

Ingénieurs, chercheurs, étudiants, gestionnaires

GILBERT **BARNABÉ**



Écologie et aménagement des eaux marines

Le potentiel des océans et des mers



Lavoisier
TEC & DOC



CHAPITRE 15

Habitats ou récifs artificiels

1. Interfaces en milieu aquatique

La surface de l'eau en contact avec l'air (microcouche de surface), la périphérie des minuscules bulles gazeuses ou huileuses que l'on rencontre en mer (dégagement gazeux, bulles injectées par les vagues), la périphérie des êtres vivants, mais aussi la surface des particules inertes, aussi petites soient-elles, constituent des zones de contact entre l'eau et un autre fluide ou un solide qui sont le cadre de phénomènes particuliers (*voir* Chapitre 3, paragraphe 1). Ces zones de contact ou interfaces sont très nombreuses en milieu aquatique.

L'interface peut également être rigide et fixe, comme le fond de la mer ou le tombant d'une falaise en contact avec l'eau, ou rigide, mais mobile comme les coques des bateaux ou souple comme une amarre. Le fond peut aussi être meuble (vaseux et sableux) et la nature de ces substrats immergés entraîne des incidences écologiques et biologiques, autant à l'échelle d'un organisme qu'à celle de la productivité biologique totale : une jetée, une amarre de bateau vont servir d'habitat à une multitude d'êtres vivants qui, sans cela, n'auraient pas vécu au-delà de leur phase planctonique ; un fond meuble conviendra aux espèces fouisseuses, mais pas à d'autres, etc. Les interfaces que l'on rencontre en mer sont donc très variées et cette variété va de pair avec des catégories d'organismes aussi variés (*voir* Figures 15 à 26 planches couleurs).

Nous nous limiterons ici aux interfaces entre milieu aquatique et substrat solide, car il s'agit à la fois du plus riche sur le plan biologique et de celui qui se prête le mieux aux aménagements. Les récifs artificiels, les ouvrages de protection des rivages, mais aussi tous les ouvrages immergés (plateforme offshore, pipe-line, cages d'élevage, coques et mouillages de bateau en service ou coulés, brise-lames, capteurs pour huîtres, etc.) jouent un rôle identique. Les récifs artificiels sont spécifiquement destinés à cet usage ; nous les examinerons en premier.

2. Définition et rôle des habitats artificiels

Un habitat ou récif artificiel est une structure immergée, construite ou placée délibérément sur le fond marin dans le but d'imiter certaines fonctions d'un récif

naturel destinées à protéger, régénérer, concentrer et/ou valoriser les peuplements de ressources marines vivantes (Convention et Protocole de Londres/PNUE, 2009). Les récifs artificiels et autres structures assimilées ont tous le même objectif : accroître la productivité du milieu (FAO, 1990).

Leur effet physique direct est de fournir un substrat pour les organismes fixés, d'augmenter la complexité structurale des habitats en fournissant de l'espace dans le sens vertical et de modifier l'action des vagues et des courants. Au plan écologique, on utilise les habitats artificiels pour augmenter la production des pêcheries, mais aussi pour influencer le cycle biologique des organismes ou la fonction des systèmes écologiques, ou pour protéger et/ou conserver les habitats. Les principes en cause sont ceux du génie écologique ou de l'écotechnologie (*voir* Chapitre 11) et il est communément admis que l'efficacité des récifs artificiels s'exerce essentiellement à de nombreux stades :

- agrégation de poissons par thigmotactisme* ou attraction trophique ;
- production de biomasse d'invertébrés (mollusques surtout) à la recherche de substrats durs, mais aussi de poissons, en particulier de juvéniles, due à une réduction de la mortalité par prédation (grâce aux refuges proposés) et à une croissance dans un milieu trophique favorable ;
- protection (*vis-à-vis* des arts traînants) des herbiers de posidonies et des poissons juvéniles de fonds meubles, devenus ainsi inaccessibles au chalutage côtier ;
- limitation d'impacts nuisibles à l'environnement et restauration des habitats (récifs de corail), prévention du chalutage dans des zones déterminées ;
- création d'aires marines protégées ;
- contrôle de l'érosion des plages ;
- création de brise-lames ;
- augmentation des quantités pêchées ;
- création de zones de reproduction ;
- création de zones de pêche artisanale ;
- création de zones de pêche de loisir (à la ligne, sous-marine) ;
- création de zones de plongée de loisir et diminution de la pression de plongée sur les récifs coralliens ou les sites naturels ;
- création de zones de surf ;
- création de zones de résurgences (Japon) ;
- création de zones pour l'expérimentation scientifique ;
- création de nouveaux habitats dans les réserves ;
- création de zones pour la culture des mollusques (en assurant le recyclage des nutriments) ;
- création d'îles artificielles (par pompage de sédiment) pour créer une nouvelle zone territoriale en mer.

Cette liste met en évidence deux fonctions distinctes, mais assurées conjointement par ces structures : la protection physique et la fonction biologique. La première fonction tient du rapport de force : résistance aux forces de la mer (vagues, courants) ou aux tractions des chaluts ; elle relève du génie civil. Au plan biologique, l'utilisation des récifs artificiels (RA) a fourni une masse énorme de connaissances techniques issues de la pratique. L'emploi de ces habitats artificiels constitue une branche d'activité multidisciplinaire, même si beaucoup de travaux concernent les populations de poissons.

Pour la pêche professionnelle, les récifs artificiels constituent une forme d'aménagement et de gestion considérée comme une contrepartie aux difficultés rencontrées par ces professionnels (diminution des apports, conflits pour la ressource, quotas

imposés, limitations d'accès aux zones de pêche) ou aux diverses dégradations d'origine anthropique subies par le secteur (pollutions des eaux, constructions littorales, destruction des herbiers, etc.).

3. Typologie et utilisation des récifs (habitats) artificiels

Établir une description complète de tous les types de récifs artificiels utilisés de par le monde exigerait plusieurs volumes, mais c'est selon leur fonction que nous essaierons de les classer. Nous rattacherons aux récifs des structures mises en place à d'autres fins, mais qui jouent le même rôle.

3.1. Récifs artificiels de recrutement

Nous avons vu (*voir* Chapitre 5) que la majorité des espèces marines entamaient leur vie par un stade larvaire planctonique qui constitue une forme de dissémination passive. Cette particularité concerne aussi bien les êtres pélagiques* que benthiques* et la réussite de ces larves planctoniques règle l'abondance des populations d'adultes.

3.1.1. Espèces benthiques

3.1.1.1. Pénurie de substrats pour la fixation

La transition entre vie planctonique et vie sur le fond, qu'elle soit fixée ou mobile, pose des problèmes aux larves du fait des phénomènes hydrodynamiques et des changements de comportement qu'elles doivent surmonter (*voir* Chapitre 6). Le recouvrement des fonds durs et stables de la zone côtière par des êtres fixés (le benthos) est à peu près total et les nouveaux candidats arrivant sous forme de larves planctoniques (ou de spores pour les algues) doivent soit utiliser les parties dures des êtres benthiques (coquille), soit coloniser des zones vierges encore disponibles, s'il en existe, soit périr en fin de vie larvaire lorsque aucune zone propice à la fixation n'a été trouvée ou que les eaux sont trop profondes pour parvenir au fond. La très grande majorité des larves d'espèces benthiques ou démersales*, produites par milliards, sont ainsi vouées à périr par manque de substrat, par famine ou par prédation. Fage (1913) attribuait déjà la pauvreté de la Méditerranée en poissons à l'absence d'habitat adéquat en fin de vie planctonique : du fait de la rareté des plateaux continentaux de cette mer, les espèces des fonds côtiers ne trouvent pas d'habitats propices en fin de vie larvaire, les grands fonds étant très proches du rivage. Le golfe du Lion, pourvu d'un plateau continental et plus poissonneux, conforte cette hypothèse.

L'absence de supports vierges disponibles constitue une des principales causes de mortalité des stades larvaires des espèces fixées. Certaines de ces espèces consacrent ainsi une grande partie de leur énergie (estimée à 75 % de l'énergie métabolisée par l'huître selon Héral, 1989) à produire une descendance vouée en majorité à périr. C'est un paradoxe bien connu que certains écologistes interprètent comme

une contribution au fonctionnement global de l'écosystème : la structuration par la taille des réseaux trophiques fait considérer les gamètes et les larves émises comme un recyclage d'énergie vers le bas, vers la boucle microbienne (*voir* Chapitre 5).

3.1.1.2. D'énormes capacités de colonisation

On peut également l'interpréter comme une formidable capacité d'expansion des espèces marines en conditions favorables (habitats et nourriture disponibles, prédation limitée). Le captage de mollusques constitue une réalité qui illustre ces capacités : l'ostréiculture, la mytiliculture et la pectiniculture traditionnelles sont basées sur la capture de larves au moment de leur fixation sur un substrat vierge, le capteur, qui leur est fourni par l'homme. On peut parler d'habitat artificiel pour ces capteurs.

Concernant les poissons, la mortalité par pénurie probable d'habitats a été suivie pour le Mérou *Epinephelus merra* par Letourneur *et al.* (1998) à La Réunion, lors d'une arrivée massive de juvéniles sur les fonds récifaux (237/10 m²). Sept semaines plus tard, la mortalité concernait de 85 à 95 % des arrivants (cannibalisme et prédation par manque d'abri) et la densité résiduelle était de 9/10 m². Aburto-Oropeza *et al.* (2007) montrent également que le recrutement d'une autre espèce de mérou dans le golfe de Californie est déterminé par la disponibilité d'habitats. Beets et Hixon (1994), étudiant la répartition des populations de mérous sur différents types de récifs artificiels, concluent que de tels récifs de structure appropriée sont susceptibles d'augmenter l'abondance locale de ces espèces.

3.1.1.3. Un besoin d'habitats spécifiques

Le rôle de la disponibilité en habitat dans le recrutement est bien établi pour le recrutement des poissons de coraux (Shulman, 1984 ; Sale et Ferrell, 1988). Ces derniers auteurs montrent que la plus forte mortalité des juvéniles de plusieurs espèces intervient dans les deux semaines qui suivent leur passage à la vie benthique, ce qui rejoint les données de Letourneur *et al.* (1998). Dufour *et al.* (1995) et Doherty *et al.* (2004) ont montré pour le recrutement des poissons de récifs coralliens que l'absence d'habitat en fin de vie pélagique contribue pour plus de 90 % à la mortalité larvaire.

Buckley (1991) précise que le recrutement du poisson de roche *Sebastes sp.* dépend de la disponibilité en habitats : étudiant la colonisation de récifs artificiels de la région du Puget Sound (Washington), il met en évidence une corrélation positive entre la taille des cavités et celle des poissons qui l'occupent à partir d'une taille de 30 à 40 mm. Ces données ont été utilisées pour construire un récif de recrutement constitué de 700 tonnes de roches (d'une taille comprise entre 8 et 10 cm pour éviter la création d'abris pour les prédateurs), étalées sur 13 000 m² et d'une hauteur de 25 cm (récifs immergés entre 6 et 15 m de profondeur, [Figure 15-1](#)). Cette technique est toujours utilisée (Ito, 2011).

Des habitats constitués de rouleaux de grillage de jardin suspendu en pleine eau à diverses profondeurs (3 ; 5 ; 7 ; 9 m) ont été testés pour l'installation de larves de poissons de coraux dans le lagon de la Grande Barrière de Corail par Leis *et al.* (2002). Les larves de 50 espèces s'y sont installées, montrant des préférences diverses quant à la profondeur.

Kakimoto signale l'utilisation de coquilles de mollusques rassemblées en modules dans des cylindres de grillages disposés dans des cubes de béton de 1 m³ en béton. Dans ces nurseries se développent des populations d'algues, de vers et de crustacés, entraînant une augmentation significative de la biomasse des poissons. Ces structures favorisent la reproduction, l'alimentation et la survie de nombreuses espèces exploitées (rapporté par Lacroix, 1999).

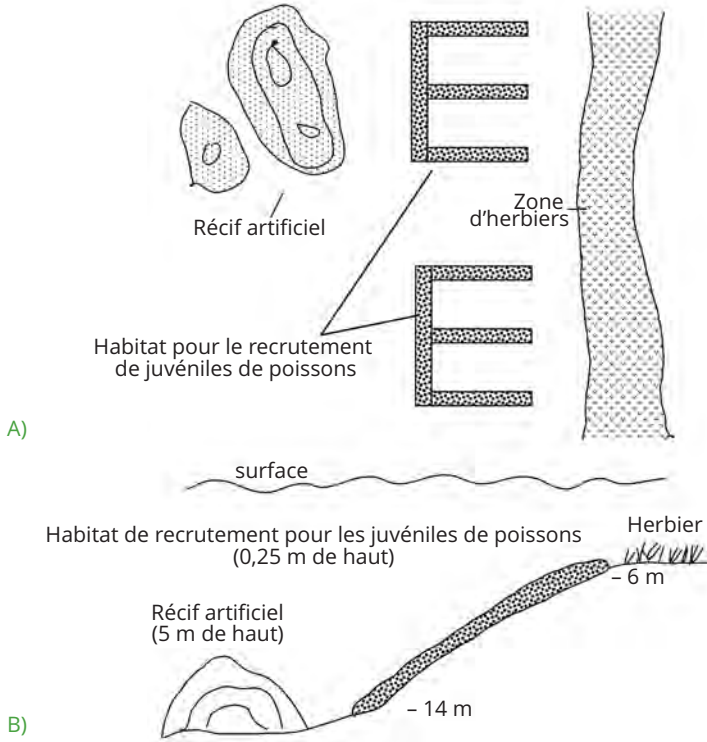


Figure 15-1. A) Vue en plan du récif artificiel utilisé pour le recrutement de poissons de roche. B) Vue en coupe du récif artificiel utilisé pour le recrutement de poissons de roche (adapté de Buckley RM [1991]. Recruitment of juvenile Rockfish (*Sebastes*) to artificial reef habitats in Puget Sound, Washington. Proceed. Japan-US Symposium Artificial Habitats for Fisheries. Japan Intern. Mar. Sc. Technol. Feder.).

Pour les crustacés, les travaux de Riclet (1998) montrent que les larves de la langouste rouge (*Panilurus argus*) se fixent en fin de vie planctonique sur les amarres des bateaux de pêche recouvertes de salissures et d'algues, le long de la côte Caraïbe de la Martinique, à raison de 20 à 40 sujets par cordage d'une vingtaine de mètres de long. Ellis (1991) indique qu'un petit collecteur immergé constitué de substrats divers capte 300 à 400 juvéniles de cette même espèce par an et par capteur en Floride et à Antigua, car le recrutement est continu. Concernant le homard (*Homarus vulgaris*), Wahle et Steneck (1991) considèrent que la rareté d'un substrat constitué de galets capable de fournir des abris constitue le goulot d'étranglement pour le recrutement des stades benthiques (carapace de 5 à 40 mm de long).

3.1.1.4. Habitats artificiels de recrutement

Mottet (1985) décrit des récifs « nurseries » mis en place dans la mer de Seto, constitués de récifs en béton ($2,3 \times 1$ m) disposés autour de $4\,150$ m² de roches agencées en monticules (Figure 15-2).

Les blocs et les roches ont servi de substrat pour les algues et les jeunes de diverses espèces fréquentent cette zone auparavant déserte. La figure 15-3 représente un bloc destiné au recrutement des ormeaux proposé par un fabricant japonais. Un modèle manipulable ($49 \times 42 \times 25$ cm, 30 kg) a été utilisé par Ebata et Higashi (2009).

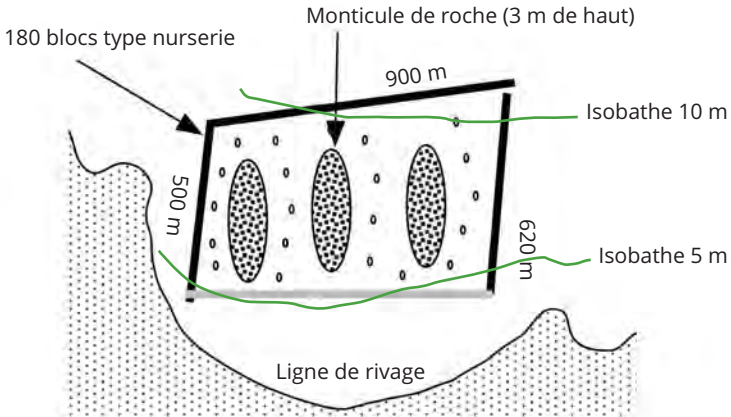


Figure 15-2. Nourricerie pour poissons, aménagée à l'aide d'habitats artificiels (adapté de Mottet MG [1985]. Enhancement of the marine environment for fisheries and aquaculture in Japan. In : D'Itri F. *Artificial reefs. Marine and Freshwater Applications*. Lewis Publ, Chelsea, Michigan : 13-94).

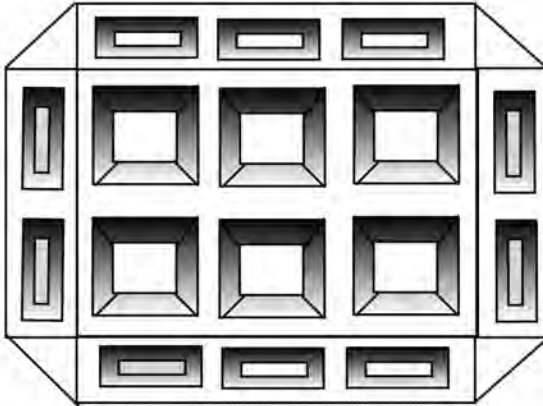


Figure 15-3. Récif de recrutement et de prégrossissement pour ormeaux (type A proposé par Terrax Co. Ltd.). Poids de 0,5 à 4 tonnes. Les cavités sont utilisées comme abri par les ormeaux et la surface sert à la fixation des algues dont ils se nourrissent (ces récifs sont traités en surface au sulfate de fer pour la fixation des algues).

La protection de fonds littoraux pour le repeuplement en palourdes au Japon va de la mise en place de brise-lames immergés constitués de blocs de roche à celle de barrières constituées de sacs de sable pour briser le courant. Elle est illustrée par Mottet (1985), qui nous a inspiré les figures 15-4 et 15-5.

Narumi (rapporté par Lacroix, 1999) montre que la survie des œufs de calmar *in situ* dans des récifs spécialement conçus à cet effet varie de 76 à 81 %, alors qu'elle n'est en moyenne que de 20 % en conditions naturelles. Dans sa revue des fonctions des récifs artificiels au Japon, Ito (2011) note également le dépôt de pontes de calmars à la face inférieure de modules récifaux en béton (voir Figure 47 planches couleurs).

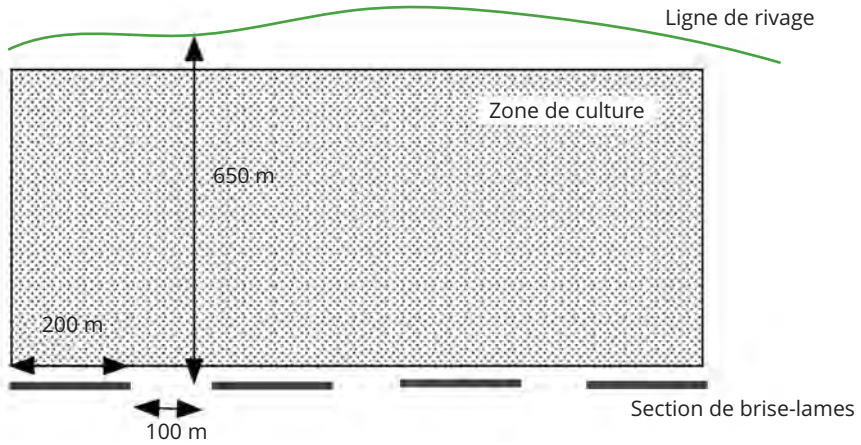


Figure 15-4. Fond de culture pour les bivalves enfouis protégés par des brise-lames immergés (adapté de Mottet MG [1985]. Enhancement of the marine environment for fisheries and aquaculture in Japan. In : D'Itri F. *Artificial reefs. Marine and Freshwater Applications*. Lewis Publ, Chelsea, Michigan : 13-94).

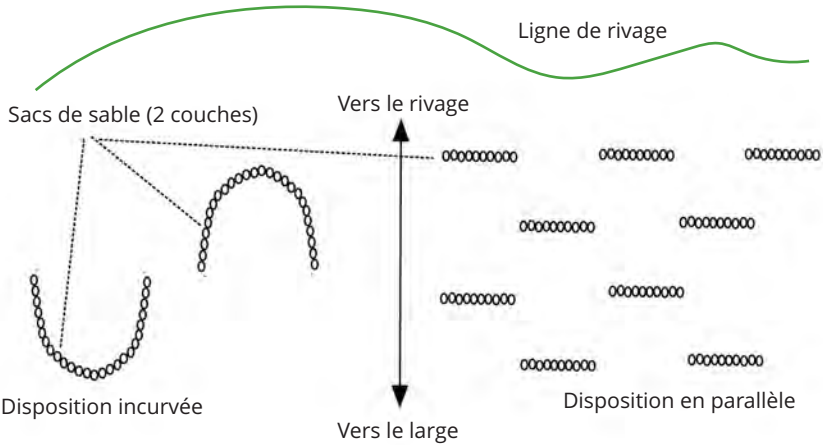


Figure 15-5. Barrières aux courants et aux vagues pour l'aménagement de nurseries intertidales naturelles de bivalves enfouis au Japon (adapté de Mottet MG [1985]. Enhancement of the marine environment for fisheries and aquaculture in Japan. In : D'Itri F. *Artificial reefs. Marine and Freshwater Applications*. Lewis Publ, Chelsea, Michigan : 13-94).

La restauration ou l'implantation de récifs coralliens par transplantation de coraux grossis en nurserie ou de boutures prélevées en milieu naturel est très pratiquée dans la ceinture tropicale. Ces implants sont collés sur des treillis métalliques, des récifs artificiels ou naturels à l'aide de ciment, de colle époxy, etc. L'utilisation de l'électricité pour provoquer la fixation de minéraux par électrochimie est également employée pour favoriser le recrutement et accélérer la croissance du corail *in situ* (voir plus loin, paragraphe 4).

3.1.2. Espèces démersales et pélagiques

La production de biomasse de poisson due au recrutement de larves pélagiques sur une structure artificielle, en l'occurrence une plateforme pétrolière, a été précisée par Love *et al.* (1994) après une étude basée sur des suivis en sous-marin et grâce à des marquages : pour eux, la structure offre des habitats pour le recrutement et le passage à la vie benthique, mais aussi pour la croissance avant une phase de dispersion à l'état de petits juvéniles.

Les résultats de Sundblad *et al.* (2013) montrent que la disponibilité en habitat des nurseries détermine la quantité d'adultes de deux espèces prédatrices exploitées. Les exemples pourraient être multipliés, les photographies des planches illustrent le rôle d'habitat artificiel joué par des substrats destinés à d'autres usages dans le recrutement, autant en milieu tempéré que tropical (*voir Figures 40 à 55 planches couleurs*).

En pleine eau plus qu'ailleurs, l'action des récifs artificiels ne peut pas être isolée de celle du mouvement des eaux (*voir Chapitre 6*), tant la présence de discontinuités hydrodynamiques (fronts thermoclines, obstacles physiques) paraît déterminante pour essayer de comprendre les mécanismes du recrutement. Selon China *et al.* (2014), les contraintes hydrodynamiques (liées à la taille des larves et à la viscosité de l'eau) limitent leur capacité à capturer leurs premières proies, réduisant leur taux d'alimentation. Ce dépérissement lié aux caractéristiques physiques des larves serait la cause de leur mort en masse au cours de cette période critique.

3.2. Rôle d'habitat des ouvrages de protection : brise-lames, jetées, digues

Les moins profonds des récifs artificiels sont constitués par les brise-lames destinés à protéger des ports, des plages ou d'autres portions du littoral. Comme le notent Stephens *et al.* (1994), le brise-lames qu'ils étudient (18 années de suivi) présente des populations de poissons plus abondantes et plus diversifiées qu'un substrat dur voisin : la structure la plus ancienne et la plus efficace pour augmenter les populations de poissons n'a pas été conçue dans ce but !

Un brise-lames peut donc constituer un habitat exceptionnel pour les poissons. C'est ce que nous avons constaté à Monaco au cours de suivis sur des transects traversant à la fois jetées faites de blocs rocheux et récifs artificiels moins peuplés (Barnabé et Chauvet, 1992).

Outre le rôle d'habitat fourni par les substrats durs installés, les ouvrages de protection fournissent des zones d'eaux calmes, des zones intermédiaires de turbulences variées (micro- et macroturbulences) que sélectionnent la faune et la flore en fonction de leurs préférences. Ces conditions variées en font des milieux plus riches que le reste des eaux.

3.3. Récifs de protection des côtes

La démarche de Collins *et al.* (1994a) combine la protection de côtes contre les tempêtes, la restauration des habitats et l'amélioration des pêches : ils suggèrent pour cela l'utilisation de déchets stabilisés. Les techniques de défense vis-à-vis de la mer

évoluent des puissants murs de bétons à des options plus douces, incluant des obstacles immergés au large pour réduire l'énergie des vagues atteignant la côte (voir Figures 37 à 39 planches couleurs) (Figure 15-6) ; de tels aménagements peuvent intégrer des habitats pour permettre la culture d'algues, de mollusques, de crustacés et de poissons.

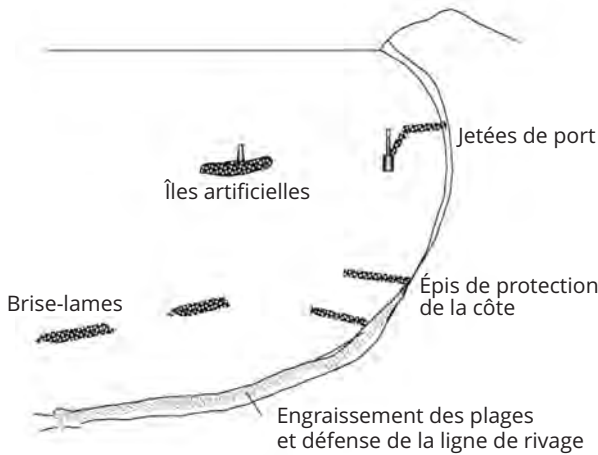


Figure 15-6. Utilisation potentielle de déchets stabilisés dans l'environnement marin selon Collins *et al.* (adapté d'après Collins KJ, Jensen AC, Lockwood AP, Lockwood SJ [1994]. Coastal structures, waste material and fishery enhancement. Bull Mar Sc, 55).

La même équipe (Collins *et al.*, 1994b) a étudié le relargage possible de métaux lourds à partir de cendres de charbon issues de centrales thermiques et utilisées dans la construction de récifs artificiels (blocs de $0,4 \times 0,2 \times 0,2$ m). À l'exception d'une perte ou d'une redistribution interne de 5 % du cadmium et d'un enrichissement de la surface des blocs par du manganèse et du chrome, tous les autres métaux lourds sont stables (Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn). Par d'autres approches, d'autres auteurs (Shieh et Duedall, 1994) aboutissent à des résultats indiquant qu'il n'y a pas de relargage de métaux lourds par de tels récifs. Les communautés d'espèces colonisant la surface de récifs artificiels faits de ciment et de cendres stabilisées sont identiques (Nelson *et al.*, 1994).

Un type de récif spécifique de protection des plages et des côtes et construit à cette fin, est commercialisé : le « Reef ball ». Le fabricant en aurait vendu et installé un demi-million (www.reefball.org). Il s'agit de demi-sphères en mortier moulé, enrichi en silice, creuses et percées d'orifices. Ce type de récif peut également servir pour la réhabilitation des récifs de corail, la fixation d'huîtres, etc. Il s'inscrit dans le vaste catalogue des récifs artificiels destinés à des fonctions spécifiques (près de 400 modèles sont brevetés au Japon).

L'énergie des courants et vagues peut être utilisée pour la construction de récifs artificiels, en piégeant les sédiments transportés par des structures construites à cette fin, comme le font aussi les géotubes (voir Paragraphe 3-6). Ces dispositifs permettent de ralentir et stopper l'érosion des plages. La NOAA en a testé deux avec succès (NOAA Fisheries services, Demonstration projects [2015]. Voir aussi www.sandsaver.com et www.stopbeacherosion.com).

3.4. Récifs de déchets recyclés

Les pneus ont été largement utilisés pour la construction de récifs artificiels, car ils constituent un déchet industriel abondant, peu onéreux et d'une durée de vie inégale. On trouvera de nombreux exemples de leur utilisation dans l'ouvrage de Seaman et Sprague (1991) ou le travail de Branden *et al.* (1994).

Une immersion mal préparée et massive en Floride (Fort Lauderdale) s'est traduite par la dispersion de milliers de pneus non lestés sur les fonds marins dans les années 1990 (Skoloff, 2007 ; Project baseline, 2013). Ballotés par les vagues ils ont raclé et détruit les fonds naturels et sont depuis bannis de nombreux pays et accusés de pollution chimique, mais aucun cas de toxicité de pneus dans l'environnement marin n'a encore été signalé (Collins, rapporté par Lacroix, 1999). Notons que des pneus sont pendus dans les cages d'élevage de mérus pour leur fournir des abris et améliorer leur croissance ! Des effets bénéfiques sont signalés et le corail colonise les pneus.

Ils ne devraient jamais être employés seuls (densité faible), mais lestés de du mortier coulé à l'intérieur. La sécheresse a mis à jour un récif de pneus 40 ans après son immersion dans un barrage réservoir des États-Unis où il constituait un coin de pêche très réputé. Les pneus ont bien joué leur rôle sur ce site déclarent les pêcheurs (washingtontimes.com, 2015). Une vidéo (Youtube, 2009), réalisée sur un récif de pneus australien, est démonstrative. Leur mauvaise réputation liée à une mauvaise utilisation n'est pas toujours méritée, mais il est vrai que leur colonisation par la faune est très lente, voire absente.

Les débris de déconstruction d'immeubles, de ponts, de stades, des tubes de béton et autres pièces de ciment tels que de vieux poteaux électriques ont été utilisés dans de nombreux pays, car ces matériaux ont fait leurs preuves. Ils sont utilisés pour la construction de récifs artificiels spécifiques. Les sapins de Noël, lestés, sont également recyclés dans les lacs aux États-Unis.

Les épaves de bateaux, de tanks, d'autobus, de métros, d'avions sont utilisées depuis longtemps dans de nombreux pays. Les grandes épaves de bateaux constituent des sites appréciés pour la plongée de loisir (le tourisme est au plan mondial, beaucoup plus important que la pêche : voir Chapitre 8, Tableau 8-I).

3.5. Récifs artificiels pour algues et invertébrés

3.5.1. Récifs de roche naturelle

Ce type de récif est mis en place lorsque les substrats ou des habitats favorables, c'est-à-dire durs, font défaut dans les zones où le fond est constitué de sédiments meubles. En 1870 au Japon, environ 100 000 blocs de roche de 40 à 50 cm ont été mis en place pour la culture d'algues. Cette technique d'enrochement est toujours utilisée pour la culture de *Laminaria*, d'*Undaria* ou de *Gelidium* de nos jours, même si des récifs spécifiques à cet usage sont proposés. Dans le cadre d'aménagements de « compensation », des récifs de ce type ont été installés lors de la mise en place d'une centrale nucléaire au Japon, suite à cinq années d'essais préliminaires (Yorouchi *et al.*, 1991) : des blocs de schiste naturel d'une longueur maximale de 70 cm ont été mis en place sur trois sites couvrant 6 puis 5 et 1 ha ; ces habitats sont constitués de monticules de 3 m de haut, larges de 50 à 100 m, sur les fonds de 10 m. Les

populations d'algues suivies par les auteurs sont aussi variées que sur les substrats naturels et sont devenues des habitats de choix pour de nombreux organismes d'intérêt commercial. Nous avons installé en Martinique (Barnabé, 2007) quatre récifs de roches naturelles colonisés par des algues, des invertébrés et des poissons (voir Figures 49 à 53 planches couleurs).

Les récifs destinés à la culture des algues au Japon ont également pour finalité d'attirer les ormeaux et les oursins. Pour le développement des algues, une simple couche de roche sur un fond sableux suffit, mais si elles sont entassées sur 0,5 m de haut les ormeaux et les oursins seront présents. La largeur de tels récifs est de quelques dizaines de mètres. Le ramassage des algues est relativement mécanisé, ce qui permet des collectes de grande envergure.

Dans les zones où les tempêtes peuvent déplacer et disperser de tels blocs, ils sont disposés dans des cages en filet synthétique de 4 m de long sur 1,2 m de large et 0,6 m de haut, les *futon cage* garnis de roches de 20 à 50 cm de diamètre (poids : 2,9 à 4,4 t). L'ensablement partiel est un problème dans les zones très agitées, mais malgré cela ce type de structure est utilisé à grande échelle (10 000 par exemple pour délimiter une zone de 27 ha pour le kelp). Mottet (1985) fournit de nombreux détails sur cette technique. La profondeur d'immersion de ces structures va de 3 à 10 m. Le nettoyage des substrats (ou leur renouvellement) améliore la production d'algues ; un bloc propre produit 70 kg (393 frondes) tandis qu'un bloc immergé depuis six ans en produit 4 kg (13 frondes).

Fujita (2011) fait un point sur la gestion des écosystèmes à algues laminaires au Japon, où le souci principal est la restauration des zones dépeuplées. Il note une longévité fonctionnelle trop courte des substrats rocheux et donc une baisse de leur immersion depuis les années 1990.

L'état américain du New Jersey a immergé 3 millions de m³ de blocs de roche sur les récifs de Shark River, dont 30 000 m³ fin 2014 (App.com, 2014). Les roches constituent 96 % de ces récifs destinés à la pêche à la ligne et à la plongée.

3.5.2. Récifs construits pour algues et invertébrés

Il en existe de nombreux types et un ouvrage leur a été consacré au Japon (Tokuda, 1994). Les récifs pour algues et ormeaux ont souvent la forme reproduite sur la figure 15-3 et sont proposés par de nombreux fabricants japonais. Il y a des particularismes locaux, notamment pour les langoustes et homards (Figure 15-7).

Leur partie supérieure est souvent aplatie (voir Figure 15-3) pour les algues. Ces récifs sont préférés aux blocs de roche naturelle du fait de leur poids plus faible et de leur complexité de structure qui ménage des abris pour les invertébrés et les juvéniles de poissons, mais aussi de leur hauteur au-dessus du fond, etc. Les figures du présent chapitre et des articles référencés donnent une idée de la diversité de leur forme selon les fonctions auxquelles ils sont destinés.

Le récif « OysterBreak » utilisé aux États-Unis a la forme d'un cylindre pour un diamètre extérieur de 1,5 m une hauteur moitié moindre et un poids allant de 600 à 1 200 kg pour rester stable dans un cyclone. La surface poreuse du béton attire les larves d'huîtres. Des structures diverses (murs, tas de roches, etc.) destinées à la fixation de filtreurs sont également utilisées pour assurer l'épuration des eaux, soit en aval des élevages aquacoles (moules en aval de bassins de crevettes, de poissons), moules ou huîtres dans des ports, des chenaux, pour clarifier ces eaux. L'épuration engendrée par cette mise en place est de l'ordre de 50 %.

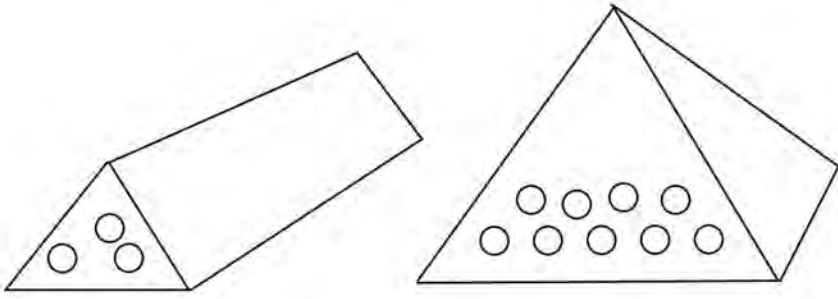


Figure 15-7. Récifs à langoustes et homards (adapté de D'Itri F (1985). *Artificial reefs. Marine and Freshwater Applications*. Lewis Publ, Chelsea, Michigan).

À Cuba et au Mexique, des habitats artificiels constitués de pièces de bois entrecroisées recouvertes de tôles et surélevées du fond de 15 cm environ (casitas) sont utilisés pour attirer les langoustes (*Palinurus argus*) et faciliter leur capture. Il s'agit de récifs artificiels relevables : les pêcheurs secouent le récif et capturent les langoustes au filet. Environ 120 000 casitas seraient utilisés à Cuba pour une capture de 7 000 tonnes de langoustes. La thèse de Muñoz-Nuñez (2009) fait le point sur cette pêcherie.

3.6. Récifs de protection des fonds meubles

À côté de ces récifs destinés à une colonisation directe par les invertébrés, d'autres sont spécifiquement destinés à la protection de fonds meubles aménagés pour les repeuplements en palourdes et en crevettes au Japon. Nous en avons déjà vu plusieurs types destinés à favoriser le recrutement ou à la protection des nourriceries.

En France, un récif spécifiquement destiné à la protection des fonds contre le chalutage a été utilisé : il s'agit d'une structure en béton armé de fibres d'acier (éléments de 60 mm de long, 2 mm d'épaisseur, terminés à leur extrémité par une partie arrondie), ce qui permet de les inclure dans la bétonnière et de réaliser le récif par moulage du béton. Baptisé « Sea rock », il est constitué d'un tronc de pyramide de 2×2 m de grande base et de $0,5 \times 0,5$ m de petite base. Bien que léger, ce récif renversé par un chalut le détériore par ses aspérités. Plusieurs centaines ont été installés dans les eaux côtières de Camargue (Tocci, 1994). Ils sont réputés très efficaces et dissuasifs. Bien d'autres structures lourdes (béton) et de formes diverses assument à la fois la fonction de protection et d'habitat tels les tubes de béton utilisés dans les travaux publics (Figure 15-8 et voir Figures 40 et 43 à 47 planches couleurs).

Un nouveau type de protection des côtes (pour l'Europe), le « Géotube », a été installé en 2012-2013 pour protéger 1,5 km de plage proche de Sète, sur le littoral du Languedoc. Il consiste en deux files de boudins de géotextiles de 3 m de diamètre et d'une douzaine de mètres de long, disposés côte à côte ; ils sont immergés à 350 m du rivage (fonds de 4 m), parallèlement à la plage, puis garnis de sable pompé sur place. Les vagues venues du large déferlent sur ces boudins (partie supérieure à 1,5-2 m de profondeur) par mer forte et presque plus sur les plages ; en septembre 2014, le boudin côté plage était ensablé sur la moitié de sa hauteur environ, pas celui du côté large (voir Figure 39 planches couleurs). Moules, autres invertébrés et jeunes poissons

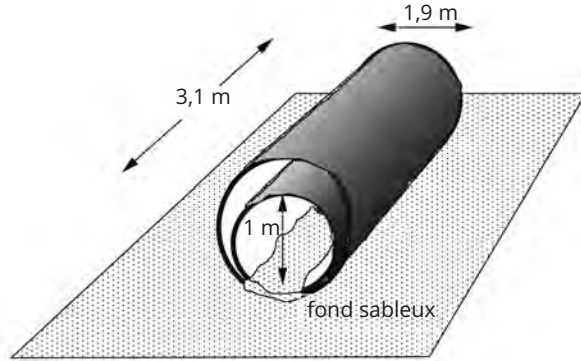


Figure 15-8. Module récifal utilisé pour la protection des zones de pêche littorales contre le chalutage.

ont été rencontrés sur ce nouveau substrat. En juin 2015, la plage a regagné 12 m en largeur et au moins le double en aout (observation personnelle). Cette zone protégée pourrait être utilisée pour la culture de bivalves enfouis, le captage, etc. Des boudins de diamètre et longueur diverses peuvent être agencés pour constituer des habitats complexes.

3.7. Habitats artificiels spécifiques aux poissons

Cet usage des récifs artificiels est le plus répandu dans le monde : il est connu que les poissons se rassemblent dans les zones où un changement topographique marque le relief du fond. Les épaves de navire constituent les récifs les plus anciens.

La répartition des poissons autour des récifs a été codifiée et sur un plan pratique on peut distinguer trois grandes catégories de poissons fréquentant les récifs : les espèces pélagiques, dites migratrices de surface, les espèces migratrices de fond et les poissons résidents, non migrateurs (Figure 15-9).

Le comportement des poissons pélagiques autour des substrats immergés a été assimilé à la recherche d'un repère spatial dans un milieu à trois dimensions qui n'en possède pas, mais les poissons détectent les récifs bien au-delà de leur limite de visibilité et y reviennent après s'en être éloignés de plusieurs centaines de mètres. Le repérage se ferait à partir de la perturbation hydrodynamique perçue par les poissons (Figure 15-10) ou à partir du bruit émis par les espèces présentes sur le récif. Cette détection serait encore efficace à 1 500 m. La capture par pêche autour des récifs est plus abondante jusqu'à 200 m de distance et l'influence est encore sensible entre 200 et 800 m. Notons que les suivis scientifiques en plongée sont le plus souvent limités à la limite de visibilité autour du récif.

3.7.1. Architecture et structure

3.7.1.1. Complexité structurale

L'architecture des récifs d'attraction de poissons est très variée. Les entassements de roches naturelles (voir Paragraphe 3.5.1) sont reconnus comme l'une des meilleures architectures de récifs artificiels pour les poissons, car ils fournissent abris et irrégularités de structure (voir Figures 49 à 53 planches couleurs).

7. Récifs artificiels

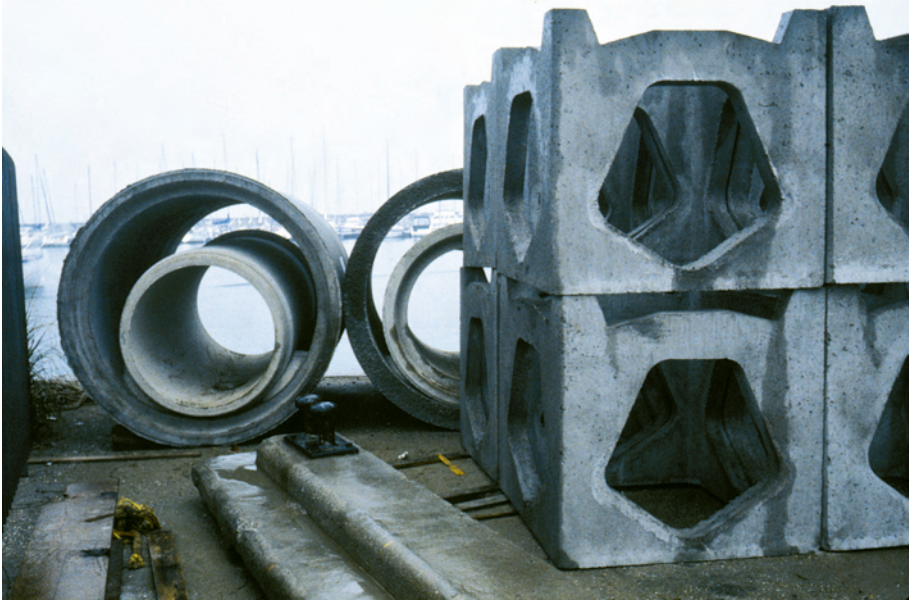


Figure 40. Cubes et tubes en béton destinés à être immergés pour constituer des récifs artificiels.



Figure 41. Module immergé fréquenté par des loups. (© Frédéric Bachet. Reproduit avec aimable autorisation.)



Figure 42. Le plongeur donne l'échelle devant ce module de 158 m³. Ce trop grand volume n'est pas fréquenté par les poissons. (© Frédéric Bachet. Reproduit avec aimable autorisation.)



Figure 43. Ce tube de béton (3 m de long et 1,9 m de diamètre) est avant tout destiné à dissuader le chalutage sur ce fond sableux côtier. Il a été recouvert par les moules, et les alevins abondent. Un nouvel écosystème est créé. (Marseillan, Hérault, profondeur 10 m.)



Figure 44. À l'intérieur d'un même tube, congrus, moules et juvéniles de poissons cohabitent ; nous y avons compté jusqu'à onze congrus ! Les fonds de sable tout autour restent peu peuplés, faute d'abris.



Figure 45. Autre hôte d'un même habitat, la rare mostelle *Phycis blennoides*. (Marseillan plage, profondeur 16 m.)



Figure 46. Le homard *Homarus vulgaris* utilise également ce refuge (Marseillan plage, profondeur 13 m).

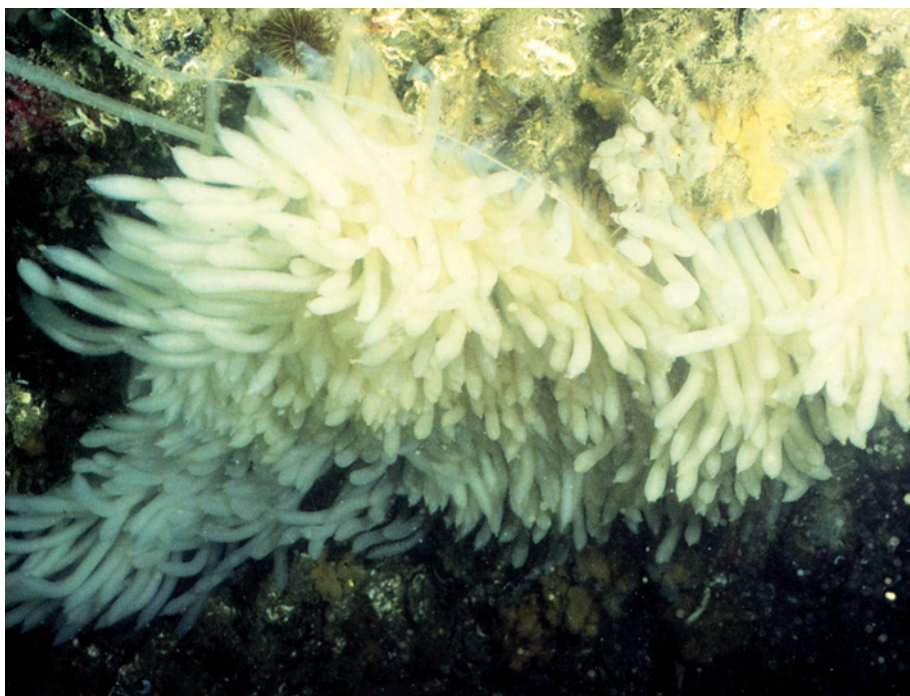


Figure 47. Ponte de calmar au « plafond » d'un tube immergé (habitat de reproduction).

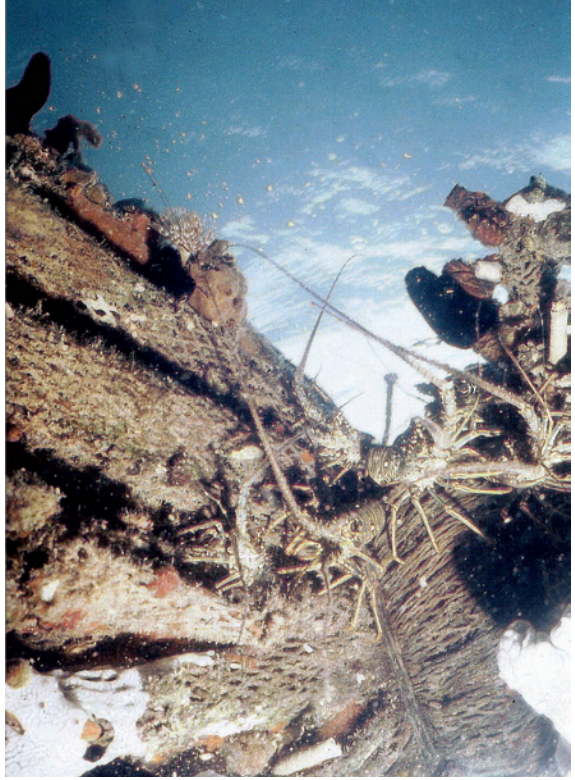


Figure 48.

Ces langoustes se sont installées sur l'extrémité d'une cage à poissons proche de la surface, à la fin de leur vie larvaire en pleine eau. Elles y ont survécu et n'ont pas pu quitter les plis du filet qui constituait leur habitat au stade juvénile devenu à présent trop étroit, mais situé trop loin du fond, leur habitat naturel. (Martinique, Baie du Robert.)



Figure 49. Banc de gorettes jaunes (*Haemulon flavolineatum*) sur un habitat artificiel constitué de blocs de roche en Martinique (profondeur 8 m).

L'étude des écosystèmes marins est devenue une thématique de recherche majeure pourtant, malgré la profusion des données, il est difficile de se faire une idée précise sur l'état des océans et des mers, leur fonctionnement, leur rôle et leur devenir. C'est l'objectif de cet ouvrage pluridisciplinaire de synthèse, qui expose **le fonctionnement des écosystèmes marins, les interactions que l'humanité entretient avec eux et l'incroyable potentiel des océans pour notre futur**. Il s'articule autour de cinq parties qui développent successivement :

- les interactions entre océanographie physique, écologie et biologie marine ;
- les rapports entre l'homme et les eaux marines (habitat, loisirs, tourisme, pollution, pêche, aquaculture) ;
- la multiplicité des interventions réalisées par l'homme dans les eaux côtières pour les conserver ou les aménager ;
- les outils actuels capables de s'intégrer au fonctionnement des océans et des mers (récifs artificiels, dispositifs de concentration de poissons, écloseries, cultures d'algues...) ;
- le fort potentiel des océans pour la production de ressources vivantes, l'élimination des pollutions et la régulation du climat, et des propositions pour « vivre en mer ».

L'écologie marine, l'halieutique, l'aquaculture, les loisirs, le tourisme et l'économie circulaire sont impliqués dans cette coopération entre l'espèce humaine et la mer pour permettre la protection, l'aménagement et une valorisation durable des eaux marines. Les données bibliographiques permettent toujours d'aller plus loin, transformant cette synthèse en un portail d'accès au monde des mers et des océans. De nombreux schémas explicatifs et les remarquables clichés de spécialistes du monde marin illustrent ces propos.

Cet ouvrage s'adresse à un public diversifié d'étudiants, de biologistes, écologistes, halieutes, géographes, ainsi qu'aux planificateurs et aux décideurs, mais aussi aux pêcheurs et aux plongeurs, à travers un vaste champ d'intérêts et d'usages.

Gilbert Barnabé est Professeur honoraire à la faculté des sciences de Montpellier. Il est l'auteur ou le coordonnateur d'ouvrages de référence en aquaculture et écologie. Ses travaux et ceux de ses étudiants ont porté sur l'élevage du Loup et de la Daurade (300 000 tonnes/an) et les études en mer.