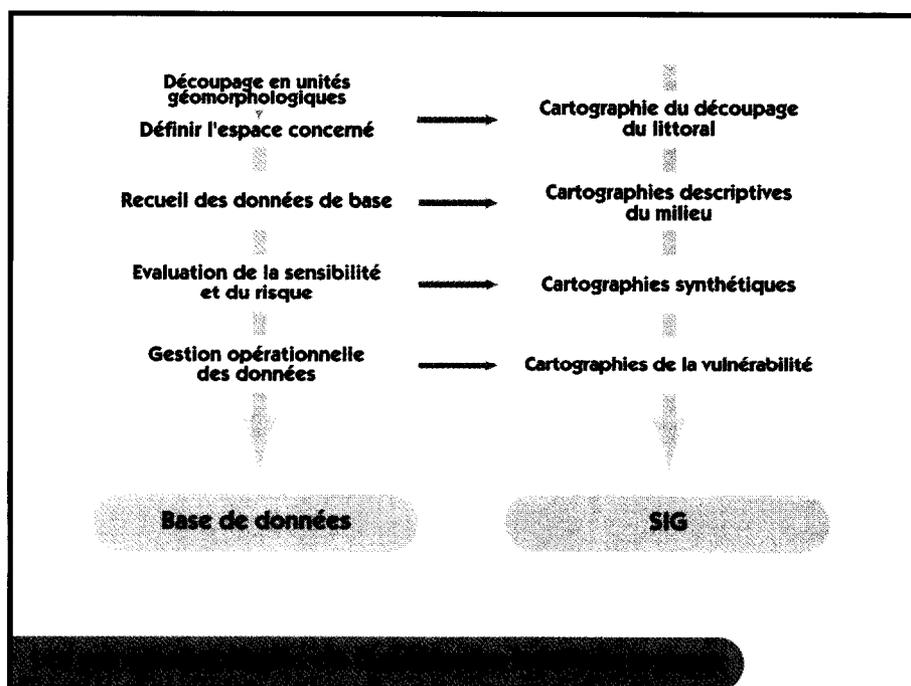
- Plan de gestion de la zone côtière : Cette problématique synthétise et intègre l'ensemble des objectifs définis précédemment. La superposition des cartes permet d'identifier des zones vulnérables qui sont à la fois sensibles et à risques. La représentation de telles situations permet alors de mieux apprécier les enjeux, de réaliser des diagnostics et d'élaborer enfin des scénarios préfigurant des solutions et les priorités d'intervention pour les mettre en application. Tous les éléments d'un plan de gestion sont alors réunis.



Réserve de la Passe en S (Mayotte)

Les étapes de la démarche

La réalisation des cartes de sensibilité et de risque implique de suivre une démarche structurée basée sur des principes d'organisation et de transformation des données qui entrent en ligne de compte. Cette démarche est constituée d'étapes clés, articulées comme suit :



Cette démarche aboutit à la constitution d'une base de données complète ainsi que d'un Système d'Information Géographique (SIG) associé qui les gère sous forme cartographique.

Étape 1 : Découper le littoral en unités géomorphologiques

Pourquoi un découpage ?

La délimitation de l'espace est une étape clé du processus de gestion intégrée de la zone côtière. Le découpage qui en découle est, en particulier, une tâche indispensable qui permet de guider et d'organiser la gestion proprement dite des données, depuis leur recueil jusqu'à leur représentation sous forme opérationnelle et synthétique, en terme de sensibilité et de risque. Ainsi, ce découpage offrira, pour chaque unité spatiale constituée, un cadre homogène pour y décliner ses principaux paramètres descripteurs au sein d'une fiche d'identité adaptée (voir étape suivante).

Comment découper le littoral ?

Le découpage s'opère à la fois longitudinalement par rapport au linéaire côtier et transversalement, de la côte vers le large.

La partie marine de la zone côtière est découpée sur la base d'un critère géomorphologique, voire écologique ou parfois administratif. Sur les îles où le littoral est linéaire, comme sur la majeure partie de l'Île de la Réunion, les zones s'identifient longitudinalement d'un cap à un autre cap ou à une ravine, en prenant soin de rechercher une cohérence géographique, voire écologique au travers de formations particulières,

Les étapes de la démarche : découpage du littoral

comme les récifs. Dans les zones où les récifs coralliens sont développés et délimitent des lagons, le découpage est plus complexe : dans un premier temps un découpage du trait de côte est réalisé selon les mêmes principes que précédemment. Dans un second temps, l'ensemble de la zone incluant le trait de côte et la barrière corallienne est pris en compte. L'examen de la carte bathymétrique doit alors permettre de fermer transversalement ces zones et de délimiter ainsi des bassins homogènes. La limite marine est fixée arbitrairement à la limite matérielle d'investigation du milieu, soit en moyenne à la profondeur de 15 à 20 mètres.

Choisir une échelle de découpage

Au moment d'entreprendre le découpage, il est nécessaire de définir une échelle ou une taille moyenne de ces zones. De ce choix dépendra le nombre final de zones obtenues et donc la précision du document opérationnel final. L'approche peut se faire progressivement en utilisant des cartes générales qui représentent l'ensemble du territoire étudié, duquel pourront être mises en évidence d'abord, les grandes unités morphologiques puis éventuellement les grandes unités écologiques qui pourront ou pas, être subdivisées.

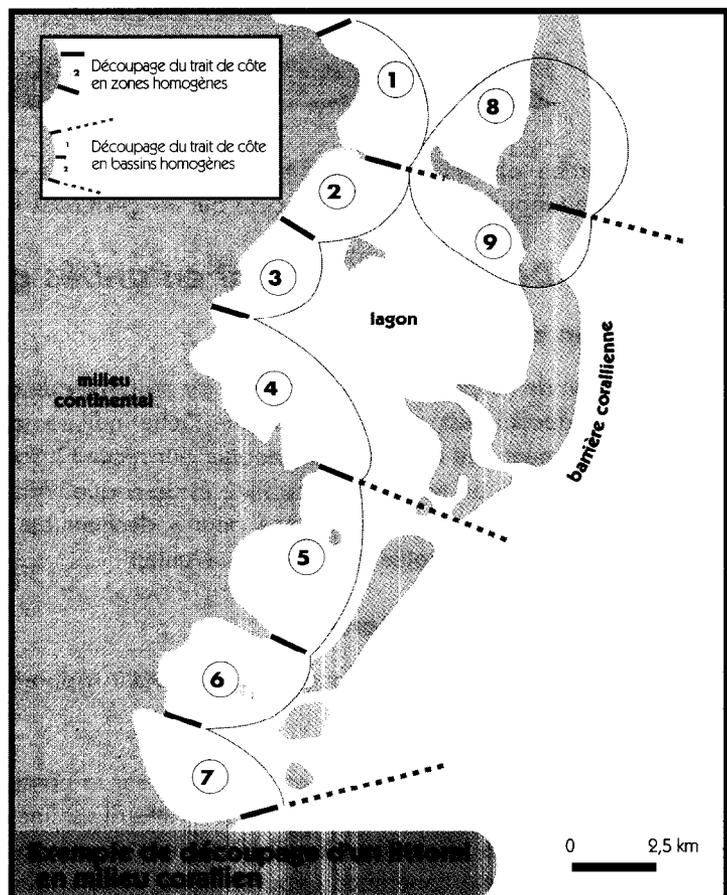
Ce choix dépend :

- de la taille du territoire couvert : plus celui-ci est petit, plus les zones doivent être de taille réduite.
- de la précision de l'effort de collecte des données consenti : plus les zones sont de taille réduite, plus les données doivent être précises.
- de la complexité du littoral : un littoral complexe implique un découpage spécifique prenant en compte la notion de bassin.

Représenter le découpage

Le découpage doit pouvoir être représenté sur une carte mais également sous forme de tableau. En effet, il est important de pouvoir faire référence individuellement à chacune des zones et de pouvoir les gérer facilement. Ainsi, chaque zone sera identifiée :

- Sur une carte : par des lignes matérialisant leurs limites, longitudinales et transversales. Le cas des bassins pour lesquels la surface est plus importante, doit apparaître en représentant distinctement les lagons.
- Dans un tableau : par un identifiant numérique (zone 1, 2, 3, etc.) et par un nom. Dans ce dernier cas, il est rare de pouvoir nommer la zone dans son ensemble. La solution consiste alors à nommer la zone par le nom du cap ou de lieu dit de début de zone et de fin de zone. Le cas échéant, une colonne peut être rajoutée pour mentionner le nom des îles incluses ou de la barrière récifale. L'ensemble de ces données est mentionné dans les premières colonnes d'un tableau sous l'intitulé "Descripteurs généraux".



Etape 2 : Le recueil des données

Comment fixer le choix des données à recueillir ?

Devant l'importance et la diversité des données caractérisant le littoral, il est nécessaire de suivre une méthode rigoureuse pour garantir la bonne adéquation entre données recueillies et objectifs de l'étude. Cette méthode consiste essentiellement à classer les données par grandes catégories puis de manière plus détaillée. La première grande dichotomie consiste à différencier les données concernant le **milieu récepteur** de celles concernant le milieu terrestre ou **bassin versant**. Puis le milieu récepteur peut être décrit par les informations liées au **patrimoine** d'une part et aux **altérations** d'autres part.

Le patrimoine est appréhendé au travers des caractéristiques physiques et biologiques du milieu, ainsi que de l'inventaire des usages dont il est l'objet. Une information complémentaire à caractère réglementaire peut être apportée pour renseigner sur les éventuels statuts de protection ou de gestion existants. Chacun de ces thèmes est ensuite décliné à un niveau de précision compatible avec les contraintes d'échelle.



Richesse du patrimoine et activités liées à la découverte du milieu vont souvent de paire. (La Réunion)

l'impact des activités développées n'est pas équivalente à une pente externe dégradée par la pollution. La diversité y est très différente, la sensibilité également. Il en résultera des conclusions opposées en matière d'utilisation du milieu ou d'aménagement. Les altérations concernent également les ressources potentielles, comme la pêche ou les cultures marines qui peuvent être compromises dans une eau insalubre. Elles peuvent enfin limiter la pratique de certains usages comme, à titre d'exemple, une eau altérée par des bactéries pathogènes qui est impropre à la baignade.



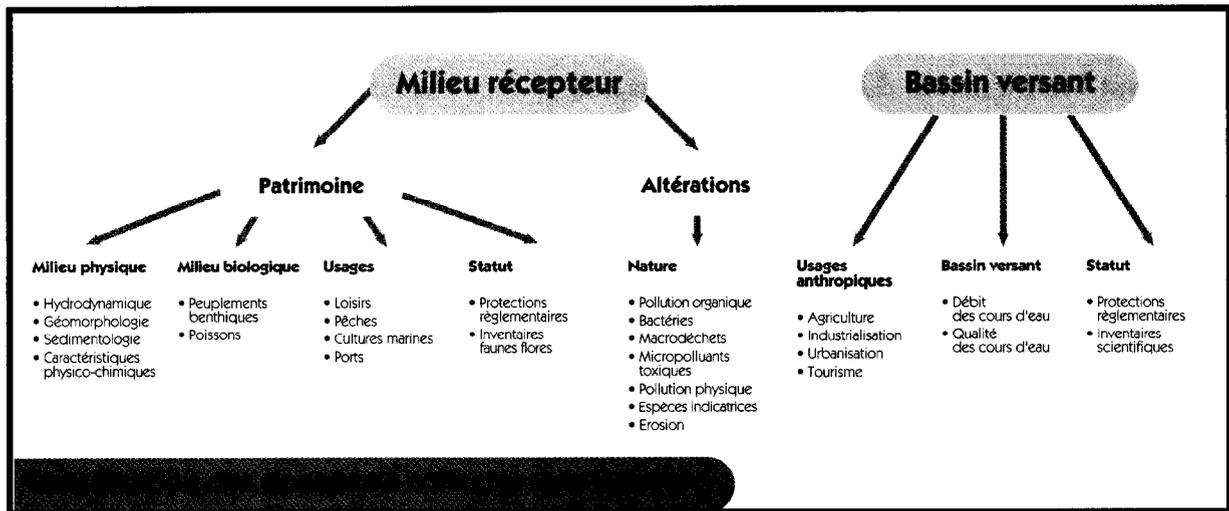
Côté amont, les activités développées sur le bassin versant doivent être identifiées par leur nature et caractérisées par les types de rejets qu'elles transfèrent au milieu naturel. Les nuisances qu'elles occasionnent provoquent diverses altérations du milieu.

La recherche des altérations constitue une thématique à part entière. En effet, la connaissance de l'état de santé des milieux permet d'en compléter la description typologique et d'en apprécier les conséquences : une pente externe sur laquelle les coraux sont vivants et développés

impropre à la baignade.

La transformation et l'artificialisation du littoral constituent souvent des facteurs importants d'altération du patrimoine sous-marin. (La Réunion)

Les étapes de la démarche : recueil des données



Recueillir des données appropriées

Toutes les données ne doivent pas obligatoirement être recherchées. Selon les objectifs initiaux, il sera plutôt nécessaire de se focaliser sur l'un ou sur l'autre des thèmes identifiés.

Le tableau suivant illustre à titre d'exemple le type de données nécessaires pour la recherche de zones sensibles à l'eutrophisation :

<u>Risques d'eutrophisation</u> (bassin versant) :	<u>Sensibilité à l'eutrophisation</u> (milieu récepteur) :
<ul style="list-style-type: none"> Stations d'épuration (pas de rejet du fait d'une absence d'urbanisation, respect des normes et réseau fonctionnant de manière satisfaisante, non respect des normes ou réseau défaillant) 	<ul style="list-style-type: none"> Exposition à la houle (Forte, moyenne, faible)
<ul style="list-style-type: none"> Décharges (absence, décharges proches de la côte mais avec un certain contrôle, décharges sans contrôle) 	<ul style="list-style-type: none"> Exposition au vent (forte, moyenne, faible)
<ul style="list-style-type: none"> Structures agro-industrielles (absence, présence de structures isolées, concentration de structures sur le littoral) 	<ul style="list-style-type: none"> Confinement de la zone (côte linéaire, baie ou micro-baie, lagons ou zones protégées par des récifs frangeants)
<ul style="list-style-type: none"> Ports (absence, petits ports ou mouillages, ports de pêche de plaisance ou industriels à forte activité) 	<ul style="list-style-type: none"> Nature des peuplements

La liste ci-dessous donne un inventaire (« check-list ») des différents descripteurs qui peuvent être recherchés, ainsi que leur signification.

1. Descripteurs généraux

- N° de la zone
- Critères de délimitation
- Nom de la zone
- Commune de référence
- Ville ou agglomérations existantes sur la zone
- Ilots associés
- Récifs barrières associés
- Unité lagonaire/bassin

2. Descripteurs liés à la sensibilité

2.1. Milieux naturels

- Confinement de la zone
- Espèces remarquables
- Formations remarquables
 - Richesse/diversité de la mangrove
 - Richesse/diversité du récif frangeant et du platier associé
 - Etat de santé de la mangrove
 - Etat de santé du récif frangeant
 - Evolution/dégradation de la mangrove
 - Importance écologique de l'herbier

2.2. Activités humaines

- Pratique d'une activité récréative
- Pratique d'une activité professionnelle
- Statuts de protection

3. Descripteurs liés aux risques

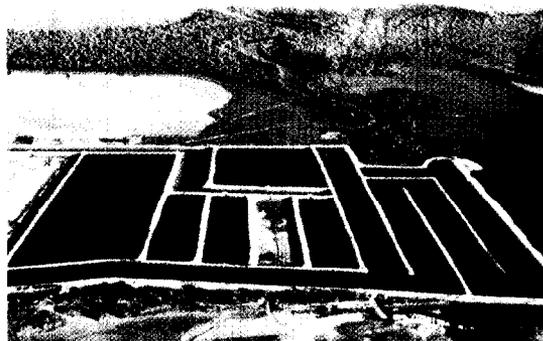
- Vocation générale de la zone
 - Importance de la zone urbaine
 - Assainissement de la zone urbaine
 - Projet de développement urbains
 - Présence d'industries classées
 - Présence d'industries non classées
 - Structures agro-industrielles
 - Impact des industries
 - Projets de développement industriels
 - Type d'activité touristique
 - Projet de développement touristiques
- Présence et type de ports
- Rejets naturels significatifs
- Importance des apports terrigènes
- Dépôts d'ordures ménagères



*Pente externe riche et diversifiée.
(île de Mahé, Seychelles)*



Port de pêche. (île de la Réunion)



*L'aquaculture intensive de crevettes est à l'origine de rejets importants de matière organique dans les milieux aquatiques.
(île de Madagascar)*

Les étapes de la démarche : recueil des données

Constituer un tableau de données brutes

Les données brutes collectées à l'origine de la démarche, sont classées en deux grands ensembles selon qu'elles sont liées au milieu récepteur ou au milieu terrestre. Cette distinction doit faciliter leur traitement ultérieur, respectivement en terme de sensibilité et de risque.

Où rechercher les données ?

Les données, de natures variées, existent auprès de sources tout aussi variées. Leur recherche doit donc être menée auprès des producteurs officiels dont c'est leur mission ou bien faire l'objet d'acquisitions spécifiques en cas de lacune ou d'insuffisance. La meilleure qualité (précision, fiabilité) possible doit être accordée à ces données sans pour autant négliger les données de nature plus qualitative ou même approximative. Les principales sources de données sont les suivantes :

- Administrations locales ou services de l'Etat,
- Collectivités territoriales (communes, départements, régions ou équivalents),
- Organismes scientifiques ou spécialisés (type Institut géographique, Service hydrographique, etc.),
- Associations naturalistes,

Les données peuvent également être acquises par enquêtes sur le terrain auprès des utilisateurs du milieu :

- Pêcheurs, professionnels ou non,
- Acteurs du tourisme et autres agents économiques,
- Responsables d'infrastructures littorales,

Elles peuvent enfin être acquises par observations directes :

- Sur le milieu terrestre : morphologie littorale, inventaire des rejets, des apports naturels, de la présence de décharges sauvages, de remblais, d'industries spécifiques, d'activités littorales, etc.
- En milieu aquatique : inventaire des peuplements, typologie des milieux, observation des dégradations, identification d'espèces bio-indicatrices de perturbation ou de qualité des milieux, identification de l'état de santé global des peuplements, ...



Acquérir des données par la plongée sous-marine

La collecte des données relatives à la typologie des milieux marins littoraux (récifaux et côtes rocheuses) est effectuée en plongée (apnée, scaphandre). Ces opérations d'expertises peuvent être effectuées :

- Depuis la côte lorsque les conditions de milieu ou météorologiques le permettent. Cette stratégie d'investigation est envisageable pour l'expertise de formations de type récifs frangeants étroits, pour les secteurs peu profonds (< à 2 m) ou les côtes rocheuses accessibles depuis le littoral.
- Depuis une embarcation. Cette stratégie est utilisée lorsque le lagon est plus large. Elle permet de prospecter de grandes surfaces récifales (récifs frangeants de l'ordre de 1 Km de largeur, zones difficiles d'accès depuis les berges). Elle offre de surcroît un support logistique de surface important du point de vue sécurité.

Techniques d'échantillonnage

Les différentes techniques d'échantillonnage utilisées pour identifier les formations sous-marines littorales et leurs caractéristiques écologiques sont basées sur :

- **les radiales d'exploration** (1 à 2 selon les secteurs), représentatives du secteur échantillonné et positionnées au préalable (carte et/ou système GPS). La reconnaissance des différentes structures récifales est effectuée le long d'une ligne imaginaire perpendiculaire au rivage (de quelques centaines de mètres à plus de 1 km selon les secteurs), à la nage et/ou en utilisant la technique "manta tow" ou "rapala" (traction de surface à partir d'une embarcation). Cette technique s'appuie sur l'identification des principaux faciès de milieux et de peuplements (espèces benthiques et ichtyologiques dominantes), leur représentativité qualitative et quantitative (cotation d'abondance), la prise de notes et de vues photographiques sous-marines des différentes structures ou organismes rencontrés.
- **les explorations ponctuelles supplémentaires** (positionnement cartographique préalable / GPS) correspondant à des structures particulières identifiées sur les cartes et nécessitant une vérification terrain. La description des caractéristiques de milieu et de peuplements s'appuie sur les techniques précédentes (prises de notes et photographies, prélèvements pour identification systématique en cas de nécessité).
- **les "transects d'échantillonnage linéaire" simplifiés** en accord avec les principes méthodologiques définis dans le manuel méthodologique récif COI (Conand et al, 1998). En complément des techniques exploratoires précédentes, les transects permettent d'identifier globalement au sein de zones récifales spécifiques (pentes externes, platiers, ...), les taxons et formes coralliennes dominantes et de les quantifier (% de recouvrement). Le cas échéant, ces transects pourraient constituer des stations de référence pour le suivi monitoring des récifs.

Le protocole d'acquisition des données terrain journalier est basé sur le schéma méthodologique suivant :

- 1• analyse des documents cartographiques (pré-cartographie) zone par zone,
- 2• identification et positionnement cartographique (position GPS ou autre) de deux radiales d'explorations (ou plus) perpendiculaires à la côte, représentatives des différents milieux à valider,
- 3• positionnement de points d'échantillonnages localisés (le cas échéant) correspondant à des faciès de milieux ou de peuplements particuliers à identifier.
- 4• réalisation de profils d'explorations complémentaires permettant de valider des limites de polygones et leurs caractéristiques géomorphologiques et biocénotiques,
- 5• positionnement de "transects" d'échantillonnage du milieu benthique (méthodologie de suivi / monitoring des milieux coralliens) spécifiques et représentatifs des milieux rencontrés (zone de platier récifal ou de pente externe).



Les étapes de la démarche : recueil des données

Comment identifier les sources de données ?

Les données doivent d'abord être recherchées auprès des personnes ou des organismes ressource susceptibles d'avoir une compétence en matière de surveillance ou d'observation des milieux. Ces données peuvent être rassemblées dans un ou plusieurs organismes selon les thématiques qu'ils couvrent (environnement, tourisme, assainissement, etc.), mais aussi se trouver réparties dans des rapports multiples et hétérogènes.

Certains pays peuvent avoir mis en œuvre une démarche structurée autour de la problématique de l'information en milieu côtier. Ce type de démarche peut conduire à l'utilisation de données géoréférencées existant sous forme numérique et exploitées dans des SIG. Dans ce cas, tout ou partie des données ont déjà pu faire l'objet d'une étape d'harmonisation et de mise en forme adaptée à la cartographie.

Sur la base des informations recueillies au travers de ces sources, un premier bilan de l'existant peut être réalisé. Les données manquantes sont alors identifiées et une stratégie de recherche de données complémentaires est mise en place. Cette stratégie doit prendre en compte à la fois les besoins et les efforts financiers pouvant être consentis. La mesure ou l'observation de terrain implique en effet des coûts généralement importants de mise en œuvre logistique, d'analyse et de traitement de l'information.

Harmoniser les données

Les données obtenues proviennent généralement de sources très diverses et se présentent sous des formes extrêmement variées.

Certaines données sont de nature quantitative et très précises, d'autres qualitative et plus approximatives. L'approche globale ne peut être efficace que si les données utilisées sont homogènes sur l'ensemble du territoire étudié. Il est donc nécessaire de passer l'ensemble des données au crible d'une procédure d'harmonisation. Cette procédure consiste généralement à simplifier les données en les transformant en variables qualitatives selon un dénominateur commun exhaustif sur toute la zone concernée. Cette tâche préparatoire est indispensable à la codification des données.

Exemple fictif d'harmonisation :

<u>Donnée : degré de confinement</u>			
Identifiant de la zone	Source de la donnée	Donnée brute	Donnée harmonisée
1	Ministère Environnement (SIG)	Zone très confinée	Zone très confinée
2	Ministère Environnement (SIG)	Zone peu confinée	Zone peu confinée
3	Université des Sciences (laboratoire d'hydrologie)	Taux de renouvellement très fort	Zone peu confinée
4	Université des Sciences (laboratoire de biologie marine)	Léger accroissement du niveau trophique (azote et phosphore)	Zone plus ou moins confinée
5	Université des Sciences (laboratoire de biologie marine)	Baisse de la diversité dans le temps	Zone plus ou moins confinée
6	Enquêtes sur site	Eau peu claire dégageant parfois des odeurs nauséabondes	Zone très confinée
7	Enquêtes sur site	Pêche très abondante d'une espèce	Zone plus ou moins confinée
8	Observations en plongée	Coraux très dégradés, présence d'espèces opportunistes	Zone très confinée

Etape 3 : Représentation cartographique des données brutes

Etablir une carte descriptive

Les données brutes collectées permettent de dresser les caractéristiques du milieu littoral. Leur représentation géographique se traduit par l'établissement de cartes descriptives des fonds sous-marins qui sont autant d'éléments indispensables à la mise en place d'un plan de gestion. La manipulation de ces données sera d'autant facilitée qu'elles seront le plus tôt possible intégrées sur support informatique dans la chaîne de traitement. C'est une tâche à part entière du processus de cartographie.

Il s'agit en premier lieu de dresser un fond de carte à l'aide de deux types de supports :

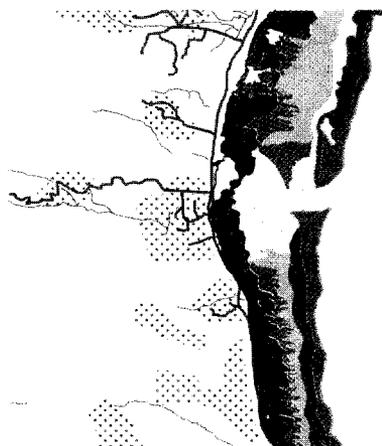
- Données cartographiques existantes : il existe souvent des études ayant conduit à réaliser ce travail sur une partie du littoral. Ces cartographies partielles ou non peuvent servir de base pour établir une représentation du milieu littoral sous forme de typologie harmonisée.
- Photos aériennes ou images satellitaires : ce type de support permet généralement d'observer les fonds marins jusqu'à des profondeurs de 15 mètres environ lorsque la turbidité des eaux n'est pas élevée. Une photo-interprétation manuelle permet de tracer les contours des formations sous-marines sans donner de détails sur leur nature exacte. Une typologie préliminaire est cependant proposée à ce stade et servira de base aux investigations ultérieures.

Le résultat de cette opération est une représentation des types de fonds (par nature, rocheuse, sableuse, sablo-vaseuse, etc.), des biocénoses, écosystèmes ou habitats remarquables, ...

L'ensemble de l'information géographique thématique ainsi obtenue doit être transférée sur support informatique pour faciliter les opérations ultérieures de cartographie.

A cet effet, ces documents sur support papier doivent être scannés puis éventuellement digitalisés. Selon les objectifs de l'étude et les moyens financiers disponibles, ces cartes peuvent être éditées par des moyens de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) ou de préférence à partir de SIG (Systèmes d'Informations Géographiques) dès lors que l'information géographique concernée a subi les procédures de mise en forme adaptées (topologie, système de projection géographique, etc.).

Dans ce dernier cas, les couches d'informations sont individualisées par thèmes et les données sont géoréférencées pour constituer des objets géographiques.



Les étapes de la démarche : cartographie

Comment transformer une photointerprétation manuelle en carte informatisée constituée de données numériques ?

La procédure complète suit les étapes suivantes :

- 1. Scanner ou digitaliser** : L'opération de digitalisation fait appel à un logiciel spécialisé mis en œuvre à partir d'une table à digitaliser. Les calques de format A4 ou plus (jusqu'à A1 ou A0) dessinés à la main sont transformés en format informatique ".DXF", par contourage à la souris des lignes de forme des objets thématiques identifiés (trait de côte, récifs, points d'amer significatifs, ...) et création d'un cadre extérieur pour faciliter la polygonisation.
- 2. Géoréférencer** : il s'agit d'importer le trait de côte de référence en ".DXF/DOS", puis de géoréférencer les fichiers des calques à partir du trait de côte et de points d'amer. L'opération est terminée en rattachant et fermant les lignes de récifs sur le trait de côte de référence.
- 3. Assembler** : Fusion des bords de cartes en format A4,
- 4. Correction** interne, géométrique,
- 5. Polygoniser** : les objets thématiques comme les éléments récifs sont à transformer en objets géographiques (topologiques) polygonaux sous Arcview (ESRI),
- 6. Indexer** : 12 codes sur 2 caractères alpha au maximum sont disponibles pour indexer les objets correspondant aux typologies de référence,
- 7. Tracer** : des aplats thématiques couleurs sont à dresser pour corrections et mises à jour avec un débordement afin de visualiser les cartes voisines et corriger les polygones limitrophes.

Une cartographie préliminaire résulte de ce travail.
Sa nature informatisée facilitera toute correction ultérieure.

Remarque : toutes ces opérations doivent être décrites pour constituer les fichiers de métadonnées (données sur les données).

Etablir une typologie :

L'intégration des données résultant de l'analyse bibliographique, de la photo-interprétation et des données de terrain (collectées notamment en plongée, ...), permet de recenser à priori les principaux types d'entités géomorphologiques et biocénotiques rencontrés au niveau de la zone d'étude.

Dans un second temps, une analyse simultanée des différents éléments disponibles (descriptions de milieux, liste de peuplements, niveaux de vitalité, quantification de communautés ou cotations, images aériennes...), permet de définir de grands types de peuplements dominants ou spécifiques associés aux différentes catégories de milieux physiques rencontrés (exemple : un peuplement d'herbier de phanérogames à *Thalassodendron ciliatum* colonisant des platiers récifaux).

Cette analyse intégrée permet de terme d'établir une typologie de milieu sous-marin basée le plus souvent sur des éléments de terminologie géomorphologiques et sur leurs composantes de peuplements associés. Cette analyse permet donc de dégager les principales caractéristiques de milieux et de peuplements constitutifs d'une zone littorale.

Une description simple des typologies peut alors être effectuée par la rédaction de fiches types correspondantes associée à des photographies, facilitant ainsi la compréhension pour les utilisateurs.

Ces typologies ne constituent en aucun cas, une étude sur la biodiversité des peuplements marins. En effet, la réalité terrain étant souvent très complexe, la finalité de ce travail consiste à définir des entités de milieux / peuplements (et donc à terme une cartographie), qui ne soit pas trop complexe, mais fournisse quand même une bonne représentativité de la réalité terrain dans la recherche d'un compromis satisfaisant.

Enfin, une dernière phase consiste à confronter la cartographie préliminaire aux différentes typologies définies précédemment, afin de corriger et de valider zone par zone les documents initiaux.

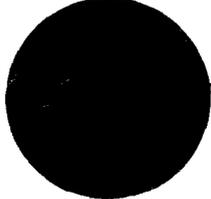
Ce travail permet de réaliser une carte définitive de typologies représentative des principaux milieux et peuplements associés, qui servira de base aux travaux ultérieurs axés notamment sur la sensibilité écologique des écosystèmes littoraux.



PENTE EXTERNE

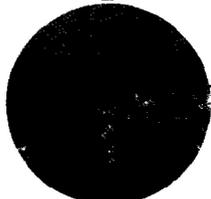
Il s'agit de la partie la plus externe du récif. Elle s'étend en général jusqu'à une profondeur de 15 à 20 mètres. Autour de Mahé, les pentes externes se présentent sous trois formes différentes :

- Pente externe à éperon-sillons,
- Pente d'accumulation biodétritique externe,
- Pente externe en glaciais.



HERBIERS DE PHANEROGAMES LITTORAUX

La zone d'herbier est généralement située en arrière du platier récifal détritique. Les herbiers sont le plus souvent installés sur un substrat sableux ou sablo-vaseux. Selon les types de substrat (nature et granulométrie) et l'hydrodynamisme, on rencontre des herbiers monospécifiques ou des herbiers mixtes.



ZONE MIXTE A HERBIERS LITTORAUX ET FACIES D'ALGUERIAIES

Ces écosystèmes sont constitués par l'association de peuplements à herbiers de phanérogames et de peuplements d'algues.



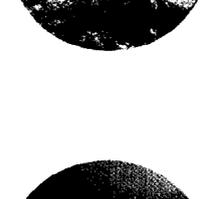
SABLE CORALLIEN PUR

Les sables coralliens occupent des surfaces importantes depuis la côte où ils peuvent constituer des plages (comme Beauvallon), jusqu'aux plus grandes profondeurs.



ASSEMBLAGE DE PLATIER RECIFAL

Les assemblages coralliens se présentent sous forme de massifs coralliens isolés par rapport aux autres structures récifales.



PLATIER RECIFAL "SENSU STRICTO"

Le platier récifal est la partie du récif s'étendant depuis le haut de la pente externe jusqu'aux premiers herbiers de phanérogames. Il se compose généralement d'un platier détritique (sableux, à algueriaie exclusive ou à alignement transversaux) et platier compact, séparés parfois par un secteur à petites vasques de deux ou trois mètres de profondeur.



SUBSTRAT ARTIFICIEL OU MODIFIE

Ce sont des zones du linéaire côtier ayant fait l'objet de travaux d'endiguements, de pose d'enrochements ou de creusements.

AFFLEUREMENTS GRANITIQUES

Ils peuvent être superficiels ou profonds. Dans ce dernier cas, les peuplements sont dominés soit par des peuplements de coraux durs, soit par des coraux mous, soit par des algues.

SECTEUR DELTAÏQUE

Ce sont les petits deltas situés à l'embouchure de rivière pérenne, au niveau d'exutoires de mangrove, ou de marais situés en amont sur le bassin versant.

CHENAL DE RECIF FRANGEANT RETICULE

Ces structures récifales sont constituées par un système complexe de chenaux et de travées entaillant la partie externe du récif et isolant parfois des bancs coralliens.

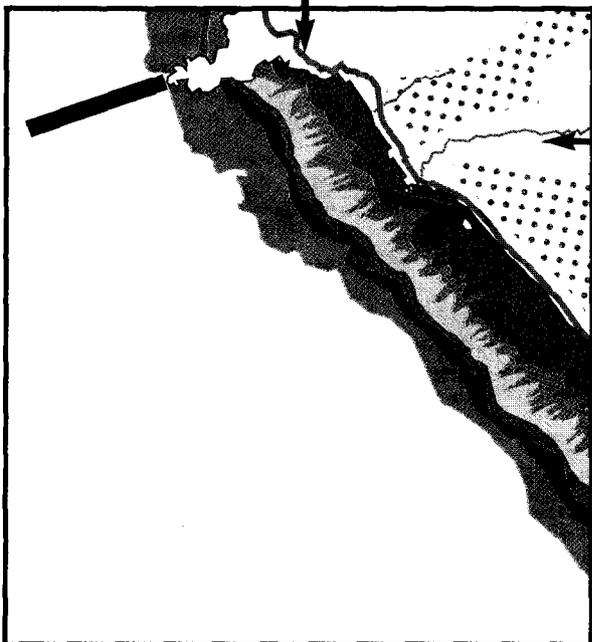
Les étapes de la démarche : cartographie

La carte réalisée n'est qu'un document provisoire qui doit être validé par des observations de terrain. La typologie établie, ainsi que les limites des différentes zones vont servir de guide à la mise en œuvre de cette "vérité terrain". Il est en effet impossible de parcourir en plongée la totalité de la zone d'étude. Les investigations, réalisées généralement en plongée sous-marine, auront pour objectif de décrire avec précision la nature des milieux identifiés et de vérifier sur quelques points représentatifs que les limites définies correspondent à une réalité biologique et physique. A titre d'exemple, une zone sombre sur une photo aérienne peut être due à un simple changement bathymétrique ou à une plaque d'algues non fixées se déplaçant au gré des courants. Dans ce cas, la délimitation de cette tâche n'a aucun sens. La méthode la plus judicieuse pour valider ces informations est de réaliser systématiquement des transects perpendiculaires à la côte. Ces radiales traversent ainsi la plupart des formations sous-marines qui sont très généralement organisées parallèlement à la côte. Ces explorations peuvent être complétées le cas échéant par des plongées ponctuelles sur quelques points et notamment dans les zones les plus profondes qui ne permettent pas de longs séjours en immersion.

Une fois cette phase de terrain terminée, les observations obtenues sont comparées et complétées à la carte provisoire pour corriger celle-ci. Associée à la description précise des différents types définis, elle constitue la carte des fonds sous-marins définitive.



Pointe au sel (île de Mahé)



Types de formations	
	Pente externe à éperon-sillons
	Pente d'accumulation biodétritique externe
	Herbier de phanérogames mixte
	Zone mixte à herbiers littoraux et faciès d'algues
	Sable corallien pur
	Platier récifal détritico sableux à éléments coralliens dispersés
	Platier détritico côtier à algues exclusives (faciès de dégradation)
	Platier détritico à alignements transversaux
	Platier récifal compact

Photos orthogonales et photos obliques peuvent utilement se compléter pour une bonne représentation cartographique.

Etablir une carte des facteurs de risques

La carte des facteurs de risques permet de situer avec précision, toutes les sources potentielles de dégradation pour l'environnement. L'essentiel de ces sources liées au développement d'activités humaines se trouve à terre, sur le bassin versant avec toutefois, une autre partie pouvant se situer en mer ou à la côte (sur-fréquentation de sites de baignade ou de plongée, activités aquacoles intensives, etc.).

Ces facteurs de risques sont représentés sous forme de pictogrammes permettant d'identifier d'une part, la localisation du risque et d'autre part sa nature. Une charte graphique doit être définie en début de projet. Celle-ci doit s'appuyer sur les expériences passées mais doit également tenir compte des spécificités locales.

Etape 4 : Les notions de sensibilité et de facteur de risques

Déterminer la sensibilité à partir de la typologie des fonds

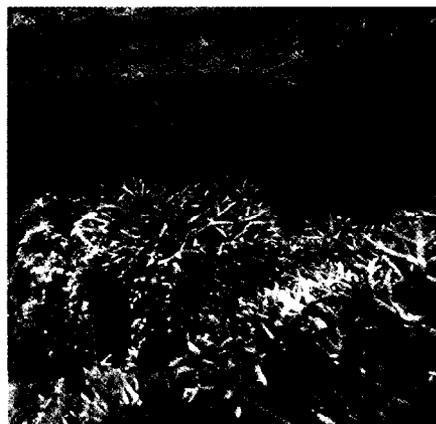
La sensibilité du milieu doit être déterminée, dans un premier temps, avec le maximum de précision possible. Celle-ci dépend des caractéristiques physiques, écologiques et aussi socio-économiques. Ces nuances dans le type de sensibilité s'explique par la diversité des objectifs des études. Par exemple, il est possible d'intégrer une notion de sensibilité liée aux activités humaines devant être préservées.

Ce peut être le cas des usages demandant une bonne qualité d'eau (baignade, aquaculture) ou demandant une richesse importante du milieu (pêche). Ces zones se voient alors attribuer par définition une sensibilité maximale.

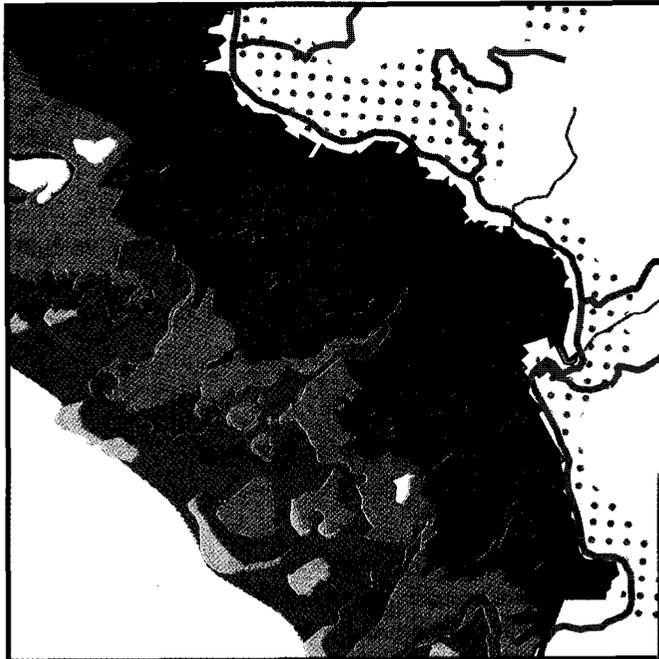
En l'occurrence, la sensibilité étant définie en rapport avec un facteur de stress, il est clair que celle-ci va dépendre de ce facteur de stress. La sensibilité d'un récif corallien à un rejet urbain n'est pas la même que la sensibilité à un rejet chimique ou un déversement accidentel par hydrocarbures.

Une valeur de sensibilité devra donc être attribuée à chaque élément caractéristique du milieu, défini au cours de l'étape de cartographie des fonds. En général, le plus simple consiste à attribuer à chacun d'eux une note de sensibilité allant de 1 à 4, représentée sur la carte par un code de couleur : 1 : bleu; 2 : vert; 3 : orange; 4 : rouge. Il est souvent illusoire de rechercher un niveau de détail plus important. Il suffit alors de remplacer la couleur initiale des polygones thématiques représentés sur la carte par les couleurs correspondant à la sensibilité pour obtenir une carte de synthèse traduisant la sensibilité recherchée. Cette codification est généralement réalisée à la discrétion des experts avec, toutefois, une validation effectuée auprès des décideurs ou des opérateurs exerçant auprès d'eux.

*Les zones lagunaires, confinées et accessibles, se révèlent à la fois sensibles et soumises à des facteurs de risques : elles sont vulnérables.
(Ile de la Réunion)*

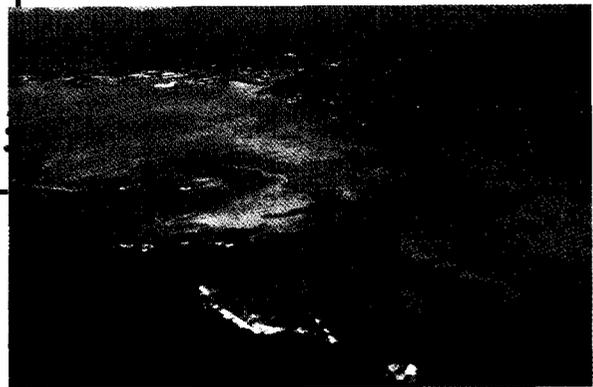


Les étapes de la démarche : sensibilité et risque

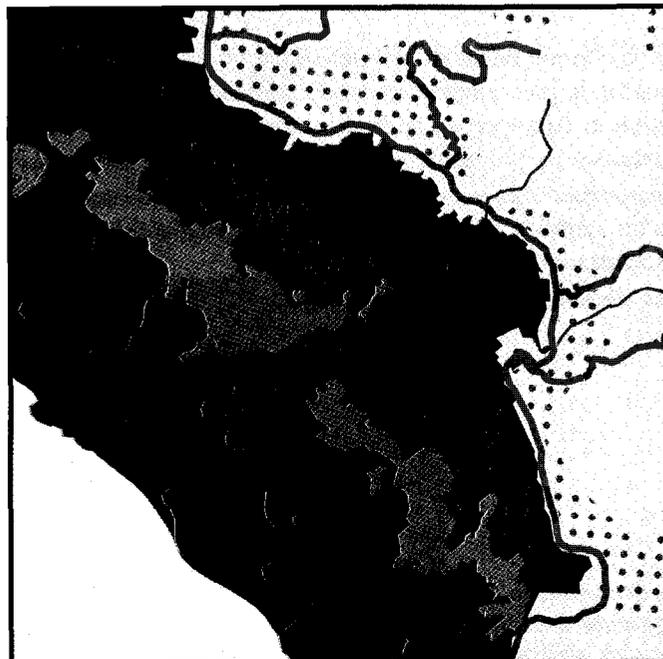


Types de formations sous-marines

	Pente externe en glacis
	Herbier de phanérogames littoraux monospécifique
	Herbier de phanérogames mixte
	Zone mixte à herbiers littoraux et faciès d'algues
	Assemblage de platier récifal
	Platier récifal détritico sableux à éléments coralliens dispersés
	Platier détritico côtier à algues exclusives (faciès de dégradation)
	Secteur de micro-vasques ou de dépression de platier récifal
	Platier récifal compact
	Substrat artificiel ou modifié (remblais, creusement)



Anse Etoile (Île de Mahé)



Sensibilité

	Peu sensible
	Sensibilité moyenne
	Sensible
	Très sensible

Transformer la carte des peuplements en carte de sensibilité : à chaque type de formation sous-marine est attribué une valeur de sensibilité (4 classes).

Cette valeur est ensuite transformée en un code de couleur directement par le logiciel.

Comment définir la sensibilité écologique ?

La notion de sensibilité d'un écosystème est complexe, et englobe de nombreuses composantes. Il est possible de la définir comme l'aptitude à résister à un facteur de stress, le facteur de stress étant défini comme une situation qui force le système à mobiliser ses ressources et dépenser une quantité plus grande d'énergie pour maintenir son intégrité. L'aptitude à résister à un facteur de stress comprend deux aspects.

- L'un est représenté par les variables structurelles de l'écosystème, telles que la richesse ou la diversité spécifique. On peut en effet supposer que plus un écosystème est riche et diversifié, plus les pertes seront grandes en cas d'agression.
- L'autre aspect est représenté par les variables fonctionnelles que représentent l'inertie (résistance qu'oppose un système à une contrainte) et la résilience (manière dont le système se déforme et revient ou non à son état initial après avoir subi cette contrainte).

Ces variables sont plus difficiles à mesurer. D'une manière générale, un écosystème proche de l'état d'équilibre écologique (climax), et donc en bonne santé, résistera mieux à une contrainte qu'un écosystème déjà fragilisé. Le diagnostic écologique doit donc permettre d'évaluer l'état de santé du milieu. Quant à la résilience, sa mesure doit faire appel aux notions de successions écologiques, de capacité de restauration, et d'éventuelle irréversibilité consécutive à des dégradations ponctuelles.

Etablir une carte de sensibilité globale

La carte établie selon la méthodologie présentée ci-dessus est trop détaillée si l'on considère les différentes sensibilités, pour pouvoir constituer un document véritablement opérationnel utilisable directement par les décideurs. Les informations obtenues doivent être simplifiées et rapportées au trait de côte. Ainsi, il est nécessaire d'établir une carte de sensibilité globale. La réalisation de cette carte consiste à transformer l'information relative aux différentes formes de sensibilité, en une information uniforme à l'échelle des unités littorales. Cette information synthétique peut alors être représentée selon un code couleur et attribuée à une portion de trait de côte.

Il n'existe pas de méthode automatisée pour passer de la sensibilité fine à la sensibilité globalisée. L'opérateur doit faire intervenir sa capacité d'expertise et d'analyse du système.

Evaluer l'état de santé du milieu

Des indicateurs écologiques permettent de mesurer l'état de santé du milieu. Certains peuvent être observés directement en plongée :



- **Recouvrement d'algues :**
signe d'eutrophisation
- **Prolifération d'espèces opportunistes :**
signe d'hypersédimentation
- **Remplacement de coraux durs par des coraux mous :**
signe de dégradation
- **Présence de poissons carnivores :**
signe de bonne santé du milieu

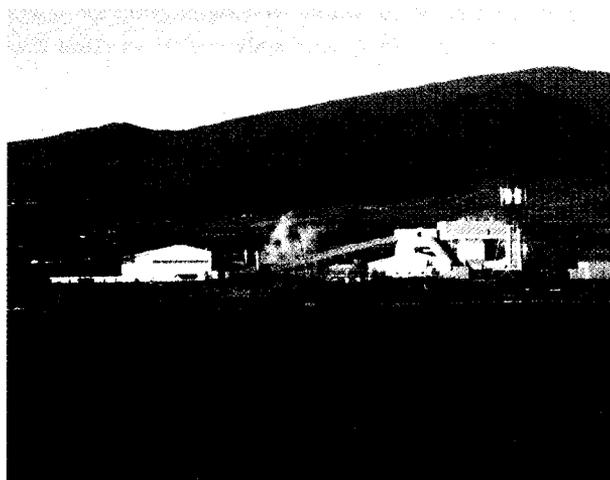
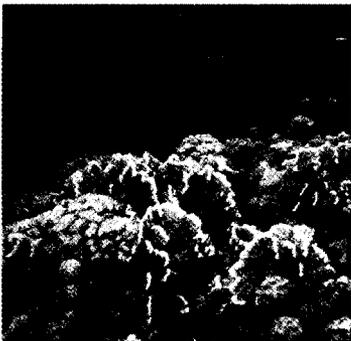
Les étapes de la démarche : sensibilité et risque

Etablir une carte des risques

L'ensemble des facteurs de risques a été représenté sur une carte descriptive et détaillé dans un tableau. Au cours de cette étape, un indice de risque doit être attribué à chaque facteur de risque.

La codification varie généralement entre 0 et 3 (0 pour une absence de risque, 3 pour un risque fort). Tous ces indices individuels sont combinés pour obtenir une note globale de risque. Ce calcul consiste généralement à retenir l'indice le plus représenté (plus forte fréquence d'apparition) mais d'autres systèmes peuvent être adoptés (combinaisons linéaires pondérées ou indice le plus pénalisant, notamment). Ces combinaisons peuvent concerner le calcul d'un niveau de risque par objectif de qualité ou d'un niveau de risque global. Les objectifs initiaux de l'étude déterminent ce choix.

Une fois ces indices déterminés, ils peuvent être représentés sur une carte selon le même graphisme que celui adopté pour la sensibilité globale : un code de couleur variant entre le bleu (risque faible) et le rouge (risque fort), s'applique aux unités géomorphologiques définies au départ. Ainsi, la carte globale des facteurs de risques est un document facilement exploitable par un décideur, quel qu'il soit.



*Distillerie et centrale thermique.
(île de la Réunion)*

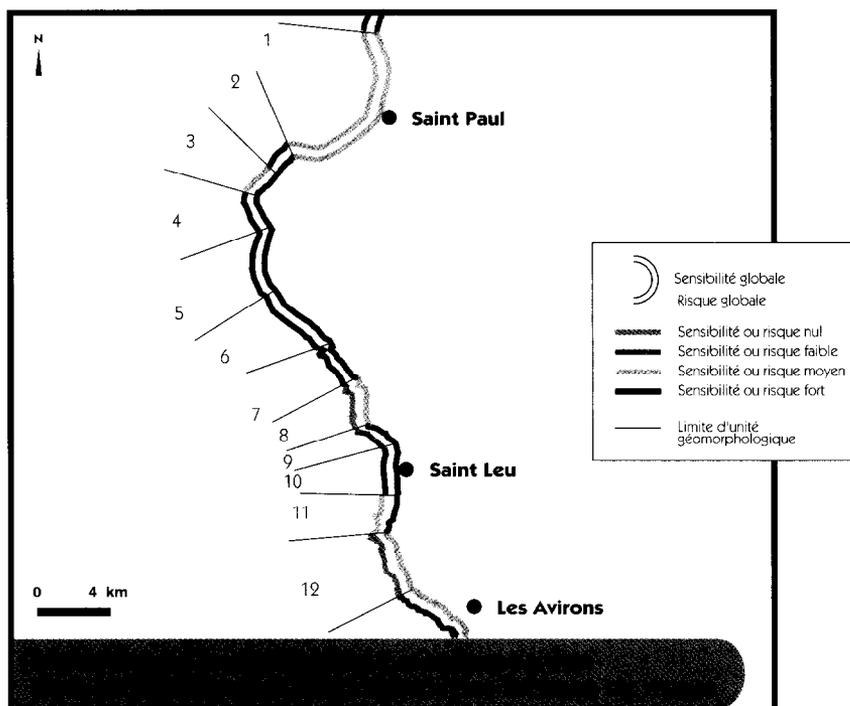
Etape 5 : Restituer les résultats de l'étude

L'identification des zones à problèmes ou vulnérables va découler de la confrontation des niveaux de sensibilité et de risque pour chaque zone. Sur la base de cette interaction, des zones d'actions prioritaires seront identifiées.

Superposer sensibilité et facteurs de risques

Le type de représentation graphique adopté facilite l'identification des zones à la fois sensibles et soumises à des pressions anthropiques avérées ou susceptibles de les dégrader. Cette étape suppose donc de représenter sur une même carte la sensibilité globale et les risques encourus. Le rapprochement pour une même zone d'une sensibilité forte (zone rouge) avec des risques importants (zone rouge) permettra de bien mettre en évidence les zones à forte vulnérabilité devant faire l'objet de programmes prioritaires.

Dans un second temps, l'examen zone par zone des raisons de ce classement doit permettre d'identifier les problèmes responsables d'un tel classement et d'en déduire d'éventuelles solutions techniques.



Les unités géomorphologiques sur lesquels apparaissent en rouge à la fois la sensibilité et les facteurs de risques sont très vulnérables. (Île de la Réunion)

Les étapes de la démarche : restitution

Présenter des fiches par zones

Afin d'être en mesure d'identifier chaque problème posé, une fiche récapitulative, courte et synthétique, doit être rédigée pour chaque zone. Le contenu de cette fiche doit être adapté à chaque site mais elle doit comporter les éléments suivants :

- Présentation générale de la zone et typologie (caractéristiques principales)
- Eléments de sensibilité
- Facteurs de risques
- Eléments de vulnérabilité
- Actions à mener et recommandations

L'objectif de ces fiches est d'être en mesure de retrouver facilement les points critiques concernant un site géographique donné. Elles permettent en outre de faciliter la structuration de la base de données. Ces fiches constituent, en effet, autant de données attributaires attachées aux objets géographiques que sont les unités issues du découpage du littoral.

Présenter des fiches par opération de gestion ou par recommandation

Ce chapitre peut être considéré comme un des éléments d'un plan de gestion proprement dit. L'ensemble des opérations de gestion découlant des fiches précédentes est d'abord listé. A chacune de ces opérations, un code de priorité est attribué. Ce code dépend de deux données :

- l'urgence des mesures à mettre en place.
- les impératifs chronologiques (réalisation d'une étape nécessaire avant la mise en œuvre de la suivante).

Ces recommandations peuvent concerner des actions très différentes comme la réalisation d'aménagements, la mise en place de réseaux de surveillance ou la proposition de structures institutionnelles de gestion. Leurs orientations peuvent dépendre des objectifs fixés à l'origine.

Editer un atlas

Afin de pouvoir être diffusés et consultés, les documents doivent être rassemblés dans un atlas contenant :

- une introduction rappelant les objectifs du document,
- une présentation simplifiée de la démarche méthodologique,
- une présentation simplifiée de la typologie,
- une présentation détaillée de la typologie comprenant le nom du type, un texte descriptif, une photo illustratrice et la valeur de sensibilité,
- une carte à grande échelle des formations sous-marines,
- une carte à grande échelle de la sensibilité,
- une carte à grande échelle des facteurs de risques,
- une carte superposant de manière simplifiée, la sensibilité et les facteurs de risques, et représentant la vulnérabilité.
- une série de cartes à petite échelle (zoom) reprenant les mêmes thèmes et complétées pour chaque zoom par des fiches d'identité récapitulatives.

Tous ces documents doivent être réalisés en DAO (Dessin assisté par ordinateur) de manière à pouvoir être présentables dans un document opérationnel.

Etudes de cas

Cas n°1 : Zones marines peu profondes de l'île de Mahé aux Seychelles

La cartographie des zones marines littorales de l'île de Mahé aux Seychelles a été réalisée par les auteurs de ce guide avec l'appui du GREEN Océan Indien et en partenariat avec l'IOC/UNESCO, à la demande de la Coordination Nationale des Seychelles et de la Direction Régionale. Cette étude s'inscrit dans le programme PRE-COI/UE relatif à la mise en place d'un plan de gestion intégrée des zones côtières de l'Océan Indien.

Principes généraux

L'étude consiste à inventorier les milieux littoraux, à les caractériser (typologie des milieux et des peuplements, inventaire des usages...) et à leur associer un diagnostic environnemental intégré (définition de leur sensibilité, de leur état de santé, des risques environnementaux...). Ce travail doit aboutir à un atlas cartographique synthétisant la sensibilité et les facteurs de risques concernant les milieux marins littoraux de l'île de Mahé.

Trois phases d'interventions successives sont mises en œuvre :

- **Phase I : analyse de l'existant et cartographie préliminaire**

Basée sur une analyse des informations existantes, cette phase permet d'effectuer un découpage du littoral en unités géomorphologiques homogènes et de définir le programme d'acquisition de données de terrain complémentaires.

- **Phase II : acquisition de données de terrain**

Basée sur des expertises de terrain, cette phase consiste à décrire les milieux/peuplements et leur état de santé, les facteurs de risques, etc. afin d'obtenir une définition de la vulnérabilité des milieux rencontrés.

- **Phase III : analyse environnementale intégrée**

Cette phase consiste à intégrer les données acquises au cours des phases précédentes de manière à obtenir un atlas cartographique ainsi que des fiches diagnostics sectorielles de la sensibilité et des facteurs de risques du littoral permettant d'orienter le choix de sites et les actions environnementales prioritaires.



Etude de cas : Mahé

Types de formations sous-marines

- Pente externe à éperon-sillons
- Pente d'accumulation biodétritique externe
- Pente externe en glacis
- Herbier de phanérogames littoraux monospécifique
- Herbier de phanérogames mixte
- Zone mixte à herbiers littoraux et faciès d'algues
- Sable corallien pur
- Assemblage de platier récifal
- Platier récifal détritico sableux à éléments coralliens dispersés
- Platier détritico côtier à algues exclusives (faciès de dégradation)
- Platier détritico à alignements transversaux
- Secteur de micro-vasques ou de dépression de platier récifal
- Platier récifal compact
- Substrat artificiel ou modifié (remblais, creusement)
- Affleurement rocheux superficiel littoral (mégablocs)
- Affleurement rocheux profond à peuplement corallien diversifié
- Affleurement granitique rocheux à peuplement de coraux mous dominants
- Secteur deltaïque
- Chenal de récif frangeant réticulé

Fond de carte

- Urbanisation
- Zone industrielle et remblais
- Mangrove et marais
- Route
- Cours d'eau
- Zone de Victoria non cartographiée

Facteurs de vulnérabilité

Ferme d'élevage de porcs

- Ferme à reproduction
- Ferme à engraissement
- Ferme en projet

Hôtels

- De 0 à 24 chambres
- De 25 à 60 chambres
- De 61 à 206 chambres

Traitement de l'eau et rejets

- Réservoir d'eau
- Fosse septique
- Station d'épuration
- Lagunage
- Décharge existante
- Future décharge

Activités balnéaires

- Plage de sable
- Club de plongée
- Site de plongée bouteille
- Site de plongée en apnée
- Parapente
- Ski nautique

Bateaux de pêche (déchargeant sur le site)

- Moins de 10 bateaux
- De 10 à 19 bateaux
- De 20 à 50 bateaux

Source : Seychelles Fishing Authority
Seychelles Artisanal Fisheries Statistics for 1996

Topographie

- 700 m à 900 m
- 400 m à 600 m
- 100 m à 300 m
- 0 m

Zones protégées

- Parc Marin
- Réserve de coquillages
- Projet d'habitation

Sensibilité

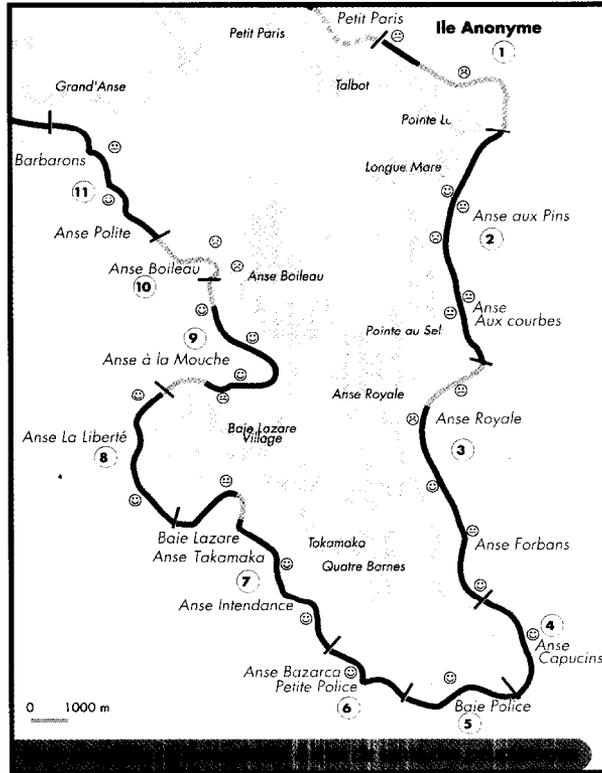
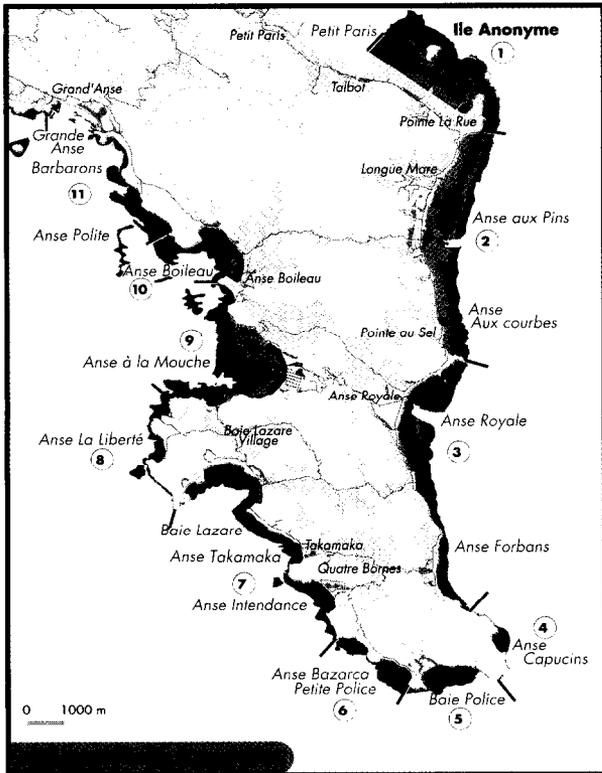
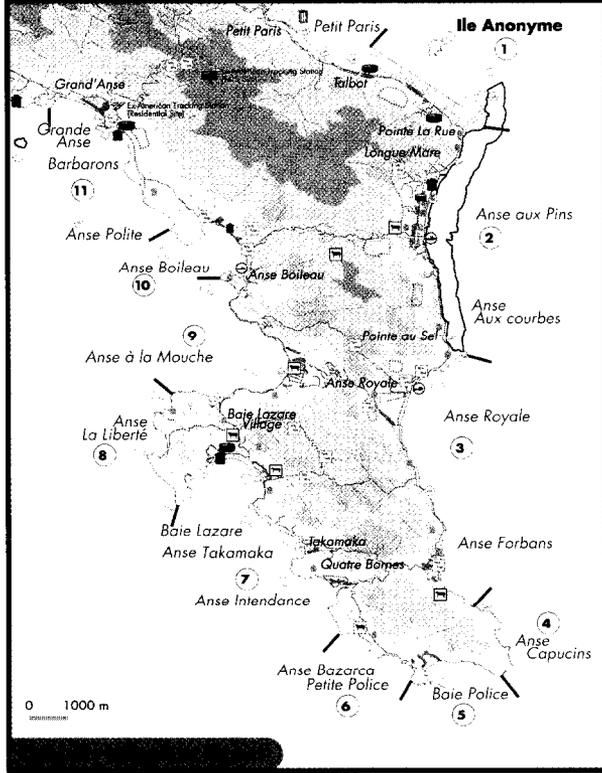
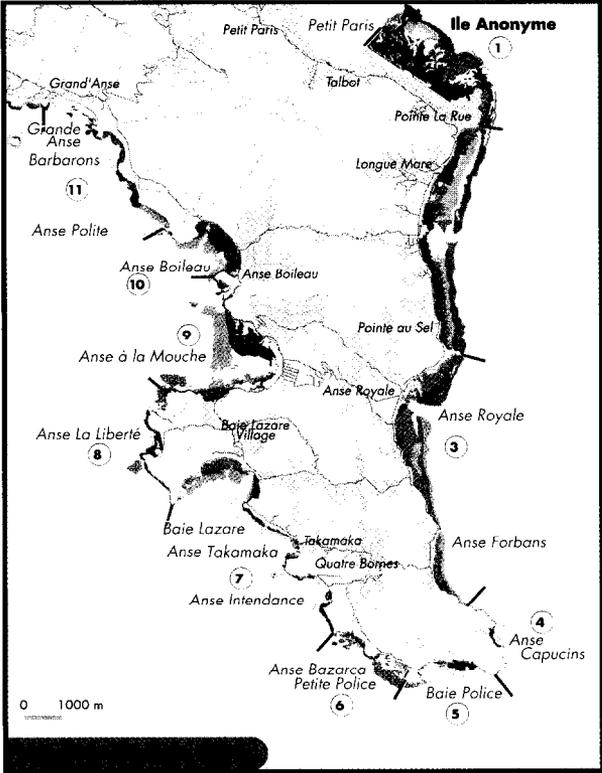
- Peu sensible
- Sensibilité moyenne
- Sensible
- Très sensible

Sensibilité

- Très sensible
- Sensible
- Moyennement sensible
- Peu sensible
- Zone de Victoria non cartographiée

Etat de santé du milieu

- Etat de santé satisfaisant
- Etat de santé moyen (présence de signes de dégradation)
- Secteur moyennement dégradé
- Secteur très dégradé



Etude de cas : Mahé

• **Phase I : analyse de l'existant et cartographie préliminaire**

La cartographie préliminaire du littoral est réalisée suivant trois étapes :

• **Recueil des données bibliographiques :**

Cette étape consiste à rechercher les principales références relatives aux composantes environnementales : géomorphologie, océanographie, biocénoses, activités humaines, etc., auprès de différentes sources d'informations : institutions, milieu scientifique, bureaux d'étude, COI... Plusieurs types de données sont recueillis :

- documents scientifiques et techniques (rapports, ouvrages, publications, résultats d'enquêtes, thèses...) ;
- documents cartographiques (IGN, topographiques, touristiques...) ;
- images aériennes anciennes et récentes de type campagne IGN ou équivalent, images satellites,
- documents de synthèse de type atlas d'environnement des zones sensibles terrestres, plan de gestion environnementale, plan de développement national, ...

L'analyse des données permet d'intégrer les spécificités insulaires des Seychelles et d'organiser les phases suivantes de l'étude.

• **Photo-interprétation et cartographie préliminaire**

La cartographie préliminaire des récifs est basée sur l'interprétation de photos aériennes orthogonales en noir et blanc datant de 1986, qui permettent l'observation du milieu sous-marin jusqu'à une profondeur d'environ 12 mètres. Des zones sont définies et associées à une typologie de milieu (platier, pente externe, herbier, etc.). La carte ainsi élaborée sert de base à la vérification de terrain. Les données de terrain servent ensuite à valider les limites de zones et à compléter les cartes préliminaires.

• **Découpage du littoral**

Le découpage du littoral en unités géomorphologiques intègre de nombreux critères, dont les plus importants sont les limites géographiques ou géomorphologiques, les limites communales ou d'espaces protégés. Au total, 21 zones sont identifiées sur l'île de Mahé.

• **Phase II : acquisition de données de terrain**

Les données de terrain sont acquises de deux manières :

- l'identification et la caractérisation en plongée des principaux faciès géomorphologiques littoraux rencontrés autour de l'île, ainsi que de leurs peuplements dominants et de leur état de santé. Au cours de cette phase est constituée une base de données photographiques sous-marines sur les milieux et organismes rencontrés.
- la recherche d'informations complémentaires ou la validation des données initialement recueillies à la Division Environnement, relatives aux facteurs de risques, c'est-à-dire aux aménagements ou activités humaines ayant une incidence sur les milieux marins littoraux. Des prises de vues photographiques du littoral sont effectuées à basse altitude lors d'un survol en hélicoptère. Elles permettent de compléter la liste des facteurs de risques littoraux et d'identifier les formations récifales inaccessibles par la mer ou depuis le rivage.

Les données de terrain ainsi recueillies permettent d'établir une typologie des milieux marins et de valider la cartographie préliminaire.

• **Phase III : analyse environnementale**

Typologie des milieux et cartographie

Les principaux types d'entités géomorphologiques et biocénétiques rencontrés autour de l'île sont recensés et caractérisés en intégrant les informations bibliographiques et de terrain. La typologie des milieux sous-marins est basée sur des éléments de terminologie récifale et sur leurs composantes biocénétiques telles que :

- l'identification d'organismes animaux et végétaux ;
- la définition de peuplements dominants, spécifiques ;
- la quantification ponctuelle de peuplements caractéristiques (transects localisés, estimation de couverture du substrat, cotations d'abondance...) ;
- les caractéristiques des milieux.

A partir des typologies précédemment définies, la cartographie préliminaire est validée pour donner lieu à une cartographie définitive des principaux types de milieux et de peuplements associés.

Evaluation de la sensibilité, de la risques et de l'état de santé des milieux

Les données sont séparées en trois catégories selon qu'elles relèvent de la sensibilité, des facteurs de risques ou de l'état de santé des milieux :

• **Données relatives à la sensibilité**

Ces données concernent les caractéristiques intrinsèques du milieu, c'est-à-dire la structure et le fonctionnement des écosystèmes (biodiversité, richesse quantitative, productivité biologique, rôle structurant...). Un indice de sensibilité compris entre 1 (sensibilité faible) et 4 (sensibilité forte) est attribué à chaque type de milieu.

La représentation cartographique met en évidence la sensibilité globale inhérente à chaque type de milieu littoral sur l'ensemble de l'île. L'interface entre l'utilisation d'indices de sensibilité et la représentation cartographique est réalisée en attribuant quatre couleurs respectives en fonction de la sensibilité définie au préalable (faible, moyenne, moyenne à forte, forte à très forte).

• **Données relatives aux facteurs de risques**

Ces données concernent les usages du milieu (industriels, agricoles, domestiques). Elles sont classées en fonction de leur nature et de l'importance des risques pour l'environnement, risques d'eutrophisation, de dégradation des peuplements et risques sanitaires. Un indice de risque synthétique scindé en trois classes est ensuite attribué à chaque zone.

• **Données relatives à l'état de santé des milieux**

L'état de santé des milieux marins rencontrés est défini sur la base des éléments suivants :

- le niveau de vitalité de peuplements caractéristiques ;
- la notion d'équilibre écologique ;
- signes ou état de dégradation global des zones prospectées et de leurs peuplements ;
- importance de peuplements de substitution, et/ou de disparition d'espèces ;
- prolifération d'espèces spécifiques (Acanthaster) ou indicatrices de perturbation (peuplements algaux caractéristiques, Echinodermes...).

Plusieurs niveaux d'état de santé des milieux sont ainsi définis.

Etude de cas : Mahé

Synthèse cartographique et identification de zones potentielles d'actions prioritaires

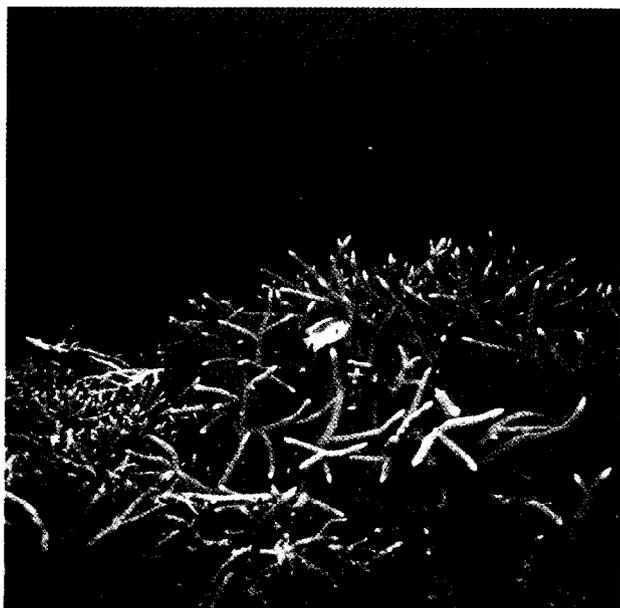
Trois types de cartes sont restitués :

- cartes des peuplements
- cartes de sensibilité
- cartes de synthèse : identification des zones sur lesquelles pourraient être mis en œuvre des programmes d'actions environnementales prioritaires, par superposition des cartes des peuplements et de sensibilité et des données de risques

Les programmes d'actions prioritaires comprennent :

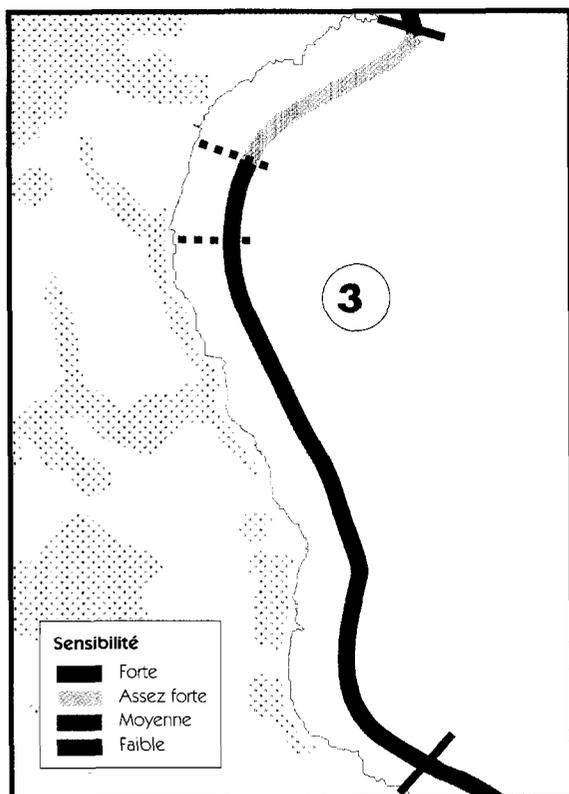
- les projets d'aménagements et de gestion durable ;
- l'aide à l'établissement de normes environnementales (rejets, aménagements...) ;
- les actions de prévention et de conservation (parcs marins) ;
- les programmes de recherche...

Elles constituent le canevas d'une politique de gestion durable et intégrée de la zone côtière (GIZC).



Zone 3

Pointe au Sel - Anse Royale - Petite Marie Louise



Typologie

Ce secteur est marqué par la présence d'un récif frangeant très développé dans une zone exposée à des vents dominants, notamment pendant l'hiver Austral. Le Nord de l'Anse Royale est caractérisée par une pente externe très étendue, de déclivité assez faible, colonisée majoritairement par des d'algues brunes du genre *Sargassum*. Ces peuplements sont également présents au Sud de la passe récifale, bien que nettement moins abondants. Ils sont ensuite remplacés par des coraux mous (*Alcyonaires*) et des coraux durs massifs (*Poritidae*). La zone de platier récifal est par contre caractérisée par une dépression d'arrière récif formant un lagon bien développé, colonisé majoritairement par des peuplements d'algues brunes et de colonies coralliennes dispersées. Les herbiers de phanérogames (herbiers mixtes à dominance de *Syringodium*), sont nettement moins abondants que sur la zone 1, et se rencontrent essentiellement au Sud de la passe, jusqu'au niveau d'Anse Forban. Très localement, les herbiers les plus littoraux présentent des faciès de dégradation liés à des enrichissements nutritifs (zone de passe, exutoires naturels, rejets ...). Ils sont cependant bien développés, et présentent encore une bonne vitalité.

Sensibilité

Cette zone se caractérise par une sensibilité écologique élevée, liée à la présence d'un récif frangeant et d'un lagon bien développé, favorable au développement des activités balnéaires.

Facteurs de risques

Le milieu fait l'objet de pressions anthropiques importantes. L'urbanisation y est particulièrement bien développée, ainsi que les activités d'élevage et l'activité balnéaire (zone de baignade réputée). Par ailleurs, le caractère fermé de ce lagon permet de confiner les apports de polluants le long du rivage et favorise les phénomènes d'enrichissements du milieu et la dégradation des peuplements. Les risques de dégradation de l'environnement sont élevés sur cette zone.

Recommandations

Afin de tempérer les impacts des rejets dans une zone confinée, des efforts importants d'épuration devraient être réalisés. Les traitements devront porter sur tous les niveaux de réduction des Matières en Suspension (dégradation des peuplements), des Matières Organiques, des substances azotées et phosphatées (eutrophisation) et des traitements de finition (risques sanitaires).

Etude de cas : Île de la Réunion

Cas n°2 : Gestion du littoral de l'île de la Réunion

Les milieux aquatiques de l'île de La Réunion, et plus particulièrement le milieu marin littoral, ont longtemps été considérés comme des réceptacles pratiquement insaturables pour de nombreux déchets solides et liquides. A l'intérieur de l'île, les profondes ravines font encore l'objet de nombreuses décharges sauvages, tandis que les eaux marines sont l'ultime milieu récepteur des rejets domestiques et industriels.

Depuis quelques années, l'environnement devient une composante majeure de la qualité de la vie, ce qui se traduit par une réelle prise de conscience des dégradations occasionnées et par la mise en œuvre de réflexions sur la gestion intégrée du littoral. L'étude présentée ci-dessous, réalisée en 1995 à l'initiative de la DIREN-Réunion (Ministère de l'Environnement), s'inscrit dans la procédure des SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) et a permis d'identifier les zones à risques puis de proposer des programmes d'actions destinés à améliorer la qualité de l'environnement marin de l'île de La Réunion.

Principes généraux

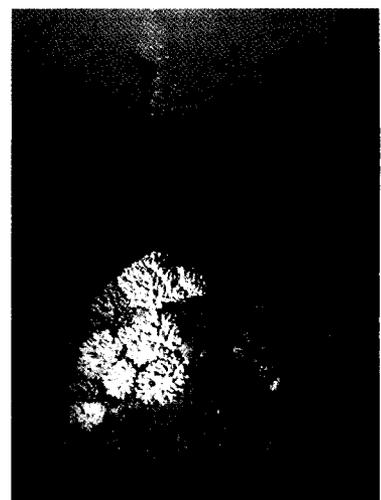
Conformément à la méthodologie générale, le littoral est d'abord découpé en unités géomorphologiques. Ce découpage permet d'identifier 52 zones sur la totalité du littoral réunionnais. A partir de ce "canavas", la phase suivante est consacrée à l'acquisition des données environnementales zone par zone. Ces données (ou descripteurs) sont classées en deux catégories :

- les données relatives à la "**sensibilité**" du milieu, c'est-à-dire concernant ses caractéristiques intrinsèques (données de typologie, de richesse biologique ou d'hydrodynamisme) ;
- les données relatives aux "**facteurs de risques**" menaçant le milieu, c'est-à-dire aux usages (pêche, activités de loisirs...) et aux rejets affectant le littoral (effluents de station d'épuration, de structures industrielles...).

L'analyse de ces données permet alors :

- de valider le découpage effectué, voire de le modifier en fonction des données acquises ;
- de représenter sous forme cartographique les données essentielles et de permettre ainsi une visualisation simple et pratique des caractéristiques du littoral et de son utilisation par l'homme ;
- d'identifier les principaux descripteurs de qualité du milieu marin susceptibles d'affecter le littoral.

Le rapprochement cartographique des zones à la fois sensibles et à risques doivent permettre d'identifier les zones qui sont vulnérables, puis de proposer des programmes d'action.



Etape 1 : découpage du littoral

Typologie des milieux et cartographie

Le découpage en unités géomorphologiques a pour objectif d'organiser de manière rationnelle le recueil des données. Trois critères sont retenus pour réaliser ce découpage :

- **La taille :**

les limites entre zones sont déterminées de manière à obtenir dans la mesure du possible des zones de taille comprise entre 5 et 10 kilomètres.

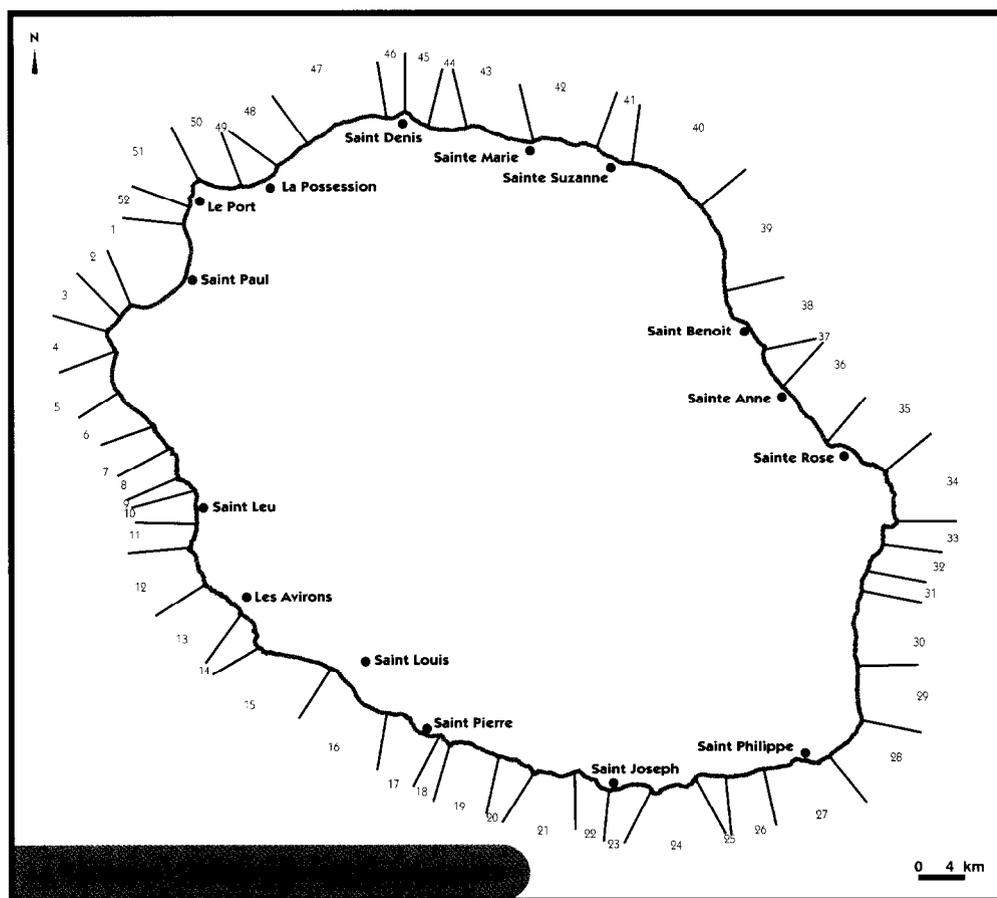
- **La géomorphologie et la géographie :**

la délimitation des zones s'effectue selon des structures géographiques remarquables facilement décelables (caps, ravines).

- **Les limites communales :**

dans le but d'une adéquation avec le découpage administratif de chaque zone, les limites tentent de coïncider avec limites communales. Une seule commune peut cependant abriter plusieurs zones.

Au total, 52 zones sont identifiées : elles sont figurées sur la carte suivante.



Etude de cas : Île de la Réunion

Etape 2 : Recueil des données

Les données sont recherchées auprès de différentes sources :

- **une recherche bibliographique pluridisciplinaire :**
documents scientifiques et techniques, cartes d'origine diverses, documents de synthèses ou monographies ;
- **une enquête auprès des services et organismes concernés :**
Conseil Régional, Direction de l'Environnement, Services Vétérinaires, Conseil Général, laboratoires de recherche, associations, etc ;
- **une enquête sur le terrain**

Différents types de données sont recueillis :

- **des données du milieu physique et biologique :**
 - la géomorphologie du littoral ;
 - la typologie biologique des milieux ;
 - les phénomènes hydrodynamiques (exposition aux vents, à la houle ; courantologie générale, confinement) ;
 - l'existence ou non d'érosion littorale ;
 - la présence de rivières et ravines en eaux ou sèches ;
 - les émergences d'eaux douces côtières et sous-marines.
- **des données sur les utilisations du milieu :**
 - les zones de pêche ou d'exploitation des ressources marines ;
 - les zones de fréquentation touristique et d'activités aquatiques : baignade, plongée, surf...
 - les zones d'aquaculture ;
 - les zones ayant un intérêt culturel ou historique particulier ;
 - les zones protégées...
- **des données sur les activités humaines :**
 - les centres urbains (localisation, importance de la population...) ;
 - les zones industrielles (nature des industries, type de pollutions éventuelles...) ;
 - les points de rejets des eaux usées urbaines et pluviales (débits, nature des effluents...) ;
 - la présence et l'état de fonctionnement des structures d'assainissement et de traitement des ordures ménagères ;
 - les zones portuaires ;
 - les zones de grands travaux en cours d'exécution ou en projet ;
 - les zones d'exploitation de matériaux : remblais, carrières...

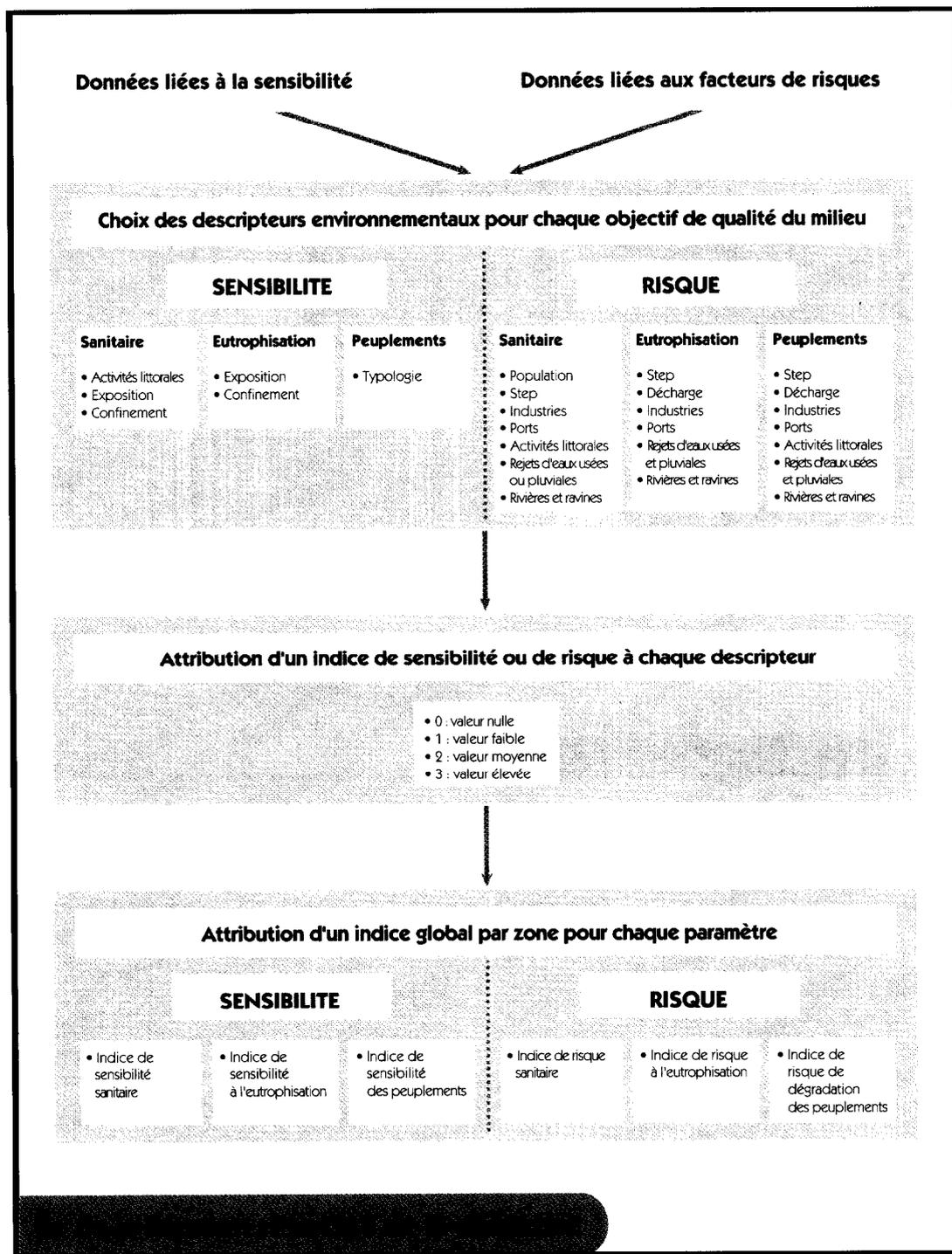
Etape 3 : Constitution des tableaux

L'ensemble de ces données est rassemblé dans deux tableaux distincts, l'un concernant les caractéristiques naturelles et anthropiques du milieu, l'autre rassemblant les menaces avérées et potentielles s'exerçant sur ces milieux.

Etape 4 : Représentation cartographique des données et SIG

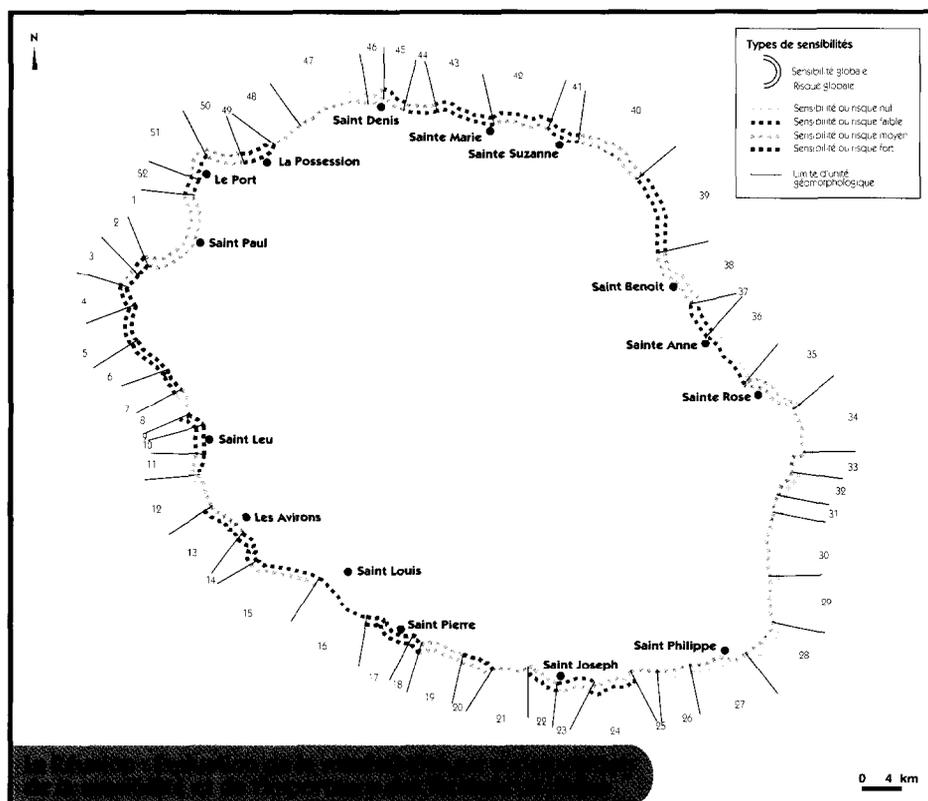
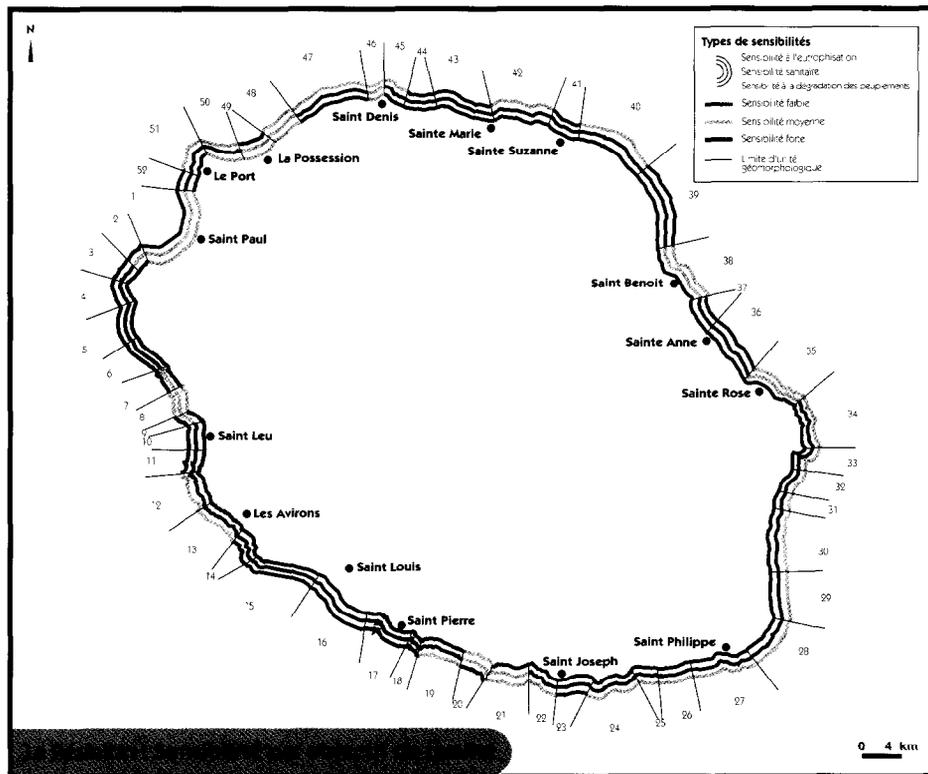
Les données les plus importantes sont représentées graphiquement sur une carte de l'île au 1/100 000. Toute l'information est par ailleurs saisie sur une base de données et intégrée dans le Système d'Information Géographique (SIG) Map Info, détenu par la DIREN.





Les deux cartes suivantes illustrent la représentation graphique des données brutes. Pour des raisons de présentation, seule l'information principale est figurée.

Etude de cas : Île de la Réunion



ZONE DU PORT-LA-POSSESSION

Vulnérabilité : forte. Cette zone est fortement industrialisée et urbanisée. Elle fait, de plus, l'objet de divers projets de développements.

Sensibilité : forte. Il existe plusieurs milieux d'une grande richesse écologique, notamment à la Pointe des Galets et de part et d'autre de la Ravine des Lataniers ainsi qu'un tombant profond au large du nouveau port.

Usage : zone de pêche côtière et de pratique de la chasse sous-marine.

Connaissance scientifique : le milieu a été sommairement décrit par diverses expertises scientifiques. Sa sensibilité est donc reconnue.

Type d'étude à mettre en place : explorations complémentaires des parties encore inconnues, description précise des peuplements, mise en place d'un suivi.

Priorité d'action : compte tenu des nombreux projets de développement, il semble urgent de mettre en place les suivis.

Opérateurs : Université, bureaux d'études (BE) pour la mise en place de la méthodologie de suivi, BE et autre partenaires locaux pour la mise en œuvre du suivi, des inventaires et des explorations complémentaires.

Budgets (sur 2 ans) : 300 KF H.T.

Partenaires financiers : outre le DIREN et la Région, il existe des projets de financements de suivis de la part de certains industriels concernés (SRPP).



Bibliographie

La réalisation de ce guide s'appuie sur les travaux réalisés antérieurement par cette équipe et plus particulièrement :

E. Dutrieux, C. Aichelmann, J.P. Quod et L. Bigot, 1995 : Gestion intégrée du littoral de l'île de la Réunion. Document méthodologique préparatoire à la mise en place d'une planification environnementale. Document réalisé pour le compte de la Direction Régionale de l'Environnement de la Réunion.

J.P. Quod, L. Bigot et E. Dutrieux, 1996 : Etude de faisabilité pour la mise en place d'un réseau de surveillance sur le littoral de l'île de la Réunion. Document réalisé pour le compte de la Direction Régionale de l'Environnement de la Réunion.

Y. Henocque et J. Denis (coordinateurs), 1997 : Guide méthodologique d'aide à la gestion intégrée de la zone côtière. Guide réalisé pour le compte de l'UNESCO, série «manuels et guides», n°36.

L. Bigot, J. Maharavo, E. Dutrieux, C. Aichelmann, 1998 : Cartographie pilote des zones marines peu profondes de l'île de Mahé (République des Seychelles). Contribution au plan de gestion intégrée (GIZC) des zones côtières de l'Océan Indien. Rapport Green-OI pour le compte du PRE-COI/UE. 80 p. + annexes.

E. Dutrieux, S.M. Lourié, C. Aichelmann, L. Bigot, J.P. Quod et N. Vernier, 1998 : Etude pilote de la cartographie des zones peu profondes de Mahé (Seychelles). Atlas réalisé pour le compte de l'IOC/UNESCO, du PRE/COI-UE et de la CN PRE/COI/Seychelles.



IOC Manuals et Guides

No.	Titres
1 rev. 2	Guide to IGOSS Data Archives and Exchange (BATHY and TESAC). 1993. 27 pp. (English, French, Spanish, Russian)
2	International Catalogue of Ocean Data Station. 1976. (Out of stock)
3 rev. 3	Guide to Operational Procedures for the Collection and Exchange of JCOMM Oceanographic Data. Third Revised Edition, 1999. 38 pp. (English, French, Spanish, Russian)
4	Guide to Oceanographic and Marine Meteorological Instruments and Observing Practices. 1975. 54 pp.
(English)	
5 rev.	Guide for Establishing a National Oceanographic Data Centre, 1997. 42 pp. (English)
6 rev.	Wave Reporting Procedures for Tide Observers in the Tsunami Warning System. 1968. 30 pp. (English)
7	Guide to Operational Procedures for the IGOSS Pilot Project on Marine Pollution (Petroleum) Monitoring. 1976. 50 pp. (French, Spanish)
8	(Superseded by IOC Manuals and Guides No. 16)
9 rev.	Manual on International Oceanographic Data Exchange. (Fifth Edition). 1991. 82 pp. (French, Spanish, Russian)
9 Annex I	(Superseded by IOC Manuals and Guides No. 17)
9 Annex II	Guide for Responsible National Oceanographic Data Centres. 1982. 29 pp. (English, French, Spanish, Russian)
10	(Superseded by IOC Manuals and Guides No. 16)
11	The Determination of Petroleum Hydrocarbons in Sediments. 1982. 38 pp. (French, Spanish, Russian)
12	Chemical Methods for Use in Marine Environment Monitoring. 1983. 53 pp. (English)
13	Manual for Monitoring Oil and Dissolved/Dispersed Petroleum Hydrocarbons in Marine Waters and on Beaches. 1984. 35 pp. (English, French, Spanish, Russian)
14	Manual on Sea-Level Measurements and Interpretation. 1985. 83 pp. (English, French, Spanish, Russian)
15	Operational Procedures for Sampling the Sea-Surface Microlayer. 1985. 15 pp. (English)
16	Marine Environmental Data Information Referral Catalogue. Third Edition. 1993. 157 pp. (Composite English/French/Spanish/Russian)
17	GF3: A General Formatting System for Geo-referenced Data Vol. 1: Introductory Guide to the GF3 Formatting System. 1993. 35 pp. (English, French, Spanish, Russian) Vol. 2: Technical Description of the GF3 Format and Code Tables. 1987. 111 pp. (English, French, Spanish, Russian) Vol. 4: User Guide to the GF3-Proc Software. 1989. 23 pp. (English, French, Spanish, Russian) Vol. 5: Reference Manual for the GF3-Proc Software. 1992. 67 pp. (English, French, Spanish, Russian) Vol. 6: Quick Reference Sheets for GF3 and GF3-Proc. 1989. 22 pp. (English, French, Spanish, Russian)
18	User Guide for the Exchange of Measured Wave Data. 1987. 81 pp. (English, French, Spanish, Russian)
19	Guide to IGOSS Specialized Oceanographic Centres (SOCs). 1988. 17 pp. (English, French, Spanish, Russian)
20	Guide to Drifting Data Buoys. 1988. 71 pp. (English, French, Spanish, Russian)
21	(Superseded by IOC Manuals and Guides No. 25)
22	GTSP Real-time Quality Control Manual. 1990. 122 pp. (English)
23	Marine Information Centre Development: An Introductory Manual. 1991. 32 pp. (English, French, Spanish, Russian)
24	Guide to Satellite Remote Sensing of the Marine Environment. 1992. 178 pp. (English)
25	Standard and Reference Materials for Marine Science. Revised Edition. 1993. 577 pp. (English)
26	Manual of Quality Control Procedures for Validation of Oceanographic Data. 1993. 436 pp. (English)
27	Chlorinated Biphenyls in Open Ocean Waters: Sampling, Extraction, Clean-up and Instrumental Determination. 1993. 36 pp. (English)
28	Nutrient Analysis in Tropical Marine Waters. 1993. 24 pp. (English)
29	Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) Core Measurements. 1994. 178 pp. (English)
30	MIM Publication Series: Vol. 1: Report on Diagnostic Procedures and a Definition of Minimum Requirements for Providing Information Services on a National and/or Regional Level. 1994. 6 pp. (English) Vol. 2: Information Networking: The Development of National or Regional Scientific Information Exchange. 1994. 22 pp. (English) Vol. 3: Standard Directory Record Structure for Organizations, Individuals and their Research Interests. 1994. 33 pp. (English)
31	HAB Publication Series: Vol. 1: Amnesic Shellfish Poisoning. 1995. 18 pp. (English)
32	Oceanographic Survey Techniques and Living Resources Assessment Methods. 1996. 34 pp. (English)
33	Manual on Harmful Marine Microalgae. 1995. (English)
34	Environmental Design and Analysis in Marine Environmental Sampling. 1996. 86 pp. (English)
35	IUGG/IOC Time Project. Numerical Method of Tsunami Simulation with the Leap-Frog Scheme. 1997. 122 pp. (English)
36	Methodological Guide to Integrated Coastal Zone Management. 1997. 47 pp. (French, English)
37	Post-Tsunami Survey Field Guide. First Edition. 1998. 61 pp. (English, French, Spanish, Russian)

