



Unité de Service Enseignement  
et Formation en Elevage  
Campus de Baillarguet, TA A-71 / B  
34 398 MONTPELLIER Cedex 5



Université Montpellier II  
UFR – Fac de Sciences  
Place Eugène Bataillon  
34 095 MONTPELLIER Cedex 5

## MASTER

**BIOLOGIE GEOSCIENCES AGRORESSOURCES ENVIRONNEMENT**  
**SPECIALITE ECOLOGIE FONCTIONNELLE ET DEVELOPPEMENT DURABLE**  
**PARCOURS ELEVAGE DES PAYS DU SUD :**  
**ENVIRONNEMENT, DEVELOPPEMENT**

---

## SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

### DE SECONDE ANNEE

# Solutions envisageables pour la sauvegarde de la biodiversité des écosystèmes coralliens

Présenté par

**Gabriel Bidawid**

Année universitaire 2007-2008

CIRAD-Dist  
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE  
Baillarguet

CIRAD



\*000092847\*

## Résumé

L'augmentation galopante de démographie mondiale entraîne une demande croissante en produits de la mer. Or malgré des techniques de plus en plus performantes depuis les années 1990, on assiste à une diminution des stocks naturels dont la conséquence est une régression des quantités débarqués. De plus, le nombre de ressources marines surexploitées est de plus en plus important. A cause d'une pression anthropique croissante entraînant de multiples agressions sur les récifs coralliens, il est estimé que 30 % d'entre eux ont déjà disparu et qu'environ 60% des récifs coralliens de la planète seront perdus d'ici 2030 si aucune mesure de protection efficace n'est mise en œuvre. Face à l'urgence de la situation, il est urgent de développer des solutions pouvant contribuer significativement à la sauvegarde des écosystèmes coralliens.

La surface marine protégée dans le monde ne représente que 0,5% des océans, alors qu'il faudrait en protéger 10 à 15% pour assurer sa conservation, en particulier dans la zone proche des rivages où se trouve l'essentiel de la biodiversité marine. Dans ce contexte, les Aires Marines Protégées sont désormais reconnues comme l'un des instruments politiques les plus efficaces, pour la protection des ressources marines. Cependant leurs mises en œuvre doivent faire face dans bon nombre de cas à une situation économique, sociale, politique et institutionnelle complexe.

Les récifs artificiels imitent les caractéristiques des zones rocheuses naturelles. Correctement construits et immergés, ils permettent d'induire chez les animaux marins des réponses d'attraction, de concentration, de protection et de reproduction, entraînant ainsi une augmentation de la biomasse et de la biodiversité et apparaissent comme une solution simple et efficace. Leur mise en œuvre massive, comme cela est le cas au Japon permet d'alléger significativement l'effort de pêche sur les récifs naturels et ainsi, contribuer grandement à la préservation de l'environnement.

Il est estimé que la valeur à l'import des animaux marins d'aquarium rapporte chaque année, 257 millions de dollars américains. Ce marché fortement rémunérateur incite bon nombre de pêcheurs à employer des méthodes de pêche destructrices comme l'utilisation d'explosifs et du cyanure. Sur 100 poissons marins tropicaux à la vente, seulement 1 provient d'un élevage. Certains problèmes techniques comme l'obtention de pontes ainsi que la première alimentation larvaire constituent des limites au développement massif d'écloseries et de fermes de poissons marins tropicaux. Or la recherche scientifique ne cesse de progresser et des pistes de recherches concluantes permettent de penser que l'aquaculture dite ornementale sera capable, avec le temps, de contribuer significativement à alléger la pression de pêche sur les écosystèmes coralliens. Il existe d'ores et déjà des exemples réussis d'aquaculture marine tropicale ayant relevé le défi. Pour cela, l'important a été de sensibiliser et d'impliquer les communautés locales. Car de façon générale, c'est la pauvreté qui conditionne l'utilisation des ressources.

Des solutions existent pour la préservation et l'utilisation durable des ressources coralliennes. Leurs résultats dépendront essentiellement de la volonté, des moyens et de la conscience que l'Homme mettra dans leurs mises en œuvre.

**Mots-clés : Développement durable, Protection, récif corallien, Aire Marine Protégée, Récif Artificiel, Aquaculture**

# Sommaire

Introduction

I. Problématique

II. Les solutions envisageables

**II. 1. La mise en place d'aires marines protégées (AMP)**

**II. 2. La création de récifs artificiels (RA)**

II. 2. A) L'importance des caractéristiques techniques d'un RA :

*Le design*

*Les matériaux de construction*

*La taille*

*L'emplacement*

II. 2. B) Les fonctions d'un RA

**II. 3. L'aquaculture**

*L'acclimatation des géniteurs*

*L'alimentation larvaire*

III. Perspectives d'avenir

Conclusion

Bibliographie

Annexe

# Introduction

## **Les récifs coralliens : un monde fascinant, précieux, en danger, et à protéger d'urgence.**

Un monde fascinant. La diversité et l'étrangeté des formes et couleurs que l'on y rencontre résultent d'une évolution sur plusieurs millions d'années, au cours desquelles des centaines de milliers d'espèces se sont inventé une place et un rôle dans le fonctionnement dans l'écosystème. La nature seule a tout imaginé autour des récifs coralliens, la plus grande construction jamais réalisée par des êtres vivant à la surface de la planète.

Un monde précieux, qui assure à plusieurs centaines de millions d'êtres humains une ressource alimentaire quotidienne. Tout en protégeant les côtes et les implantations humaines, les récifs coralliens sont une source de revenus grâce au tourisme. Leur biodiversité recèle des potentialités encore inexplorées par la science pour l'humanité. Et grâce à l'activité photosynthétique des zooxanthelles, algues symbiotiques des coraux, il est l'un des poumons indispensable de notre planète au même titre que la forêt amazonienne.

Un monde en danger, dont un cinquième de la superficie a été irrémédiablement détruit au cours du siècle passé. Les causes ?

Une surexploitation des ressources naturelles par une population décuplée dans les pays riverains ; l'effet néfaste du réchauffement climatique avec une température océaniques trop chaude qui entraîne le blanchiment et la mort des coraux ; mauvaise gestion des zones côtières provoquant un apport de terre qui étouffe les coraux ; pollution.

Un monde à protéger, symbole de tous les autres écosystèmes de la planète. Si l'Homme poursuit le rythme infernal de son développement sans considération de la Nature de laquelle on ne peut l'abstraire, il n'y aura pas seulement dégradation, mais disparition des récifs coralliens.

Cette introduction pourrait ressembler à un appel solennel à la nation voir au monde entier. Mais après avoir développé la problématique concernant cette nécessité de protection des récifs coralliens, cette présente synthèse bibliographique, se propose de passer en revue les solutions concrètes qui peuvent être envisagées pour la conservation des écosystèmes coralliens et de leur biodiversité ainsi que leurs résultats prouvés dans différentes études scientifiques. Ces solutions peuvent-être d'ordre politique, technique et scientifique.

Enfin, une fois cet éventail d'actions et de mesures réalisé, ce rapport s'attachera à discuter et comparer ces solutions entre elles et à répondre à différentes questions :

Est-il encore possible d'inverser cette tendance à l'altération et à la destruction des récifs coralliens à travers la planète bleue? Y'a-t-il une recette miracle pour sauvegarder ces écosystèmes ? Laquelle des solutions proposées dans cette étude est la plus efficace ? L'efficacité ne dépend-elle pas du contexte socio-économique local ? Ces solutions, toutes déjà mises en œuvre dans le monde, ne peuvent-elles pas, en se combinant, contribuer de façon significative à la préservation de ces milieux fragiles que sont les écosystèmes coralliens ?

## I. Problématique

Plus que jamais, les récifs coralliens, les plus grandes constructions réalisées par des êtres vivants, (comme en témoigne la Grande Barrière de Corail en Australie qui s'étend sur plus de 2000 km), sont en danger de disparition. Selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE-WCMC, 2006), 30 % des récifs coralliens ont déjà disparu, 80 % des récifs du Sud-est asiatique sont fortement menacés. Il est également estimé, qu'environ 60% des récifs seront perdus d'ici 2030 (par une trop forte pression anthropique), si aucune mesure de protection efficace n'est mise en œuvre (PNUE-WCMC, 2006).

Selon les estimations de l'Alliance Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN, voir : PNUE-UICN, 2003), on ne connaît qu'environ 275 000 espèces marines alors qu'il existerait entre 500 000 et 100 millions d'espèces vivant dans les fonds marins. Ces données montrent le déficit important de connaissance sur la mer et il est probable que le nombre d'espèces en danger dans la zone marine soit très nettement supérieur à celui affiché. En raison des nombreux enjeux qu'elle représente, la perte de la biodiversité marine constitue une préoccupation majeure de niveau international.

Avec une démographie mondiale croissante, la demande en produits de la mer a elle aussi augmenté. Or malgré des techniques de plus en plus performantes depuis les années 1990, on assiste à une diminution des stocks naturels dont la conséquence est une régression des quantités débarquées (voir la figure 1). De plus, le nombre de ressources marines surexploitées est de plus en plus important (FAO, 1995).

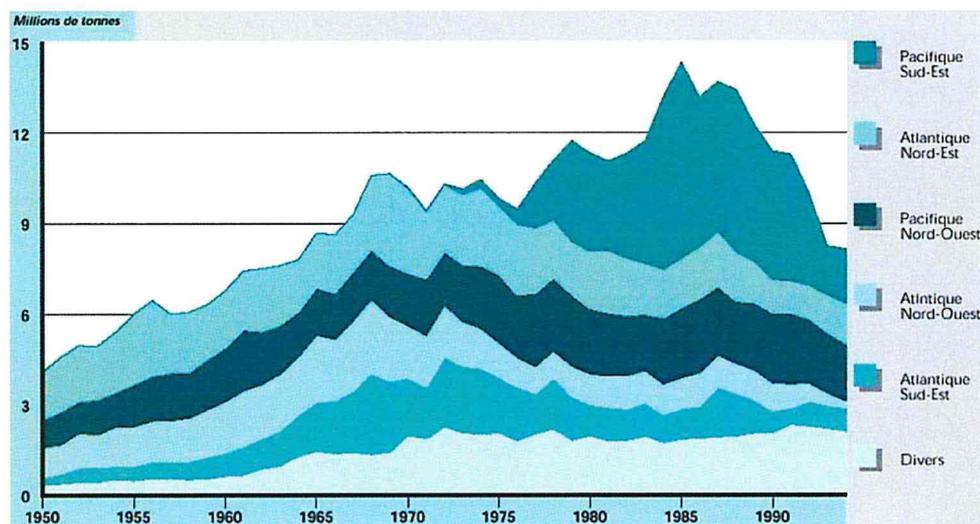


Fig. 1 : Quantités de produits de la mer (en millions de tonnes) débarquée au niveau mondial pendant la deuxième moitié du XXème siècle. (Source : FAO, 1995)

Mais quelles sont les causes de cette disparition ? Selon les deux rapports majeures en la matière, mis en œuvre par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE, 2003, 2006), voici les principales raisons :

Tout d'abord, les hydrocarbures, les polluants organiques persistants, les pesticides ou les cyanures perturbent la fécondation et la fixation de certaines larves des polypes, ou sont susceptibles d'inhiber la photosynthèse de ces algues symbiotiques entravant, de ce fait, le renouvellement des colonies et la restauration des récifs déjà dégradés par l'homme.

Les herbicides peuvent provoquer le blanchissement des coraux en induisant l'expulsion par les polypes des zooxanthelles, ces algues unicellulaires vivant en symbiose avec le corail.

La circulation maritime générale, les rejets des centres urbains, les accidents de transport de composés chimiques dangereux et les pollutions liées à l'exploitation de gisements de pétrole off shore sont également sources de polluants toxiques.

Les agressions chimiques peuvent aussi provenir du transfert de polluants atmosphériques dans les eaux marines, par la voie des précipitations, ou encore de l'usage, généralement clandestin, de cyanures pour la capture de poissons destinés à l'aquariophilie ou à la restauration. En plus de leurs actions directes sur les coraux durs, les polluants toxiques rejetés dans les eaux récifales peuvent aussi agir sur d'autres habitats propres aux écosystèmes coralliens. C'est le cas en particulier de l'action des herbicides sur les peuplements végétaux des herbiers récifaux : diminution de l'activité photosynthétique, durée de reconstitution allongée après une destruction, etc.

Les écosystèmes récifaux sont également détruits directement lors de prélèvements de matériaux de construction ou lors de l'aménagement de ports, de zones industrielles, de marinas qui accompagnent notamment le développement du tourisme balnéaire.

Partout dans le monde, les coraux subissent les effets du réchauffement climatique et notamment, ceux du phénomène El nino qui se traduit par une augmentation de la température des eaux de surface. Or les coraux sont très sensibles aux variations de température. Une augmentation de 1 à 2 °C suffit pour que les polypes commencent à expulser leurs algues symbiotiques, ce qui provoque le fameux blanchiment des coraux.

Or, l'élévation actuelle de la température de l'eau océanique contribue à l'accroissement des maladies de coraux, rendus plus vulnérables. La fréquence de ces maladies a augmenté de manière significative ces dernières années (Spalding *et al.*, 2001). La synergie de facteurs stressants et de l'élévation des températures a eu pour effet d'accroître un certain nombre de pathologies infectieuses. Des cas de maladies d'origine bactérienne : maladie de la bande noire et maladie de la bande blanche ont ainsi été observées un peu partout de façon irrégulière, principalement dans les Caraïbes où des récifs coralliens entiers ont été décimés par la maladie.

A cela, la dégradation des récifs coralliens fait courir à la pêche et aux populations locales un risque plus radical encore : l'apparition de la ciguatera (PNUE- WCMC, 2006). Sur les coraux morts se développent systématiquement une algue filamenteuse et avec elle, un dinoflagellé péridinien *Gimberdiscus toxicus*. Ingérée par les animaux herbivores qui, à leur tour, servent de nourriture aux poissons carnivores, la ciguatoxine se concentre sur toute la chaîne alimentaire. Dernier maillon de la chaîne, l'homme tombe malade lorsqu'il ingère du poisson infesté.

Dans certaines régions la demande en produits de la mer dépasse largement la capacité productrice des écosystèmes récifaux, surtout quand ceux-ci subissent déjà d'autres pressions humaines. Dans certains cas, l'élimination des poissons les plus prisés qui sont aussi les plus gros prédateurs a complètement bouleversé l'écologie des récifs (Russ et Alcalá, 2004). Plus les poissons deviennent rares, plus les pêcheurs, dans beaucoup de régions, se tournent vers des méthodes destructrices comme l'emploi du cyanure ou les explosifs, ce qui dégrade encore plus les écosystèmes récifaux.

A tous les niveaux, la pauvreté, les inégalités et le surpeuplement de certaines zones, conditionnent l'utilisation des ressources (PNUE- WCMC, 2006).

Ainsi, la pêche au cyanure a débuté dans les années 1960 aux Philippines et était destinée à alimenter le commerce international des poissons d'aquarium et des poissons vivants destinés à la restauration asiatique (PNUE-IUCN, 2003). En effet, le cyanure accroît de manière considérable le nombre de poissons capturés en les rendant lents et maladroits mais tue également les coraux et de nombreux autres animaux transformant ces forêts tropicales sous-marines en désert. Pour chaque poisson pêché vivant à l'aide du cyanure, un mètre carré de récif a été détruit (PNUE-WCMC., 2006).

La pêche aux explosifs reste cependant la méthode de pêche la plus destructrice pour les récifs coralliens. Ils sont généralement lancés vers le récif et explosent à la surface de l'eau. L'onde de choc provoquée tue la majorité des espèces de poissons et cause d'énormes dégâts à la structure du récif.

L'accroissement de la pression de pêche, que ce soit en termes de quantité, de méthodes ou d'utilisation de ses produits, tient au développement de nouvelles technologies et de nouvelles demandes émanant d'une population mondiale toujours plus importante (PNUE-WCMC, 2006). L'amélioration des transports et des techniques de conservation en aquarium pour l'aquariophilie ou la restauration a créé des débouchés importants pour des poissons et invertébrés vivants à des prix très supérieurs à ceux pratiqués sur les marchés traditionnels du poisson. En se cumulant, ces deux types de demandes ont d'ores et déjà dépassé les capacités productives des récifs dans beaucoup d'endroits (PNUE- WCMC, 2006).

Pourtant, en 1972, la nécessité d'adopter des principes communs en vue d'inspirer et guider les efforts des peuples du monde en vue de préserver et d'améliorer l'environnement avait déjà, été internationalement reconnue, à Stockholm lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement (PNUE, 1972). Il avait été expressément souligné : « *l'importance vitale pour l'humanité des mers et de tous les organismes vivant dans les océans* ». Or les multiples et anciennes réglementations s'avèrent désormais peu efficaces pour gérer les pressions croissantes qui pèsent sur les écosystèmes marins. En effet, entre pêche à outrance, pollution et destruction du littoral, l'équilibre dynamique de l'environnement marin se trouve fortement compromis.

Même si internationalement reconnu comme l'un des écosystèmes les plus importants de la planète (PNUE-WCMC, 2006), la protection des récifs par le droit international sera relativement peu abordée dans ce présent document. Traiter l'ensemble des conventions et mesures internationales concernant ce sujet nécessiterait un travail spécifique. Mais à l'aube de ce 21<sup>ème</sup> siècle, la protection des récifs coralliens et de la biodiversité qu'ils abritent, constitue un véritable défi pour le droit international de l'environnement et le monde politique en général. Car il devra s'adapter aux nombreux obstacles juridiques, sociaux et économiques qui se dressent contre leur protection et leur gestion durable.

Dans ce contexte, les Aires Marines Protégées sont désormais reconnues comme l'un des instruments politiques les plus efficaces, pour la protection des ressources marines (Rudd *et al.*, 2003). Mais quelles sont leur réelle efficacité en terme de préservation des écosystèmes coralliens, dans les zones où elles sont mises en œuvre ?

## II. Les solutions envisageables

### II. 1. La mise en place d'aires marines protégées (AMP)

Une AMP est définie comme “any area of intertidal or subtidal terrain, together with its overlying water and associated flora, fauna, historical and cultural features, which has been reserved by law or other effective means to protect part or all of the enclosed environment” (IUCN, 1988). («*Tout espace intertidal ou infratidal ainsi que ses eaux sus-jacentes, sa flore, sa faune et ses ressources historiques et culturelles que la loi ou d'autres moyens efficaces ont mis en réserve pour protéger en tout ou en partie le milieu ainsi délimité*»).

En 2003, le nombre des aires protégées avait augmenté de manière significative au cours des dix dernières années. Ainsi, 12% des terres émergées sont désormais classées (PNUE-IUCN, 2003). Or cette évolution positive ne s'applique pas aux océans. En effet, la surface marine protégée dans le monde ne représente que 0,5% des océans, ce qui est largement insuffisant pour assurer la protection des habitats et des espèces au niveau global (PNUE-IUCN, 2003).

L'ONU ainsi que l'union mondiale pour la nature (PNUE-IUCN, 2003), considèrent qu'il faudrait protéger 10 à 15% du milieu marin mondial pour assurer sa conservation, en particulier dans la zone proche des rivages où se trouve l'essentiel de la biodiversité marine. Par ailleurs, la création d'aires protégées ne doit pas faire oublier les dégradations croissantes dans les zones non protégées.

Toujours selon ce même rapport, presque 2,2 milliards de personnes dans le monde, soit plus d'un tiers de la population mondiale, vivent à 100 kilomètres d'un récif corallien qui leur procurent des bénéfices divers : produits de la pêche, revenus du tourisme, protection contre les vagues et les tempêtes. La population côtière devant doubler dans le monde d'ici à 2050, les récifs coralliens subiront des pressions croissantes dues à l'aménagement non contrôlé des littoraux. Un tel aménagement ne fait pas seulement peser de graves menaces sur l'écosystème corallien, il entraîne également sur le plan socio-économique un manque à gagner durable.

Les AMP figurent aujourd'hui parmi les outils les plus pertinents en matière de conservation de la biodiversité marine et de gestion durable des ressources naturelles. Elles couvrent environ 20 % des 284 300 kilomètres carrés des récifs mondiaux recensés dans l'Atlas mondial des récifs coralliens (Spalding *et al.*, 2001). Cependant, 70% de tous les récifs coralliens protégés par des engagements nationaux et internationaux se trouvent dans une seule AMP, à savoir, le parc marin de la Grande Barrière de Corail en Australie (350 000 km<sup>2</sup>). Les autres récifs sont répartis sur plus de 670 AMP, dont la plupart couvrent moins de 3 km<sup>2</sup>. Ils sont donc trop petits et trop fragmentés pour qu'il soit possible de les protéger efficacement et à long terme (Spalding *et al.*, 2001).

Il existe plusieurs types d'aires protégées, en fonction des objectifs que l'on se fixe, et L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN, 2007) en définit 6 grandes catégories : Les **réserves intégrales**, où toute forme d'activité est interdite et qui sont destinées à maintenir le caractère naturel du site. Les **parcs nationaux marins**, dans lesquels des activités de tourisme ou de pêche sont autorisées mais réglementées et organisées dans l'espace. Les **aires de gestion d'un habitat**, Les **aires de gestion d'une espèce menacée**. Il existe aussi, les **paysages marins protégés** ainsi que les **aires de ressources naturelles gérées**, qui permettent le développement durable d'activités liées à la mer.

L'aire marine protégée ne peut fonctionner que si les utilisateurs des ressources comprennent pourquoi elle est mise en place et que s'ils reconnaissent qu'à terme, ils seront les bénéficiaires de ces mesures de protection (Plumer, 2004). Toute mise en place d'une AMP doit donc être précédée d'une campagne d'information et d'explication très poussée. De plus, il est primordial que les communautés locales soient associées aux projets, et qu'elles y participent activement (Plummer *et al.*, 2004 ; White *et al.*, 2005 ; Cho, 2005 ; Rudd *et al.*, 2003).

Par exemple, le parc national marin de l'île de Bonaire, créé en 1979 aux Antilles néerlandaises, est un exemple de gestion réussie d'une aire marine protégée. En effet, les communautés locales ont trouvé le moyen de combiner croissance économique et protection des coraux grâce au tourisme qui favorise la préservation (Plummer, 2004). Ainsi, des gardes font respecter l'interdiction de ramassage des coraux, de la chasse sous-marine au harpon et de la pêche commerciale. Entre 1991 et 1994, le nombre de plongées effectués par des touristes dans le parc national, a augmenté de 70%, amenant avec lui, un apport financier conséquent (Hawkins, 1999). Cependant cette intensité de visites n'a eu qu'un impact minime sur l'écosystème corallien (Hawkins, 1999).

L'entrée est en outre payante depuis 1992 pour parvenir à l'autofinancement. Bonaire a été l'un des premiers parcs marins à atteindre cet objectif et ne dépend pas de l'argent des fondations ou des impôts. Alors que la dégradation se poursuit dans les autres îles des Caraïbes, les coraux de Bonaire sont parmi les plus sains de la région (Hawkins *et al.*, 1999, Plummer *et al.*, 2004). Tout indique que grâce aux efforts permanents des gardes, l'île va conserver ses récifs en bon état et augmenter ses revenus (Hawkins, 1999).

Cependant, l'île de Bonaire demeure une exception. Selon le rapport du PNUE-IUCN (2003), 80% des aires marines protégées ne disposent pas de moyens humains et matériels pour mettre en œuvre de réelles mesures de gestion et de conservation, c'est-à-dire la réglementation des activités, la réduction des pollutions, la surveillance, l'accueil et l'information du public. Beaucoup de zones protégées n'existent ainsi que sur le papier et leur désignation ne sont pour la plupart que des effets d'annonce de la part des gouvernements. La seule préoccupation des pays est souvent de lutter contre les impacts directs de l'homme sur les récifs, laissant de côté les sources moins immédiates de menace, en particulier la pollution et la sédimentation dues aux terres adjacentes.

Par exemple, en 1974, aux Philippines (Sumilon Island, Cebu), une première AMP a été établie dans le cadre de l'Integrated Coastal Management (ICM) en associant : Gouvernement philippin, pouvoir locaux, organisation non gouvernementales, chercheurs, et divers organismes donateurs (White *et al.*, 2005). Ce projet particulièrement bien suivi et géré, avait permis d'augmenter les volumes de pêches aux bords de l'AMP. Sur cette même AMP, entre 1983 et 2000, la biomasse des gros poissons prédateurs a constamment augmenté de façon exponentielle. Cette augmentation n'est possible qu'avec une protection rigoureuse et à long terme (Russ *et al.*, 2004).

Le résultat ayant été concluant, en 1991, le gouvernement central, décida d'encourager le développement d'AMP à travers tout l'archipel philippin. Cependant si le nombre d'AMP avait nettement augmenté, le taux de succès est resté bas. En cause, le manque de gestion participative, de moyens de surveillance et la faible surface moyenne dévolue aux AMP (White *et al.*, 2005). De plus, dans bien des cas l'AMP ne restait pas assez longtemps un sanctuaire (Russ *et al.*, 2004). En effet, une pression anthropique ainsi qu'une intensité de

pêche croissantes ont pour effet de détruire l'habitat naturel des espèces recherchées (Turner *et al.*, 1999) tout autour, et parfois dans l'AMP, et d'entraîner inexorablement la diminution des stocks naturels (voir la figure 2) avec ou sans AMP (White *et al.*, 2005).

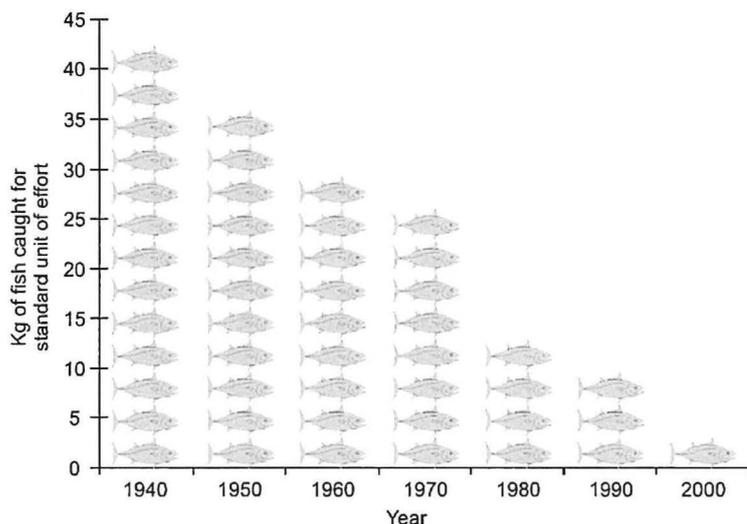


Fig. 2: Diminution du volume de pêches (en kg) par unité d'effort, depuis 1940, pour les pêcheurs à la ligne de six provinces des Philippines. (Source : White *et al.*, 2005)

Les pays en développement ont des ressources financières trop limitées, c'est pourquoi, pour protéger les récifs, un partenariat est nécessaire entre les Etats concernés, les donateurs internationaux, les ONG et les fondations nationales. L'objectif est de concevoir des parcs marins bien gérés où les communautés locales garderaient le contrôle de leurs ressources avec l'appui d'organisations nationales ou internationales (Ehler, 2005). Ainsi, dans les pays en développement, et notamment dans le Pacifique, on assiste de plus en plus au développement de zones marines cogérées ou même gérées directement par les communautés locales sur la base de modes de gestion souvent empruntés aux modes coutumiers (Ehler, 2005).

Un autre problème se pose, la multiplication des petites aires marines protégées et leurs protection. Trop souvent, elles n'occupent qu'une superficie dérisoire et rendent inefficace toute mesure de protection (White *et al.*, 2005). Les récifs coralliens sont étroitement liés les uns aux autres, formant un réseau s'étendant sur des distances considérables. Les conséquences de ce phénomène font que des mesures de protection limitées à un récif particulier seraient inefficaces. En pratique cela signifie que les aires marines protégées doivent être organisées en réseaux et que les Etats qui les mettent en place se doivent de collaborer très sérieusement (Rudd *et al.*, 2003, White *et al.*, 2005).

Cependant, comme ont reconnu les différentes parties à Rio (ONU, 1992), Il ya deux obstacles majeurs à la gestion durable et intégrée. La pauvreté, et un découpage juridique de l'espace trop complexe, induisant un découpage institutionnel et décisionnel qui complique considérablement la gestion globale. De ce fait, une coopération accrue entre états est indispensable.

Mais face à la lenteur relative des instances internationales et nationales à résoudre ce problème, d'autres solutions sont à envisager si l'on veut pouvoir utiliser et sauvegarder durablement les écosystèmes coralliens.

## II. 2. La création de récifs artificiels (RA)

Un récif artificiel (RA) est une structure immergée volontairement dans le but de créer, protéger, restaurer un écosystème en induisant des réponses d'attraction, de concentration, de protection, et d'augmentation de la biomasse par la reproduction de certaines espèces (Pary, 2006).

C'est au Japon, dès le moyen âge, sous la forme de structures de bambou que les premiers récifs artificiels ont vu le jour. Les pêcheurs avaient remarqué l'attraction des poissons pour toutes sortes d'objets immergés (épaves, troncs d'arbres, algues flottantes, et évidemment récifs naturels). Ces structures, leur permettaient ainsi d'améliorer leurs pêches (Ogawa, 1973). Depuis le milieu du XXème, le gouvernement japonais finance d'ambitieux projets d'aménagement ce qui lui vaut, la place de numéro un mondial en matière de récifs artificiels.

Aujourd'hui, comme dans nos villes, le bambou traditionnel disparaît au profit du béton et de l'acier. Le littoral japonais compte plus de 16 000 km<sup>2</sup> (20 millions de mètres cubes) de récifs artificiels immergés, soit plus de 12% du plateau continental (Rebufat, 2006). Actuellement, les programmes de construction immergent en moyenne 2,3 millions de mètres cube par an de récifs artificiels, pour un budget de 200 millions d'Euros.

Mais quelles doivent-être les caractéristiques d'un RA pour qu'il soit vraiment efficace ? Qu'elle est précisément la ou les fonctions des récifs artificiels, ainsi que leurs effets en termes de biodiversité et d'augmentation de la biomasse, au niveau des zones où ils sont implantés ?

### II. 2. A) L'importance des caractéristiques techniques d'un RA

Entre les années 1900 et 1960, de nombreuses constructions de récifs artificiels ont été réalisées à partir de matériaux industriels hors d'usage telle que des pneus, des carcasses de voitures, de trains, et de divers matériaux de construction inutilisables, jetés un peu au hasard dans la mer, non loin des côtes. Les échecs en terme de réelle efficacité ont été presque aussi nombreux (Dean, 1983). Bien souvent, l'augmentation de biomasse n'était pas au rendez-vous.

#### *La forme de la structure (« design »)*

En soi, un objet (même volumineux) plongé dans l'eau, n'attire pas forcément, ni ne retient sur une longue période les espèces désirées, et encore moins, n'augmente la productivité naturelle par la reproduction (Ambrose *et al.*, 1989).

En fait, le design d'un récif artificiel, est aussi importante que la présence dans la zone, des espèces désirées (Palmer *et al.*, 1994).

L'efficacité d'un RA en terme, d'augmentation de la productivité naturelle et de la biomasse, dépend directement de son design et secondairement, du type de matériaux avec lequel il est fabriqué (Fabi, 1996). D'autant plus, si sa mission première, est d'augmenter la biomasse au niveau local d'une ou de plusieurs espèces en particulier (Jensen *et al.*, 1996).

En dépit d'un coût initial plus élevé, l'utilisation de matériaux ainsi qu'une structure spécialement étudiés, permettent de maximiser le potentiel d'un RA. Il est en effet important d'intégrer les besoins des espèces désirées au design du RA ainsi qu'aux matériaux utilisés pour sa construction (Seaman *et al.*, 1989).

Aujourd'hui, tous les scientifiques s'accordent à dire qu'il existe une préférence marquée de certaines espèces pour des structures au design bien particulier, ainsi qu'une relation directe entre design et volume de pêches capturés (Lee *et al.*, 1994 ; Kim *et al.*, 1994). Par exemple, des études coréennes ont démontré qu'un RA en forme de « dés » (dit module de Bonna, voir la figure 3), attire plus particulièrement les poissons pierre, les rascasse, ainsi que les poissons dit de roche (Lee *et al.*, 1994). Des cylindres immergés (voir figure 3), de par leur forme attireront préférentiellement des poissons fins et allongés comme les orphies (Kim *et al.*, 1994).

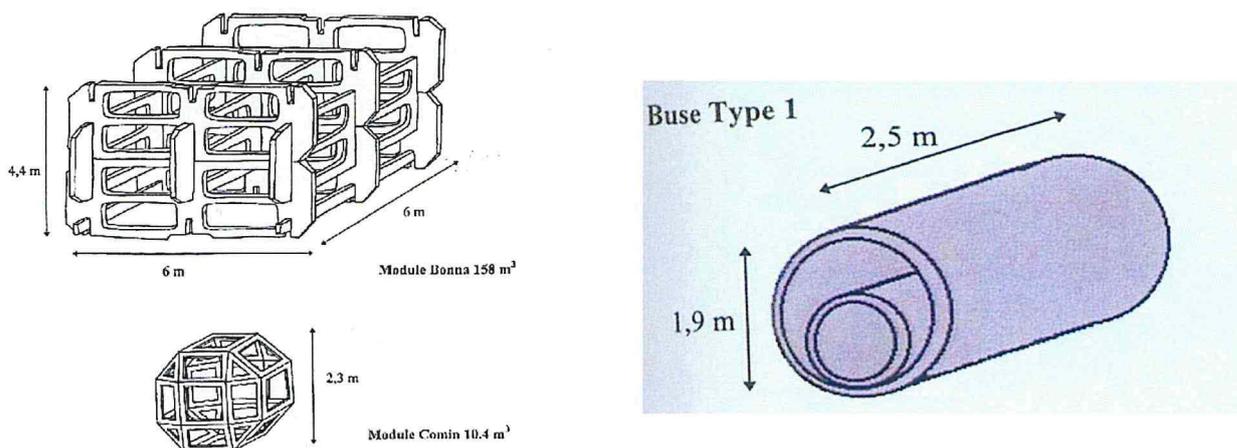


Fig.3 : Schéma de récifs artificiels. A gauche, module de Bonna et de Comin, à droite module en forme de cylindre. Source : Pary, 2006

Un des principaux mécanismes par lequel un RA va augmenter sa capacité à supporter et à engendrer une forte biomasse est sa capacité à diminuer la prédation (Bohnsack, 1989). C'est donc avec un design spécialement conçu pour offrir un maximum d'abris et de refuges à ses occupants, que le RA sera le plus efficace.

Bien sûr, la forme des cavités devra dépendre des espèces cibles (Beets *et al.*, 1994). A ce propos, Dean (1983) a noté que les poissons s'aventurent très rarement dans l'obscurité de compartiments fermés. Ils préfèrent des cavités avec de multiples issues laissant percer la lumière. De plus, les petits poissons préfèrent les petites cavités. Cette évidence a été démontrée dans les Caraïbes avec un assemblage de poissons et de langoustes (Hixon *et al.*, 1989). Par exemple ces dernières s'abriteront toujours, si elles en ont le choix, dans une cavité aux dimensions proches du diamètre de leur corps .

### *Les matériaux de construction*

Tous les matériaux n'ont pas la même tenue dans l'eau de mer. Certains favorisent plus que d'autres le développement de la vie sous marine (Herbert *et al.*, 2006). Le béton se montre particulièrement favorable à l'édification de récifs artificiels ce qui lui a fait gagner en intérêt au fil du temps et des expériences (Omar *et al.*, 1994).

En effet, le béton se montre particulièrement durable dans l'eau de mer, il permet de construire des modules de formes extrêmement variables en fonction des spécificités voulues, et permet d'obtenir le développement d'une communauté écologique similaire aux récifs naturels (Fitzhardinge *et al.*, 1989). A l'inverse, les RA réalisés en fibre de verre, même renforcés avec du plastique et du PVC, sont particulièrement instables et dans la plupart des cas, ne résistent pas aux tempêtes ou au passage d'un chalut de pêche (Bell *et al.*, 1989).

### *La taille*

La taille du RA influence également de façon significative la biomasse et le nombre d'espèces et d'individus présents sur le site (Campos *et al.*, 1989 ; Bohnsack *et al.*, 1994 ; Bombace *et al.*, 1994). En effet, le pouvoir d'attraction d'un RA augmente avec sa taille. Avec un design adapté, sa capacité à héberger un grand nombre d'individus et d'espèces est proportionnelle à son volume (Bombace *et al.*, 1994). Traditionnellement, un RA fait entre 10 et 100 m<sup>3</sup>, mais au Japon, certains RA atteignent désormais les 30'000 m<sup>3</sup>. En 1977, une étude a démontré qu'il y a bien une relation directe entre augmentation de la Biomasse et Volume, mais ce, jusqu'à un volume critique de 4000 m<sup>3</sup> (Ogawa *et al.*, 1977). Cependant, l'âge de cette étude ainsi que les progrès réalisés en matière d'élaboration et de construction des RA mettent en doute cette valeur.

Personne ne remet en question l'idée qu'une super structure vaut mieux que pleins de petites en termes d'attractivité et de production de biomasse. Par contre, de nombreux petits RA présentent une plus grande biodiversité de jeunes individus. Cela montre que de multiples petits RA ont un effet de nurserie en diminuant la pression exercée par la prédation (Bohnsack *et al.*, 1994).

En fait la taille et la forme générale du RA dépendra des espèces cibles et des objectifs finaux de son implantation. Par exemple, les RA construits dans le but de soutenir la pêche commerciale ou de créer une zone pour la pêche récréative, sont conçus dans le but d'héberger des poissons carnivores adultes. Ces mêmes RA, présentent un taux de mortalité chez les juvéniles particulièrement élevé et un taux de recrutement très faible (Hixon *et al.*, 1989).

### *L'emplacement*

Tout d'abord la profondeur. Les RA ont été réalisés et évalués à des profondeurs allant de 7 mètres (Frazer *et al.*, 1994) à 117 mètres (Moffitt *et al.*, 1989). Il apparaît que la profondeur n'affecte pas la diversité des espèces présentes. Bien sûr, on y trouvera des espèces ayant une écologie compatible avec la profondeur à laquelle est immergé le RA, mais en biomasse équivalente à celle des récifs naturels. Cependant, comme l'ont noté Lockwood *et al.*, (1991), la profondeur doit être suffisante pour limiter les dommages que pourrait causer une tempête sur la structure du RA. Mais dans le même temps, la profondeur ne doit pas être un frein à l'accès du RA. En effet, une étude des RA nécessite de nombreuses plongées pour la récolte de données. Plus la profondeur est importante, plus le temps de plongée est court.

Le type de sol sur le quel est posé le RA est un aspect critique de son emplacement. Le substrat doit être suffisamment stable pour résister aux courants, aux tempêtes et à l'érosion. Le fond doit pouvoir supporter le poids du RA si l'on veut que la structure du RA reste intacte (Dean, 1983).

#### II.2. B) Les fonctions d'un RA

Il est reconnu que toute structure sous marine qu'elle soit naturelle ou réalisée par la main de l'homme a le potentiel d'attirer et de concentrer différentes populations de poissons (Ambrose *et al.*, 1989, Bohnsack, 1989). Mais par quel principe cela se fait-il ? Quelle est le potentiel réel des RA en termes d'attraction et de production de biomasse ?

La productivité qu'engendre un RA est en relation directe avec sa capacité à apporter un habitat supplémentaire dans la zone où il est immergé, ce qui augmente la capacité de l'environnement à supporter une biomasse et une abondance plus importante (Bortone *et al.*, 1994 ; Polovina, 1994).

La mise en place d'un récif artificiel revient à créer un nouvel écosystème qui sera colonisé par des organismes qui n'étaient pas présents sur le site. Après son immersion, le RA va servir de substrat à la communauté benthique et de ce fait, augmenter la quantité de nourriture disponible pour des espèces supérieures comme les poissons (Collins *et al.*, 1991).

Une étude de Foster *et al.*, (1991) a comparé la biomasse benthique d'un site avant et après la mise en place d'un RA. Il a été révélé que celle-ci était entre 147 et 895 fois plus importante. Cela suggère que la productivité est en relation directe avec la surface disponible pour la colonisation benthique (Foster *et al.*, 1991). La disponibilité de benthos ainsi que de surfaces encore vierges, va entraîner rapidement le recouvrement de la structure par divers invertébrés et algues (Keogh *et al.*, 1982).

Ce sont ces mêmes invertébrés, algues et faune benthique qui vont attirer les poissons en leur servant de nourriture. Comme cela a été prouvé lors d'une étude du contenu intestinal de différents espèces de poissons, tous locataires d'un RA (Johnson *et al.*, 1994). De plus, ils vont conférer au RA, une apparence plus naturelle, le rendant moins uniforme et moins « lisse ». Cette augmentation de l'hétérogénéité de la surface et de la topographie du RA, va faire apparaître avec le temps, de nouveaux abris pour les juvéniles (Hixon *et al.*, 1985).

Dans une zone, l'abondance de poissons coralliens ainsi que de crustacés est totalement dépendante de la disponibilité en habitat (Moffitt *et al.*, 1989). C'est l'hypothèse concernant la quantité de refuges disponible: « limited shelter hypothesis », (Hixon *et al.*, 1989). Dans certains cas, à une échelle globale voir nationale, la rareté en récifs naturels est le principal facteur limitant pour l'abondance en espèces commerciales (Bohnsack, 1989). Bien souvent, le nombre de larves dépasse largement le nombre d'endroits disponibles pour leurs installations (Sale, 1980). C'est en ce fait que réside la principale utilité des RA: Apporter un nouvel espace disponible pour qu'un écosystème tout entier puisse se développer.

Par exemple, une étude menée à Faro au sud du Portugal (Santos *et al.*, 1998) a prouvé l'efficacité d'un RA à augmenter la productivité d'un site. En effet, dans cette étude, il est révélé que le volume des prises était entre 1,86 et 2,28 fois plus important sur la zone où les RA ont été aménagés, que sur la zone témoin se situant à côté. L'aménagement d'un RA par le Texas Park and Wildlife Department, à 20 mètres de profondeur, non loin de la côte texane (USA), a permis à la population de poissons d'augmenter de 300 à 1800 fois (par rapport à la même zone, avant le RA) après quelques mois d'immersion (Dean, 1983). Autre exemple, en Floride, où le nombre d'espèces trouvées sur un RA était le même que sur un récif naturel, après 7 mois seulement (Dean, 1983). Cela devient donc transposable aux espèces commerciales comme l'a prouvé une expérience à Pooles Bay (Collins *et al.*, 1991), où 3 semaines après l'immersion d'un RA, on y trouvait déjà, une plus grande proportion de

homards que sur le récif naturel. Cependant, ce dernier cas, est clairement la résultante du processus d'attraction engendré par le RA. Qu'en est-il du potentiel d'un RA à augmenter la biomasse par la reproduction ?

Il existe de nombreuses études qui démontrent que les RA servent de lieux de ponte et de nurserie à de nombreuses espèces, contribuant ainsi à augmenter la productivité des mers et des océans. Pour ne citer que celles-là, DeMartini *et al.*, (1994) prouvèrent, que sur un RA de la côte californienne, la biomasse en poissons avait augmenté de 78 % ce qui était dû, à part égales, à la reproduction (ainsi que la croissance) sur site et à l'attraction. Autre exemple, Campos *et al.*, (1989) ont recensé de larges amas d'œufs de *Chromis atrilobata* collés aux parois d'un RA au Costa Rica. Au large de Rhode Island, un RA conçu spécialement pour les homards ainsi que pour accueillir leurs œufs et leurs juvéniles, a montré un accroissement important de homards « résidents permanents », ce qui indiquerait que le cycle biologique complet se passe sur ce même RA (Dean, 1983).

Cependant, un RA ne sera pas en mesure d'induire une augmentation significative de la population de poissons en cas de pêche trop précoce ou de surpêche au niveau du site (Bohnsack, 1994). Mais avec une gestion adéquate et durable, les RA sont capables de contribuer de façon significative à alimenter les pêcheries locales, régionales, voir même nationales comme cela est démontré depuis longtemps au Japon (Bohnsack, 1989, Polovina, 1990).

Cependant, face à une demande mondiale en produits de la mer en constante croissance, d'autres méthodes doivent être développées et mises en œuvre à grande échelle, si l'on veut alléger la pression de pêche exercée sur les récifs coralliens de part le monde. En effet, la demande en produits récifaux n'est pas seulement destinée à la consommation alimentaire. Le fort engouement pour l'aquariophilie marine apparu dans les pays développés ces 30 dernières années a fait naître un nouveau commerce, celui des espèces coralliennes vivantes. Or, ce dernier représente une menace supplémentaire pour l'équilibre fragile des écosystèmes coralliens.

Dans ce contexte, l'aquaculture ornementale des espèces marines représente une solution sérieuse. Mais qu'en est-il vraiment de son potentiel à satisfaire cette demande internationale croissante ?

### **II. 3. L'aquaculture**

Ce présent sous chapitre s'intéressera surtout à l'aquaculture dite : ornementale, et son potentiel à fournir le marché en poissons et autres espèces coralliennes vivantes, destinés majoritairement à l'aquariophilie et plus secondairement à la restauration asiatique spécialisée en « Sea Food ».

L'aquariophilie constitue un hobby non négligeable chez les particuliers puisque le nombre de passionnés aux Etats Unis est estimé à 10 % de la population (Kerstitch, 1995). A la fin des années 2000, près 7 à 14 % des foyers en Europe maintenaient des poissons en aquarium (Poupet, 1996). De plus la demande des aquariophiles ne cesse d'augmenter ces dernières années alors que des signes très nets de diminution des stocks se font sentir (Gomes, 1996, FAO, 1995). En cause une pression humaine en constante croissance, ainsi que l'utilisation des explosifs et du cyanure pour la pêche des espèces marines tropicales.

Depuis les années 1960, plus de 1000 tonnes de cyanure ont été déversés sur les récifs des Philippines " (PNUE-WCMC, 2006). Outre les risques pour la santé, le cyanure tue les coraux et donc, l'écosystème tout entier. Le moteur de cette pêche irraisonnée ? La pauvreté et donc, l'argent...

Selon le rapport du PNUE-WCMC (2006), il est estimé que la pêche dans les récifs rapporte entre 15.000 et 150.000 dollars américain (USD) par kilomètre carré et par an. En l'an 2000, 1 kg de poissons d'aquarium provenant des Maldives rapportait presque 500 dollars, alors que 1 kg de poissons récifaux comestibles avait une valeur de 6 dollars. De même, le commerce de corail vivant rapporte 7 000 dollars par tonne contre 60 pour le corail calcifié. Chaque année, environ 12 millions de coraux durs sont récoltés, transportés et vendus (PNUE-WCMC, 2006). Il est estimé que la valeur à l'export des animaux marins d'aquarium rapporte chaque année, plus de 174 millions USD ce qui correspond à une valeur à l'import de 257 millions USD (FAO, 2001). Les États-Unis, l'Europe et le Japon sont les marchés où la demande est la plus forte et les exportations vers ces débouchés commerciaux augmentent en moyenne de 14 % par an depuis 1985 (FAO, 2001).

Or, d'après une estimation de Gomes (1996), sur 100 poissons marins tropicaux à la vente, seulement 1 provient d'un élevage, contrairement aux poissons d'eau douce pour lesquels on considère que seuls 10 % sont encore pêchés dans le milieu naturel. La plupart des poissons sont prélevés directement dans la nature, sans aucun plan de gestion et pire encore, en employant bien souvent des méthodes de pêche destructrices pour l'écosystème (FAO, 1995).

Dans ce contexte, l'aquaculture apparaît comme une solution durable, car elle pourrait permettre d'alimenter le marché en espèces coralliennes vivantes sans prélèvement dans le milieu naturel. En considérant ceci, on peut penser que les fermes de poissons tropicaux marins ont un potentiel de développement énorme, d'autant plus que les techniques et les connaissances dans ce domaine ne cessent de s'accroître. Cependant, les progrès qui sont encore à faire dans ce domaine sont d'autant plus grands que la marge de progrès dont dispose cette toute jeune science qu'est l'aquaculture marine tropicale est encore très importante.

L'aquaculture pour la production alimentaire connaît un développement constant depuis le début des années 80 (voir annexe 1) et constitue le secteur agricole avec la plus forte croissance au niveau mondiale (FAO, 2005). Rien qu'entre 1995 et 2004 la production mondiale a enregistré une hausse de près de 9 % par an (FAO, 2005).

Le moteur de ce phénomène, est que la production de poisson issue de la pêche n'est plus en mesure de nourrir la planète en produits aquacoles (FAO, 2005). Par tarissement et surexploitation des stocks naturels, les quantités débarquées régressent depuis la fin des années 90 (FAO, 2005).

L'aquaculture semble pouvoir prendre la relève et pallier cette diminution, à condition qu'elle trouve une alternative durable aux farines de poisson (FAO, 2005) ainsi qu'une source d'approvisionnement massive de juvéniles de bonne qualité (Planas *et al.*, 1998). En effet, une des principales limites au développement et à la multiplication des fermes d'élevage de poissons marins tropicaux, est l'incapacité des éclosiers à fournir des juvéniles de haute qualité, en quantité suffisante pour approvisionner le marché (Battaglene *et al.*, 2007).

Pour l'aquaculture marine tropicale ornementale, les défis techniques sont bien plus importants. D'autant plus, que l'effort scientifique dévolu à cette activité est moindre que pour la production aquacole destinée à l'alimentation. A l'heure actuelle, la production d'espèces coralliennes à une échelle commerciale, n'est maîtrisée que pour 25 espèces (Olivetto *et al.*, 2006). Il existe deux principales limites à la maîtrise du cycle biologique complet de la plupart des espèces coralliennes trouvées sur le marché de l'aquariophilie :

Premièrement, l'acclimatation des géniteurs est souvent longue et difficile ce qui rend rarissime les faits de reproduction en captivité de bon nombre d'espèces (Bransden *et al.*, 2007 ; Morehead *et al.*, 2001 ; Olivetto *et al.*, 2005 ; Olivetto *et al.*, 2006 ; Butts *et al.*, 2007) .

Deuxième problème, et pas des moindres, les larves sont souvent de très petite taille, occasionnant une alimentation larvaire complexe voire inconnue dans encore bon nombre de cas. La qualité optimale en terme de : nutritionnel, de taille et de quantité, ainsi que le bon timing de la première alimentation est reconnu comme : la phase critique du cycle biologique des poisson, car elle va directement conditionner le taux de survie des larves (Yùfera *et al.*, 2007 ; Rabe *et al.*, 2000 ; Olivotto *et al.*, 2005 ; Olivotto *et al.*, 2006 ; Gisbert *et al.*, 1997 ; Maththew *et al.*, 2007 ; Battaglone *et al.*, 2007 ; Zambobino *et al.*, 2007 ; Duray *et al.*, 1997).

Afin de pouvoir apprécier le potentiel de développement de l'aquaculture ornementale et sa capacité à pouvoir, à terme, approvisionner de façon durable les marché de l'aquariophilie, il est important, de passer en revue l'état de connaissance des écloséries marines tropicales s'occupant de ce domaine.

### *L'acclimatation des géniteurs*

Le développement de la reproduction est un processus qui peut être divisé en différentes séquences : la croissance des gamètes, leur développement fonctionnel, la maturation finale des géniteurs et enfin la ponte (Olivotto *et al.*, 2003). Les deux premières étapes se passent normalement et fréquemment pour la plupart des espèces captives à condition que des conditions d'élevages soient optimales (Olivotto *et al.*, 2003, Olivotto *et al.*, 2006). Par contre, pour de nombreuses espèces voire même pour des familles entières, la maturation finale et donc, la ponte, n'ont pas encore été induites avec succès (Olivotto *et al.*, 2003, Olivotto *et al.*, 2006).

A part, pour les 25 espèces coralliennes dont le cycle biologique complet est maîtrisé, les essais d'élevages avec d'autres espèces, se font donc tous avec des géniteurs provenant du milieu naturel. Or, les performances de reproduction ne sont pas les mêmes avec des individus nés en captivité ou dans la nature (Butts *et al.*, 2007 ; Morehead *et al.*, 2001). En effet, les individus nés en captivité produiront des œufs de meilleure qualité que ceux issu du milieu naturel (Morehead, *et al.*, 2001) ce qui se traduira par un meilleur taux de survie des larves (Morehead, *et al.*, 2001).

Pour les familles d'espèces coralliennes de tout petit gabarit comme les poissons clown et certaines espèces de demoiselles (*Pomacentridae*), les hippocampes (*Syngnatidae*), certains gobies (*Gobiidae*), et quelques crevettes (*Hyppolytidae*), les individus prélevés dans le milieu naturel s'acclimatent généralement bien à la captivité et donc expriment un comportement de reproduction (Muthuwan V., communication personnelle, juillet 2008, Bangsien).

Or, il n'en va pas de même avec la plupart des familles de poisson plus imposants en taille comme : les poissons-anges (*Pomacanthidae*), les poissons-chirurgiens (*Acanthuridae*), les poissons-papillons (*Chaetodontidae*) et les balistes (*Balistidae*) (Baensch *et al.*, 1997). Or, ce sont ces mêmes familles qui sont le plus prisées par les aquariophiles et donc les plus chères (Poupet, 1996).

A titre d'exemple chez un détaillant important spécialisé en aquariophile (Poissons d'or, Mouscron, Belgique), la valeur moyenne d'un poisson-chirurgien varie entre 30 et 200 euros, celle d'un poisson-ange varie entre 100 et 400 euros, alors que celle du fameux « Némé de Disney » (poisson clown) et des ses cousins varie entre 8 et 20 euros. Comme toujours l'offre conditionne la demande. On peut donc facilement penser, que ce sont les espèces à forte valeur ajoutée dont la reproduction artificielle n'est pas encore maîtrisée, qui motivent au même moment, à l'autre bout du monde, les pêcheurs artisanaux du Sud-Est asiatique ou du Pacifique Sud, à employer des méthodes de pêche destructrices (évoquées précédemment).

Pour des espèces qui n'ont jamais été reproduites en captivité, le premier problème d'une éclosérie marine tropicale est de réussir à acclimater plusieurs individus de la même espèce dans un même bac. Dans bon nombre de cas, il suffit d'être patient et d'accorder suffisamment de temps à la nature pour régler le problème (Olivetto *et al.*, 2003).

Mais entretenir plusieurs individus de la même espèce peut poser bien des problèmes avec certaines familles comportant des individus bons nageurs et/ou territoriaux comme les poissons chirurgiens, les balistes et les poissons anges (Baensch *et al.*, 1997). Pour que cela soit possible, la maintenance doit être réalisée dans des volumes très importants allant jusqu'à plusieurs dizaines de mètres cubes. (Muthuwan V., communication personnelle, juin 2008, Bangsien). Or, on imagine le coût financier supplémentaire de telles installations. De plus, pour ces mêmes espèces, l'attente d'une ponte peut parfois durer plusieurs années ce qui constitue une limite majeure pour une éclosérie privée ayant des impératifs commerciaux...

Si quelquefois, avec le temps, des bacs compris entre 1 et 5 mètres cubes peuvent suffir à satisfaire les besoins écologiques de certaines espèces et leur permettre de pondre, encore faut-il, pouvoir être en mesure de détecter les signes de reproduction qui se font très majoritairement à l'aube, au crépuscule ou la nuit (Baensch *et al.*, 1997). Ce comportement occasionne un management particulier du personnel d'une éclosérie marine ornementale.

En effet, il est indispensable d'avoir un personnel qualifié et motivé de garde de nuit, si l'on veut augmenter les probabilités de succès.

De plus, il faut être capable de récupérer les œufs, ce qui suivant les cas n'est pas une chose aisée. Car certaines familles déposent leurs œufs à l'abri des regards, dans les anfractuosités du décor (poissons clowns, demoiselles, gobies, balistes, etc.). D'autres, une fois la parade nuptiale achevée, lâchent les œufs en plein eau (poissons anges, papillons, chirurgiens, etc.) (Baensch *et al.*, 1997). Or, si les œufs ne sont pas récupérés (par un procédé n'entraînant aucun dommage sur leur structure), et transférés rapidement dans un bac de ponte (en circuit fermé), une fois l'éclosion, les toutes jeunes larves seront perdues, aspirées dans le système de circulation et de filtration de l'eau de l'éclosérie.

## *L'alimentation larvaire*

Le début de l'alimentation exogène des larves de poissons est défini comme la période où l'ingestion devient possible jusqu'au moment où la croissance de la larve est détectée (Yùfera *et al.*, 2007). La principale caractéristique de cette phase est que la source de nutriments et d'énergie nécessaire à la larve pour continuer son développement est transférée de la réserve vitelline à l'absorption de nourriture (Yùfera *et al.*, 2007). Pour mémoire, le taux d'absorption et de conversion de la réserve vitelline pour les tout premiers stade du développement larvaire, est conditionné par le type d'espèce, la condition physique de la mère, et la température (Yùfera *et al.*, 2007 ; Lin *et al.*, 2006 ; Hunt von Herling, 2002). Pour achever cette transition avec succès, il est indispensable que toutes les structures et organes servant à la prise, à la digestion et à l'assimilation de nourriture soient prêts au même moment ainsi que la disponibilité d'une nourriture appropriée en quantité optimale (Yùfera *et al.*, 2007 ; Rabe *et al.*, 2000 ; Gisbert *et al.*, 1997).

Dans le cas contraire, le taux de survie peut chuter en quelques heures de manière remarquable (Olivetto *et al.*, 2003 ; Wittenrich *et al.*, 2007 ; Yùfera *et al.*, 2007). L'existence de cette mortalité massive se produisant au moment de la première alimentation larvaire, a fait naître un concept technique : le point de non retour (PNR) (Yùfera *et al.*, 2007). Le PNR est en fait, le moment ou la privation d'une nourriture adéquate et suffisante, entraîne irrémédiablement la mort des larves. Il est défini comme le moment ou 50 % des larves ne peuvent plus survivre même en présence d'une alimentation optimale (Yùfera *et al.*, 2007).

La période comprise entre l'ouverture de la bouche, signe le plus visible que la larve est prête à s'alimenter, et le PNR est donc un moment critique du développement larvaire. Sa durée dépend de l'espèce et de la température de l'eau (Arul, 1991). En moyenne, elle est de 3 jours pour les poissons marins tropicaux et de 20 jours pour les poissons marins d'eau froide (Yùfera *et al.*, 2007 ; Theilacker, 1978). Cependant, la morphologie et la structure anatomique de la digestion, sont affectées et dégradées avant que le PNR soit atteinte (Theilacker, 1978). En l'absence de nourriture adéquate et au bon moment, la larve s'épuise progressivement jusqu'à ne plus pouvoir nager et donc, s'alimenter.

Si cette période est si critique pour une éclosion, c'est que le taux de survie larvaire peut chuter très rapidement à 0 % si les besoins environnementaux et alimentaires ne sont pas correctement et entièrement satisfaits (Yùfera *et al.*, 2007 ; Rabe *et al.*, 2000 ; Gisbert *et al.*, 1997) . Ce problème est un handicap majeure pour la recherche, le développement et la maîtrise du cycle biologique complet de nouvelles espèces (Cahu *et al.*, 1998, Yùfera *et al.*, 2007). Car avant de connaître les besoins exacts des larves d'une espèce donnée, il faut avoir eu le temps de les étudier. Or, la courte vie des larves en l'absence de conditions d'élevage adéquates entraîne des difficultés à étudier la prise alimentaire, et la physiologie de digestion larvaire.

Lorsqu'il s'agit de développer l'élevage d'une nouvelle espèce corallienne, il y a deux facteurs indispensables à connaître sur la larve : la compréhension de l'ontogénie des fonctions servant à l'alimentation, et à la digestion lors des premiers jours de vie larvaire, ainsi que les besoins nutritionnel en termes de qualité et de quantité.

Selon une étude de Yùfera *et al.*, (2007), voici les premières et principales étapes du développement larvaire (figure 4). La réserve vitelline est complètement ou presque résorbée au moment de l'ouverture de la bouche.

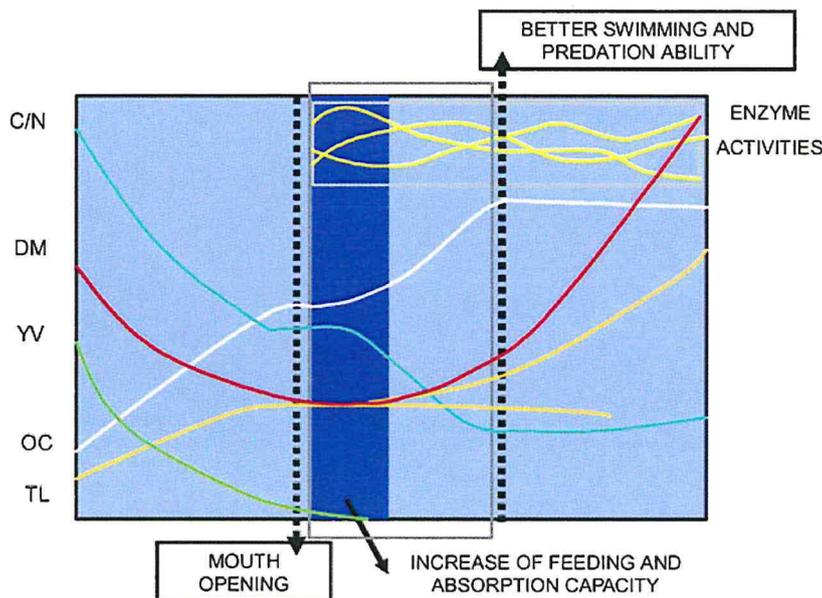


Fig. 4. Résumé des principaux événements pendant les premières phase du développement larvaire ainsi que lors de la première alimentation des larves de poissons marins (Source : Yùfera, *et al.*, 2007).

**Evolution au cours du temps (sans unité), de différents paramètres :**

**C/N** (C/N ratio) : ratio : matière carbonée/matière azotée ; **DM** (dry mass) : Poids sec ; **YV** (yolk volume) : volume de la réserve vitelline ; **OC** (specific oxygen consumption) : consommation d'oxygène spécifique ; **TL** (total length) : longueur total de la larve.

Après l'ouverture de la bouche, l'organogénèse continue en employant un système digestif encore rudimentaire. Une croissance et une différenciation rapide du système digestif sont nécessaires pendant les jours suivants afin de renforcer la digestion et l'absorption des nutriments. Après cette courte période, la croissance débute ce qui se traduit rapidement par une augmentation de la longueur de la larve et donc, de sa capacité de prédation (Fernandez-Diaz *et al.*, 1994). Puis, chez la larve on assiste au même moment, à l'augmentation de l'activité métabolique et à la diminution du ratio matières carbonées sur matières azotées (ratio C/N). C'est cette caractéristique qui indique que le processus biologique amenant au démarrage de l'alimentation exogène est achevé.

Le ratio C/N, est un instrument utile pour évaluer l'énergie contenue dans la larve. Après l'éclosion, le ratio C/N va décroître rapidement, car les lipides de la réserve vitelline seront métabolisés en matière azotée pour l'incorporation dans les protéines structurales nécessaires au développement de la larve. Après ce moment, si aucune erreur n'est commise concernant l'apport de nourriture (qualité et quantité), la larve aura une croissance rapide et commencera à accumuler des réserves énergétiques pour la métamorphose : passage à l'état de juvénile.

Etant bien souvent le point de blocage du développement de nouvelles espèces marines tropicales, la première alimentation larvaire aux niveaux quantitatifs et qualitatifs, a fait l'objet de nombreuses études.

Au niveau quantitatif, de façon générale, le taux d'ingestion et donc, le taux de survie augmentent avec la concentration de proie présente dans le bac d'élevage (Georgalas *et al.*, 2007 ; Yùfera *et al.*, 2007).

Cependant, la concentration de proies idéale, généralement de rotifères (*Brachionus*) se situe entre : 10 (unités)/ml (Battaglione *et al.*, 2007, Olivotto *et al.*, 2005) et 20/ml (Olivotto *et al.*, 2003), en passant par 15 (unités)/ml (Wittenrich *et al.*, 2007).

Au niveau qualitatif. Tout d'abord, l'ingestion est directement limitée par la taille de la bouche. En effet, les proies sont principalement sélectionnées par la larve en fonction de leur taille et non pas de leur goût ou de tout autres facteurs (Yüfera *et al.*, 2007). Les larves de poissons sont capables d'avaler des proies ayant une taille équivalente à celle de leur bouche. Cependant, elles préfèrent des proies plus petites. Un ratio taille de la proie/ taille de la bouche de 25-50 % semble le plus approprié (Fernandez *et al.*, 1994).

De plus il a été largement démontré que l'enrichissement des proies en acides gras essentiels augmente largement le taux de survie lors des premières phases du développement larvaire (Rodriguez *et al.*, 1996 ; Turner *et al.*, 2005 ; Rabe *et al.*, 2000 ; Olivotto *et al.*, 2003 ; Olivotto *et al.*, 2005 ; Olivotto *et al.*, 2006 ; Battaglione *et al.*, 2007 ; Planas *et al.*, 1999 ; Zambobino *et al.*, 2007 ; Wittenrich *et al.*, 2007). Les Acides gras essentiels les plus intéressants sont : l'acide docosahexaénoïque, l'acide eicosapentaénoïque, et l'acide arachidonique (Battaglione *et al.*, 2007). L'optimisation de la valeur alimentaire des proies constitue donc une voie de recherche privilégiée dans le développement de nouvelles espèces.

Une autre piste de recherche semble pouvoir résoudre une partie du problème de l'élevage larvaire : l'élevage en mésocosme. Il s'agit dans ce cas, d'élever les larves dans un milieu fermé dit : en eau verte, mélange de différentes espèces de phytoplancton et de zooplancton. Des résultats positifs en terme de taux de survie et de croissance ont été obtenu avec différentes espèces comme les sérioles ou les mullets (Papandroulakis *et al.*, 2005 ; Ben Khemis *et al.*, 2006 ; Planas *et al.*, 1999).

Un des problèmes techniques que les écloséries marines tropicales ont à résoudre rapidement, est la diversification et l'optimisation des proies vivantes apportées aux larves (Planas *et al.*, 1999). Dans la plupart des cas, les proies cultivées en éclosérie pour l'alimentation des larves sont : les rotifères, les artémias et les copépodes (Mc Kinnon *et al.*, 2003 ; Payne *et al.*, 2001). Or des résultats plus que positifs réalisés avec de nouvelles espèces aquacoles comme : des gobies nettoyeurs, des mérous, des lançons du Pacifique et les larves de la crevette blanche ont été obtenus avec des proies plus petites comme les ciliés marins (respectivement : Olivotto *et al.*, 2005 ; Nagano *et al.*, 2000 ; Nagano *et al.*, 2001 ; Nagano *et al.*, 2004).

Les taux de survie larvaires de ces différentes espèces, étaient tous supérieurs avec les protocoles employant des ciliés marins. Par exemple, les larves du gobie nettoyeur alimenté uniquement avec les traditionnels rotifères ont un taux de survie de 10 %. Par contre, les mêmes lots alimentés en rotifères et en ciliés marins ont un taux de survie de 50 % (Olivotto *et al.*, 2005). Ces récentes découvertes démontrent l'importance de rechercher et de développer des protocoles pour la culture de nouveaux types de proies si l'on veut diversifier la production des espèces marines tropicales.

Si de nombreux progrès sont encore à réaliser pour que l'aquaculture ornementale puisse fournir la grande majorité de la demande en poissons coralliens et ainsi, contribuer à la préservation des écosystèmes naturels, la production de masse de corail (qui fait également l'objet d'un commerce international), semble techniquement bien plus faisable.

Le corail peut se reproduire de manière sexuée et asexuée. La reproduction sexuée se fait par expulsion des gamètes dans la colonne d'eau, souvent par une ponte massive synchronisée par un facteur environnemental comme la photopériode naturelle, le cycle lunaire ou encore la température (Petersen *et al.*, 2007). Des cas de reproduction sexuée ont déjà été recensés dans bon nombre d'aquariums publics.

L'utilisation de la reproduction sexuée pour l'auto-provisionnement de ces structures semble possible, mais nécessite la mise en place de programmes d'élevages spécifique, de personnel qualifié, et des volumes d'élevages importants (Petersen *et al.*, 2007).

Dans la nature, la reproduction asexuée se produit lorsqu'une partie de la colonie, pourvue de polypes vivants, est séparée du reste de la colonie. Cet événement est très courant chez les coraux branchus ou les gorgones en raison de la fragilité de leur structure. De forts remous ou une pierre qui tombe peuvent ainsi briser une partie de la colonie, qui, en se fixant un peu plus loin sur la roche, donnera une nouvelle colonie autonome. Certaines espèces de coraux durs branchus auraient même évolué au point de n'utiliser qu'exclusivement cette méthode pour se propager (Harrison *et al.*, 1990). C'est cette caractéristique biologique qui semble la plus intéressante pour la production de masse de corail, car cela peut-être fait par bouturage.

Par exemple, à Caw-oy, Olango Island, Cebu, Philippines, une ferme corallienne de 2 hectares a été construite en 1997 dans le but de : 1. Fournir un mode de vie alternatif aux pêcheurs qui emploient des méthodes de pêches destructrices. 2. Réhabiliter les récifs dégradés avec des techniques peu coûteuses. 3. Augmenter la conscience environnementale de la communauté locale (Heeger, 2000).

A ce jour, 30 familles travaillent dans la ferme. Deux récifs ont été réhabilités à l'aide de 6000 fragments coralliens élevés dans cette structure. Ces activités génèrent des revenus assurant le fonctionnement de la ferme, et les salaires des anciens pêcheurs (ce qui bénéficie à tous les membres du village). Les impacts sociaux sont élevés car les indicateurs tels que l'abandon des méthodes de pêche destructrices (dynamite, cyanure) et l'augmentation de la sensibilité environnementale montrent des changements de valeurs. "Hier nous pêchions des poissons trop petits, pour nourrir nos familles, aujourd'hui nous élevons des coraux et améliorons l'état de nos récifs", déclara Luceno Torriefel, président de l'association des pêcheurs, durant une réunion à propos de l'impact des activités de la ferme (Heeger, 2000).

Maintenant que les principales solutions politiques, scientifiques et techniques ont été passées en revue, la question importante est de savoir quelles sont les perspectives d'avenir en matière de protection des écosystèmes coralliens.

### III. Perspectives d'avenir

Face à l'urgence de la situation, il est indispensable d'apprendre au niveau international, à gérer convenablement les récifs coralliens, en créant et en faisant respecter des sanctuaires, des sites de référence et des zones de reproduction où la pêche est interdite, afin de maintenir la diversité spécifique et les équilibres écologiques des lieux de pêche (Dulvy *et al.*, 2003). Il va être également important de développer des moyens permettant de gérer la demande et le commerce des espèces récifales.

Cette nécessité, désormais internationalement reconnue a entraîné la multiplication des aires marines protégées durant ces dernières années (White *et al.*, 2005), et ce phénomène devrait se poursuivre à l'avenir car les AMP sont désormais reconnues comme l'un des instruments politiques les plus efficaces, pour la protection des ressources marines. Cependant leur utilité est amoindrie sans une gestion en amont des stress que subissent les récifs coralliens. C'est pourquoi une approche multisectorielle et intégrée des zones côtières est indispensable pour préserver de façon durable ces écosystèmes précieux.

Le concept de « gestion intégrée » est né lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro (ONU, 1992). La gestion intégrée des zones côtières (GIZC) permet de créer à grande échelle, des projets viables d'aménagement du littoral qui protègent les ressources récifales tout en répondant à d'autres besoins économiques. L'objectif d'une stratégie de GIZC consiste à coordonner toutes les utilisations et les activités d'une zone côtière, à la fois dans le secteur public et le secteur privé, en fonction d'un ensemble de principes et de pratiques de gestion des ressources fixés au préalable. En matière de gestion de la zone côtière, il importe de reconnaître à quel point les activités d'un secteur d'activité ou d'une partie de la région affectent celles d'un autre secteur ou d'une autre région.

Lors du Sommet de Johannesburg de 2002 (ONU, 2002), les parties ont appelé à la mise en place d'ici 2012, d'un système mondial de réseaux d'aires marines protégées. En plus d'assurer la protection des espèces marines, des habitats et des processus écologiques ainsi que des ressources culturelles, il offrira la possibilité d'effectuer des recherches et de la formation, de réaliser des suivis environnementaux pour protéger la santé humaine et d'obtenir de nouveaux avantages économiques basés sur le développement durable.

En espérant que la prise de conscience internationale en matière de sauvegarde des écosystèmes marins porte rapidement ses fruits, les solutions techniques et scientifiques évoqués précédemment sont appelées à se développer largement à l'avenir. Car dans les zones non protégées, il faut envisager d'augmenter la productivité par des techniques durables comme les récifs artificiels ou l'aquaculture pour assurer les besoins vitaux des populations de nombreuses régions tropicales. Le défi consiste à développer des techniques viables à long terme qui ne génèrent ni pollution ni maladies, mais qui génèrent au contraire des revenus financier, luttant ainsi contre la pauvreté.

Les récifs artificiels, ces structures (peu coûteuses), qui imitent les caractéristiques des zones rocheuses naturelles, et qui induisent chez les animaux marins des réponses d'attraction, de concentration, de protection et de reproduction, entraînant ainsi une augmentation de la biomasse et de la biodiversité apparaissent comme une solution simple et efficace. Leur mise en œuvre massive, comme cela est le cas au Japon permet d'alléger significativement l'effort de pêche sur les récifs naturels et ainsi, contribuer grandement à la préservation de l'environnement. Les projets d'aménagement de RA sont tous les jours plus nombreux laissant entrevoir de bonnes perspectives de développement.

Avant que l'aquaculture marine ornementale puisse approvisionner de façon massive le marché, elle devra régler plusieurs problèmes. Induire le développement gamètes chez un nombre accru d'espèces et réussir à élever un grand nombre de larves jusqu'au stade juvénile (donc passer outre la métamorphose). Car si, pour de nombreuses espèces en captivité, il y a souvent maturation des gonades, les espèces réalisant une ponte sont plus rares (Olivetto *et al.*, 2006). Enfin, la première alimentation, est une étape qui pose encore des problèmes pour de nombreuses espèces et va nécessiter un effort de recherche accru si l'on veut améliorer

significativement la capacité des écloserie marines à alléger la pression de pêche sur les récifs naturels. Cependant des cas de réussite aquacole existent, comme aux Philippines où les pêcheurs qui autrefois employaient des méthodes de pêche destructrices, vivent aujourd'hui de l'élevage de coraux (Heeger, 2000).

## Conclusion

La disparition des écosystèmes coralliens ainsi que la biodiversité qu'ils abritent représente une perte inestimable pour l'humanité tout entière et plus directement pour les populations riveraines de ces zones. Or, si les menaces posées par la pollution, la surexploitation des pêcheries et le changement climatique persistent, et que des solutions efficaces ne sont pas mise en œuvre, les futures générations ne pourront connaître les récifs coralliens que dans les livres d'histoire, les encyclopédies et les films.

Les Aires Marines Protégées, les récifs artificiels et l'aquaculture ont toutes les trois démontré qu'elles pouvaient constituer des solutions concrètes pour la sauvegarde et l'exploitation durable des ressources marines. Cependant, pour que ces méthodes soient vraiment efficaces, il est indispensable de sensibiliser et d'associer les populations locales aux divers projets mis en œuvre. Car dans de très nombreuses zones récifales, c'est la pauvreté qui conditionne majoritairement l'utilisation des ressources naturelles.

Comme a si bien résumé Mark Collins, Directeur du Centre mondial de surveillance de la conservation de la nature (WCMC), *«L'industrie des aquariums, si gérée convenablement, peut apporter un soutien non négligeable à la conservation et à l'exploitation durable des récifs coralliens à travers les régions qui n'ont accès qu'à des sources de revenus limitées. Certaines techniques de collection ont un impact minime sur les coraux. Et bien que la quantité pêchée par l'industrie dans son ensemble est relativement petite, elle est d'une très grande valeur monétaire»*.

En soi, le commerce mondial d'espèces marines n'est pas une menace pour les écosystèmes coralliens. C'est la façon dont les Hommes l'approvisionnent et le pratiquent qui pose problème. Avec une gestion durable, il peut représenter une arme supplémentaire dans la guerre contre la pauvreté en tant que source de revenus grandement nécessaire aux communautés de pêcheurs locaux. Cette activité pourrait être, une source d'emplois dans les régions côtières à faibles revenus et inciter largement au maintien des pêcheries et à la sauvegarde des milieux récifaux.

Des solutions existent pour la préservation et l'utilisation durable des ressources coralliennes. A l'avenir, leurs résultats dépendront essentiellement de la volonté, des moyens et de la conscience que l'Homme mettra dans leurs mises en œuvre.

## Bibliographie

- Ambrose R.F., Swabrick S.A., 1989. Comparaison of assemblages on artificial and natural reefs off the coast of southern California. *Bulletin of Marine Science*, 44: 718-733.
- Arul V., 1991. Effects of temperature on yolk utilization of *Channa striatus*. *Journal of Thermal Biology*, 16: 1-5.
- Baensch H.A., Delebius H., 1997. Marine Atlas. Microcosm Ltd, Melle, Germany, Volume 1, 1216 p.
- Battaglione S.C., Cobcroft J.M., 2007. Advances in the culture of striped trumpeter larvae: A review. *Aquaculture*, 268: 195 – 208.
- Beets J., Hixon M.A., 1994. Distribution, persistence and growth of Groupers on artificial and natural patch reefs in the Virgin Islands. *Bulletin of Marine Science*, 55: 470-483.
- Bell J., Doherty P., Hair C., 1999. The capture and culture of post-larval coral reef fish: potential for new artisanal fisheries. *SPC Bulletin*, 6: 31-34.
- Bell M., Moore C.J., Murphey S.W., 1989. Utilization of manufactured reef structures in South Carolina's marine artificial reef program. *Bulletin of Marine Science*, 44: 818-830.
- Ben Khemis I., Zouiten D., Besbes R., Kamoun F., 2006. Larval rearing and weaning of thick lipped grey mullet (*Chelon labrosus*) in mesocosm with semi-extensive technology. *Aquaculture*, 259:190–201.
- Bohnsack J.A., 1989. Are high densities of fishes at artificial reefs result of habitat limitation or behavioural preference?. *Bulletin of Marine Science*, 44: 631-645.
- Bohnsack J.A., Harper D.E., Mc Clellan D.B., Hulsbeck M., 1994. Effects on reef size on colonisation and assemblage structure of fishes at artificial reefs off eastern Florida, USA. *Bulletin of Marine Science*, 55:796-823.
- Bombace G., Fabi G., Fiorentini L., Speranza S., 1994. Analysis of the efficacy of artificial reefs located in five different areas of the Adriatic Sea. *Bulletin of Marine Science*, 55: 559-580.
- Bortone S.A., Martin T., Bundrick C.M., 1994. Factors affecting fish assemblage development on a modular artificial reef in a northern Gulf of Mexico estuary. *Bulletin of Marine Science*, 55: 319-332.
- Brandsen M.P., Battaglione S.C., Goldsmid R.M., Dunstan G.A., Nichols P.D., 2007. Broodstock condition, egg morphology and lipid content and composition during the spawning season of captive striped trumpeter, *Latris lineate*. *Aquaculture*, 268: 2-12.
- Butts I., Litvak M., 2007. Parental and stock effects on larval growth and survival to metamorphosis in winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*). *Aquaculture*, 269: 239-248.

- Cahu C., Zambobino-Infante J.L., Escaffre A.M., Bergot P., Kaushik S., 1998. Preliminary results on sea bass *Dicentrarchus labrax* larvae rearing with compound diet from first feeding. Comparaison with carp (*Cyprinus carpio*) larvae. *Aquaculture*, 169: 1-7.
- Campos J.A., Gamboa C., 1989. An artificial tile-reef in a tropical marine system: a management tool. *Bulletin of Marine Science*, 44: 757-766.
- Cho L., 2005. Marine protected areas: a tool for integrated coastal management in Belize. *Ocean & Coastal management*, 48: 932-947.
- Collins K.J., Jensen A.C., Lockwood A.P.M., 1991. Artificial reef project – Poole Bay Programme. *Programme Underwater Science*, 16: 75-84.
- Dean L., 1983. Undersea oases made by man: artificial reefs create new fishing grounds. *Ocean*, 26: 27-29.
- DeMartini E.E., Barnett A.M., Johnson T.D., Ambrose R.F., 1994. Growth and production estimates for biomasse dominant fishes on a southern California artificial reef. *Bulletin of Marine Science*, 55: 484-500.
- Dulvy N., Sadovy Y., Reynolds J., 2003. Extinction vulnerability in marine populations. *Fish and Fisheries*, 4: 25-64.
- Duray M., Kohno H., 1988. Effects of continuous lighting on growth and survival of first-feeding larval rabbitfish, *Siganus guttatus*, *Aquaculture* 72: 73-79.
- Duray M., Estudillo C., Aplazan L., 1997. Larval rearing of the grouper *Epinephelus suillus* under laboratory conditions. *Aquaculture*, 150: 63-76.
- Ehler C., 2005. Integrating management of marine protected areas with coastal and ocean governance: principles and practices. *Ocean & Coastal management*, 48: 843-846.
- Fabi G., 1996. Molluscan aquaculture on reefs. *in*: European Artificial Reef Research Network (EARRN) Conference, 26-30 March 1996, Ancona, Italy.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), 1995. Production halieutique mondiale 1950-1993. Supplément à l'Annuaire FAO des statistiques de pêche 1993. Vol. 76. Captures et quantités débarquées. Rome, Italie. 44 p.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation Et l'Agriculture), 2001. *The ornamental fish market*, 67 : 2-91.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation Et l'Agriculture), 2005. Le commerce agricole et la pauvreté: le commerce peut-il être au service des pauvres? La Situation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture. Rome, Italie, 225p.
- Fernandez-Diaz C., Pascual E., Yùfera M., 1994. Feeding behaviour and prey size selection of gilthead seabream, *Sparus aurata*, larvae on inert and live food. *Marine Biology*, 118: 323-328.

- Fitzhardinge R.C., Bailey-Brock J.H., 1989. Colonisation of artificial reef materials by corals and other sessile organisms. *Marine Science* 44: 567-579.
- Frazer T.K., Lindberg W.J., 1994. Refuge spacing similarly affects associated from three phylia. *Bulletin of Marine Science*, 55: 388-400.
- Georgalas V., Malavasi S., Franzoi P., Torricelli P., 2007. Swimming activity and feeding behaviour of larval European sea bass (*Dicentrarchus labrax L*): Effects of ontogeny and increasing food density. *Aquaculture*, 264 : 418–427.
- Gisbert E., Williot P., 1997. Larval behaviour and effect of the timing of initial feeding on growth and survival of Siberian sturgeon ( *Acipenser baeri*) larvae under small scale hatchery production. *Aquaculture*, 156: 63-76
- Gomes L.A., 1996. Can marine ornamental fish be farm raised?. *Infofish international*, 3: 27-32.
- Harrison P.L., Wallace C.C., 1990. Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals. *Coral reefs*, 25: 133-207.
- Hawkins, J.P., C.M. Roberts, T. van't Hof, K. de Meyer, J. Tratalos & C. Aldam, 1999. Effects of recreational scuba diving on Caribbean coral and fish communities. *Conservation Biology*, 13: 888-897.
- Heeger T., 2000. Une ferme corallienne aux Philippines. . [On line]. <<http://www.mars.reefkeepers.net/Articles/CoralFarm/CoralFarmFR.html>>.
- Herbert R.J.H., Hawkins S.J., 2006. Effect of rock type on recruitment and early mortality of the barnacle *Chthamalus montagui*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 334: 96-108.
- Hixon M.A., Brostoff W.N., 1985. Substrate characteristics, fish grazing and epibenthic reef assemblages off Hawaii. *Bulletin of Marine Science*, 37: 200-213.
- Hixon M.A., Beets J.P., 1989. Shelter characteristics and Caribbean fish experiments with artificial reefs. *Bulletin of Marine Science*, 44: 666-680.
- Hunt von Herling I., 2002. Effects of temperature on larval fish swimming performance: the importance of physics to physiology. *Journal of Fish Biology*, 61: 865-876.
- IUCN (The World Conservation Union), 1988. Resolution 17.38. *in*: the 17th General Assembly of the IUCN. Gland, Switzerland.
- IUCN (The World Conservation Union), 2007. Quelle stratégie pour quels objectifs ? *in* : Premier colloque national sur les Aires Marines Protégées. Boulogne sur mer, France, 20 au 22 Novembre 2007.
- Jensen A.C., Collins K.J., 1996. The use of artificial reefs in crustacean fisheries enhancement. *Paper presented at the European artificial reef Research Network (EARRN) Conference*, 26-30 March 1996, Ancona, Italy.

- Keogh M.J., Downes B., 1982. Recruitment of marine invertebrates: the role of active larval choice and early mortality. *Oecologia*, 54: 348-352.
- Kerstitch A., 1995. Farmers of the sea, the blue revolution. *Fresh water and marine aquarium*, monthly magazine of February 1995: 48-50.
- Kim C.G., Lee J.W., Park J.S., 1994. Artificial reef designs for Korean coastal waters. *Bulletin of Marine Science*, 55: 858-866.
- Lecaillon G., 2004. The " CARE " system as a method of producing farmed marine animals for the aquarium market : an alternative solution to collection in the wild. *SPC Bulletin*, 12: 17-21.
- Lee J.W., Kang Y.S., 1994. Variation of fish community and fish density on artificial reefs. *Korean Fish Society*, 27: 535-548.
- Lin Q., Lu J., Gao Y., Shen L., Cai J., Luo J., 2006. The effects of temperature on gonad, embryonic development and survival rate of Juvenile seahorses, *Hippocampus kuda* Bleeker. *Aquaculture*, 254: 701-713.
- Lockwood P., Jensen A., Collins K., Turnpenny A., 1991. The artificial reef in Poole Bay. *Ocean Challenge*, 2: 35-39.
- Matthew L., Wittenrich L., Ralph G., Leroy Creswell R., 2007. Spawning, early development and first feeding in the gobiid fish *Priolepis nocturna*. *Aquaculture*, 270: 132-141.
- Mc Kinnon A.D., Duggan S., Nichols P.D., Rimmer M.A., Semmens G., Robino B., 2003. The potential of tropical paracalanid copepods as live feed in aquaculture. *Aquaculture*, 223: 89-106.
- Moffitt R.B., Parrish F.A., Polovina J.J., 1989. Community structure, biomass and productivity of deepwater artificial reefs in Hawaii. *Bulletin of Marine Science*, 44: 616-630.
- Morehead D.T., Hart P.R., Dunstan G.A., Brown M., Pankhurst N.W., 2001. Differences in egg quality between wild striped trumpeter: *Latris lineata*, and captive striped trumpeter that were fed different diets. *Aquaculture*, 192: 39-53.
- Nagano N., Iwatsuki Y., Kamiyama H., Nakata H., 2000. Ciliated protozoans as food for first feeding larval grouper, *Epinephelus septemfasciatus*: Laboratory experiment. *Plankton Biology & Ecology*, 47: 93-99.
- Nagano N., Iwatsuki Y., Kamiyama H., Okazaki Y., Nakata H., 2001. Feeding Strategy of Japanese Sand Lance Larvae in Relation to Ciliated protozoa in the Vicinity of a Thermohaline Front. *Journal of Oceanography*, 57: 155-163.
- Nagano N., Decamp O., 2004. Ingestion of a ciliated protozoa by first-feeding larval stage of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 35: 516-518.

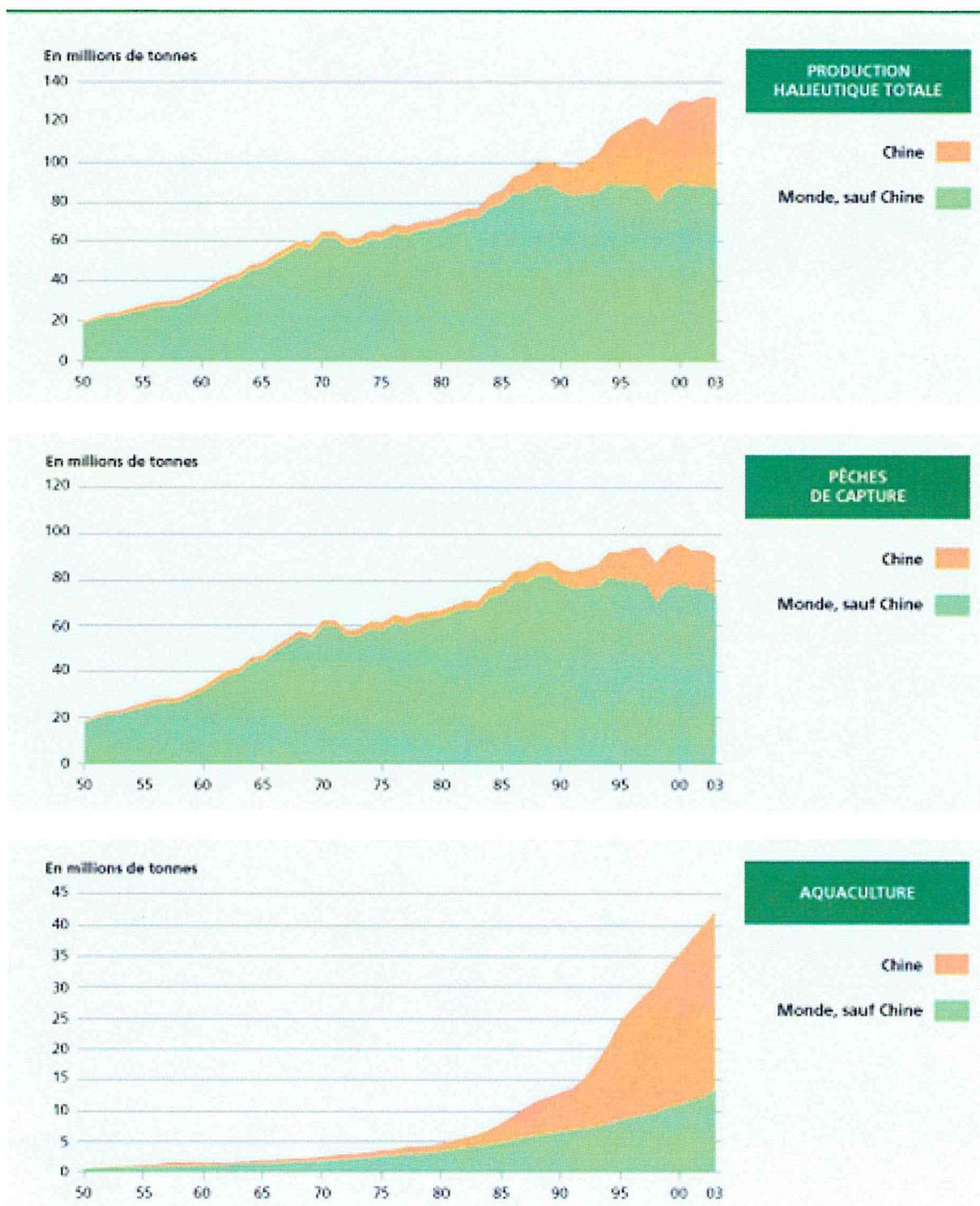
- Ogawa Y., 1973. Various biological questions regarding artificial reefs. *Ocean age*, 3: 21-30.
- Ogawa Y., Takeuchi S., Hatton A., 1977. An estimate for the optimum size of artificial reefs. *Bulletin of Japan Society Fish Oceanography*, 30: 39-45.
- Olivotto I., Marco C., Barbaresi L., Maradonna F., Carnevali O., 2003. Coral reef fish breeding: the secrets of each species. *Aquaculture*, 224: 69-78.
- Olivotto I., Carnevali O., Zenobi A., Rollo A., Migliarini B., Avella M., 2005. Breeding, rearing and feeding studies in the cleaner goby *Gobiosoma evelynae*. *Aquaculture*, 250: 175-182.
- Olivotto I., Rollo A., Avella M., Sulpizio R., Tosti L., Carnevali O., 2006. Breeding and rearing the sunrise dottyback *Pseudochromis flavivertex*: the importance of live prey enrichment during larval development. *Aquaculture*, 255: 480-487.
- Olivotto I., Holtb S., Carnevalia O., 2006. Spawning, early development, and first feeding in the lemonpeel angelfish *Centropyge flavissimus*. *Aquaculture*, 253: 270-278
- Omar R.M.N.R., Kean C.E., Wagiman S., Hassans A.M.N., Hussein M., Hassan R.B.R., Hussin C.O.M., 1994. Design and construction of artificial reefs in Malaysia. *Bulletin of Marine Science*, 55: 1050-1061.
- ONU (Organisations des Nations Unies), 1992. Déclaration sur l'environnement et le développement. *in* : Sommet planète terre, Conférence des Nations Unies, Rio de Janeiro, Brésil, 3 au 14 juin 1992.
- ONU (Organisations des Nations Unies), 2002. Rapport du sommet mondial pour le développement durable. *in* : Conférence des Nations Unies, Johannesburg, Afrique du Sud, 26 août au 4 septembre 2002.
- Palmer-Zwahlen M.L., Aseltine D.A., 1994. Successional development of the turf community on a quarry rock artificial reef. *Bulletin of Marine Science*, 55: 902-923.
- Papandroulakis N., Mylonas C.C., Maingot E., Divanach P., 2005. First results of greater amberjack (*Seriola dumerili*) larval rearing in mesocosm. *Aquaculture*, 250:155– 161.
- Pary, B., 2006. Les récifs artificiels : outils d'aménagement pour la bande côtière du Languedoc-Roussillon, *cours du CREUFOP*.
- Payne M.F., Rippingale R.J., 2001. Intensive cultivation of calanoid copepods *Gladiophereus imparipes*. *Aquaculture*, 201: 329-342.
- Petersen D., Falcato J., Gilles P., Jones R., 2007. Sexual reproduction of scleractinian corals in public aquariums: current status and future perspectives. *International Zoo Yearbook*, 41: 122-137.
- Planas M., Cunha I., 1998. Larviculture of marine fish: problems and perspectives. *Aquaculture*, 177: 171-190.

- Planes S., Lecaillon G., 2001. Caging experiment to examine mortality during metamorphosis of coral reef fish larvae. *Coral reefs*, 20: 211-218.
- Plummer K.L., De witt P., 2004. St Eustatius Marine Park: A case of MPA problems and solutions in the Caribbean. *in: 55<sup>th</sup> Annual Meeting of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. Mexico-city, Mexico, 11 to 15 November 2004. p. 675-684.
- PNUE, 1972. Déclaration finale de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement. *In: United Nations Environment Programme (UNEP)*. Stockholm, Sweeden, 16 June, 1972.
- PNUE - WCMC, 2006. In the Front Line: Shoreline Protection and other Ecosystem Services from Mangroves and Coral Reefs. *In: United Nations Environment Programme (UNEP) report*. Nairobi, Kenya, 24 January 2006.
- PNUE - IUCN, 2003. Planet's List of Protected Areas Tops 100,000 Mark. *In: United Nations Environment Programme (UNEP) and the IUCN- World Conservation Union report*. Durban, South Africa, 9 September 2003.
- Poisson d'or, 2008. Catalogue d'aquariophilie en ligne. [On line]. <<http://www.poisson-or.com>>.
- Polovina J.J., 1990. Assesment of biological impacts of artificial reefs and FADs. In: Symposium on Artificial Reefs and Fish Aggregating Devices as Tools for the management and Enhancement of Marine Fishery Ressources, 14-17 May 1990, Colombo, Sri Lanka. Regional Office for Asia and the Pacific , United Nations Food and Agriculture Organisation, Bangkok. P. 258-263.
- Polovina J.J., 1994. Function of artificial reefs. *Bulletin of Marine Science*, 55: 13-49.
- Poupet O., 1996. Commerce et production des poissons d'ornement dans le monde et en france. Etude bibliographique DESTA, INTECHMER / CNAM, Cherbourg – Université Montpellier 2 / ARDAM / CRA, Mèze, France.33p.
- Rabe J., Brown J., 2000. A pulse feeding strategy for rearing larval fish: an experiment with yellowtail flounder. *Aquaculture*, 191 : 289–302.
- Rebufat F., 2006. Construire des villes pour les poissons. *Rapport de la Reef Ball Foundation, Athens, USA, janvier 2006*.
- Rodríguez C., Pérez J.A., Izquierdo M.S., Cejas J.R., Bolaños A., Lorenzo A., 1996. Improvement of the nutritional value of rotifers by varying the type and concentration of oil and the enrichment period. *Aquaculture*, 147: 93–105.
- Rudd M., Tupper M., Folmer H., Van Kooten G.C., 2003. Policy analysis for tropical marine reserves: challenges and directions. *Fish and Fisheries*, 4: 65-85.
- Russ G.R., Alcala A.C., 2004. Marine reserves: long-term protection is required for full recovery of predatory fish populations. *Oecologia*, 138: 622–627.

- Sale P.F., 1980. The ecology of fishes on coral reefs. *Oceanography Marine Biology Annual Revue*, 18: 367-421.
- Santos M.N., Monteiro C.C., 1998. Comparaison of the catch and fishing yield form an artificial reef system and neighbouring areas off Faro (Algarve, south Portugal). *Fisheries Research*, 39: 55-65.
- Seaman W., Buckley R.M., Polovina J.J., 1989. Advances in knowledge and priorities research, technology and management related to artificial aquatic habitat. *Bulletin of Marine Science*, 44: 527-532.
- Spalding M.D., Ravilious C., Green E.P., 2001. World Atlas of Coral Reefs. *University of California Press*, Los Angeles, USA. p. 78-92.
- Theilacker G.H., 1978. Effect on starvation on the histological and morphological characteristics of Jack Mackerel, *Trachurus symmetricus*, larvae. *Fishing Bulletin U.S.*, 76: 403-414.
- Turner J.P., Rooker J.R., 2005. Effect of dietary fatty acids on the body tissues of larval and juvenile cobia and their prey. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 322: 13– 27.
- Turner S.J., Thrush S.F., Hewitt J.E., Cumming V.J., Funell G., 1999. Fishing impacts and the degradation or loss of habitat structure. *Fisheries Management and Ecology*, 22: 401-420.
- Vagelli A., 2004. Significant increase in survival of captive-bred juvenile Banggai cardinalfish *Pterapogon kauderni* with an essential fatty acid-enriched diet. *Journal of the world Aquaculture Society*, 35: 61-70.
- White A., Eisma-Osorio R.L., Green S., 2005. Integrated coastal management and marine protected areas: complementarity in the Philippines. *Ocean & Coastal management*, 48: 948-971.
- Wittenrich M., Turingan R., Creswell L., 2007. Spawning, early development and first feeding in the gobiid fish *Priolepis nocturna*. *Aquaculture*, 270: 132-141.
- Yüfera M., Darias M.J., 2007. The onset of exogenous feeding in marine fish larvae. *Aquaculture*, 268: 53-63.
- Zambonino J.L., Cahu C.L., 2007. Dietary modulation of some digestive enzymes and Metabolic processes in developing marine fish: Applications to diet formulation. *Aquaculture*, 268: 98–105

**Annexe 1 : Production mondiale de poissons (en millions de tonnes) entre 1950 et 2003, Chine et reste du monde.**

Source : FAO, 2005.



Remarque : Les données ne comprennent pas les échanges commerciaux de coquillage, de plantes aquatiques, de coraux, d'éponges, de crocodiles.