



Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée

Orientations et principes



Restauration écologique des **nurseries** des **petits fonds côtiers** de **Méditerranée**

Orientations et principes

Rédacteurs

Philippe LENFANT (CREM, CEFREM, UPVD), Anaïs GUDEFIN (CREM, CEFREM, UPVD), Sébastien FONBONNE (Consultant/Ecocean), Gilles LECAILLON (Ecocean), James ARONSON (CEFE, CNRS), Eric BLIN (Suez environnement), Sven Michel LOURIE (SM² Solutions Marines), Pierre BOISSERY (Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse), Jean-Louis LOEUILLARD (Conseil Départemental du Var), Aude PALMARO (Conseil Départemental du Var), Guy HERROUIN (Pôle Mer Méditerranée), Julie PERSON (Pôle Mer Méditerranée).

Contribution

Jean-Luc AQUA (Conseil Départemental du Var), Sandra BERMAN (Suez Environnement), Marc BOUCHOUCHA (Ifremer), Rémi BOURRU (Ecocean), Coralie CALVET (SupAgro), Elise CATALON (Asconit Consultants), Estelle JULIEN (Affaires Maritimes de Monaco), Michel LAURET (CSRPN, Languedoc-Roussillon), Laurence LE DIREACH (GIS Posidonie), Reda NEVEU (CREM, CEFREM, UPVD), Jérémy PASTOR (CREM, CEFREM, UPVD), Séverine PRISTCHEPA (Ecocean), Brice QUENOUILLE (Bouygues construction – Biositiv), Fabien QUETIER (Biotope), Ilaria TIVOLLE (Conseil Départemental du Var).

Ce document doit être cité de la manière suivante :

LENFANT P., GUDEFIN A., FONBONNE S., LECAILLON G., ARONSON J., BLIN E., LOURIE S.M., BOISSERY P., LOEUILLARD J.-L., PALMARO A., HERROUIN G., PERSON J., 2015. Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée. Orientations et principes.

Table des matières

Le mot des financeurs	4
Avant-propos	6
Partie 1 : La restauration au service de la Biodiversité – Cadre écologique et enjeux	8
Introduction	
1. Intérêts et enjeux du littoral	10
2. Le moteur réglementaire en faveur de la protection des mers et des océans	13
3. Le contexte spécifique d'un projet en milieu marin : une histoire de foncier	16
Chapitre 1. Cadre écologique des petits fonds côtiers	
1. Le fonctionnement des populations de poissons	18
2. Rôle du littoral dans le cycle de vie des poissons côtiers	26
Chapitre 2. Contributions des petits fonds côtiers à l'Homme : les Services Ecosystémiques	
1. Définition des services écosystémiques (SE)	34
2. Les SE rendus par les petits fonds côtiers	38
Chapitre 3. L'action de l'Homme sur les petits fonds côtiers : pressions, impacts et enjeux	
1. Le modèle Driving forces, Pressures, State, Impact, Responses (DPSIR)	44
2. Les principales pressions et leurs impacts potentiels sur les petits fonds côtiers	46
3. Lien entre pressions, impacts et risques	48
4. Les enjeux sur les activités humaines	50
Chapitre 4. Une solution apportée par l'Homme : la restauration écologique	
1. La trajectoire d'un écosystème	54
2. Les différentes possibilités d'action pour remettre un site ou un écosystème sur une trajectoire souhaitable	58
3. Moyens et coûts à prendre en considération	63
Partie 2 : La restauration au service de la Société de demain ?	68
1. Pourquoi réaliser maintenant des actions de restauration ?	70
2. Construire un projet de restauration écologique	75
3. Vers une nouvelle filière économique	77
Conclusion	82
Annexes	84
Glossaire	89
Bibliographie	93

Table des figures

Figures

Figure 1 : Taux d'occupation des petits fonds de 0 à - 10 mètres de la côte méditerranéenne ...	11
Figure 2 : Représentation schématique du littoral méditerranéen.	12
Figure 3 : Evolution de la réglementation concernant l'environnement, le milieu marin et ...	15
Figure 4 : Cycle de vie des poissons côtiers..	18
Figure 5 : Importance des taux de mortalité aux différents stades de développement.	19
Figure 6 : Capture Elevage Reclaché	20
Figure 7 : Fonctionnement des procédés Biohut® et BioRestore®, ...	21
Figure 8 : Le triangle de la migration des poissons.	22
Figure 9 : Nurserie des petits fonds côtiers	23
Figure 10 : Les habitats essentiels dans les petits fonds côtiers.	24
Figure 11 : Etagement des zones littorales..	26
Figure 12 : Répartition a) spatiale des juvéniles de plusieurs espèces...	30
Figure 13 : Figure en cascade, schématisant les relations entre écosystème/biodiversité ...	36
Figure 14 : Pertes et gains de services en fonction de l'utilisation des écosystèmes ...	37
Figure 15 : Schéma conceptuel sur l'interrelation entre l'environnement, le cadre ...	39
Figure 16 : Les différentes valeurs pouvant être données à un écosystème...	40
Figure 17 : Exemple de réponse face à une pression et les impacts engendrés ...	45
Figure 18 : Une représentation des diverses pressions anthropiques exercées sur les petits fonds ...	46
Figure 19 : Exemple de variation temporelle de l'importance d'un risque engendré par ...	48
Figure 20 : Exemple de modélisation des pressions anthropiques dans le département du Var...	50
Figure 21 : Dynamique d'un écosystème soumis à des régimes de perturbations naturelles et ...	55
Figure 22 : Les trois types de réponses/actions possibles suite à une dégradation d'un ...	59
Figure 23 : Photographies de transplants d'herbier de Posidonie...	60
Figure 24 : a) Biohut® installé sous un ponton, b) jeune recrue de Blennie posée sur un Biohut®...	61
Figure 25 : La lagune de Nador (Maroc).	62
Figure 26 : définition et logigramme des interventions sur les milieux côtiers	63
Figure 27 : Les différentes mesures réalisables dans le cas d'un projet d'aménagement ...	65
Figure 28 : Eléments de comparaison possibles entre la trajectoire d'un écosystème...	66
Figure 29 : Port de la Ciotat	70
Figure 30 : La lagune du Brusuc	72
Figure 31 : Photo : transplant de cystoseïre	73
Figure 32 : Récifs artificiels dans la rade sud de Marseille en limite d'herbier de Posidonie ...	74
Figure 33 : Un exemple d'aménagement complet d'une zone portuaire	75
Figure 34 : Banc de castagnoles	80

Tableaux

Tableau 1 : Typologie des habitats des petits fonds côtiers de Méditerranée	28
Tableau 2 : Chronogramme de recrutement des espèces de poissons côtiers ...	31
Tableau 3 : Les services écosystémiques rendus... ..	38
Tableau 4 : Pressions, impacts et forces motrices exercés sur les différentes typologies d'habitats ...	49
Tableau 5 : Exemple de pressions et impacts exercés sur les différents services écosystémiques...	51

Annexes

Annexe 1 : Différentes classifications des services écosystémiques	84
Annexe 2 : Les différents services écosystémiques rendus par le milieu marin..	85
Annexe 3 : les services écosystémiques en milieu marin méditerranéen	86
Annexe 4 : Les pressions et impacts sur les petits fonds côtiers méditerranéens	88

Le mot des financeurs



La restauration écologique des eaux côtières de Méditerranée est une science nouvelle, que l'on peut encore considérer comme émergente. Les premières applications voient toutefois le jour, notamment dans les secteurs fortement urbanisés comme les zones portuaires. Dans le cadre de son programme d'interventions « Sauvons l'eau », l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse a décidé de soutenir le développement de cette nouvelle politique en faveur du milieu marin. Cela concerne les actions de recherche, de connaissance et de caractérisation du fonctionnement du milieu marin, mais aussi sur des opérations de restauration des petits fonds côtiers. Ce guide présente l'état actualisé des connaissances techniques et scientifiques concernant la restauration des petits fonds côtiers. Avec ses recommandations plus opérationnelles, il se positionne dès à présent comme un ouvrage de référence en Méditerranée.



Le Département du Var s'est engagé depuis plusieurs années dans la préservation de sa frange littorale et marine. Ainsi, le Schéma Départemental de la Mer et du Littoral, adopté en 2011, a mis en évidence les enjeux de gestion de ce milieu riche et fragile, source d'attractivité. Le schéma a défini cinq axes d'actions, partagés avec les collectivités du littoral, qui ont été repris dans une charte départementale de la mer et du littoral pour une gestion intégrée de la zone côtière varoise, signée par un grand nombre de partenaires. Néanmoins, les atteintes sur les petits fonds côtiers se font sentir. Il est donc nécessaire de préciser le cadre et l'importance des écosystèmes marins proches de nos territoires. Les décideurs varois, et en premier lieu les élus, doivent pouvoir compléter leurs actions de gestion et de préservation du littoral avec des actions de restauration. L'ensemble devrait permettre un développement durable et équilibré de la frange littorale varoise. Cet ouvrage constitue un premier outil pour atteindre cet objectif. Les filières naissantes de génie écologique en milieu marin trouveront, dans le Var, les conditions de développement nécessaires à leur rayonnement.



Le génie écologique côtier a été identifié par le Pôle Mer Méditerranée comme un enjeu stratégique pour la restauration, la réhabilitation, la réaffectation d'écosystèmes en lien avec l'environnement marin et l'aménagement durable du littoral. Cet enjeu s'inscrit dans une perspective de moyen-long terme. Cette filière émergente présente de bons atouts en France : les projets de R&D, essentiellement expérimentaux,

lancés il y a seulement 4 ans, par des entreprises innovantes en coopération avec des laboratoires de recherche de grande qualité, commencent à donner des résultats positifs. Ces derniers sont encore qualitatifs mais les évaluations progressent pour préciser les bénéfices de ces actions de restauration. Des collectivités se saisissent du sujet et entreprennent dès aujourd'hui des opérations de restauration basées sur ces premières expérimentations. Par ailleurs le génie écologique côtier devient progressivement un critère important de différenciation compétitive pour les entreprises de travaux dans les projets d'aménagements du littoral. Ce guide, orienté sur la restauration écologique des petits fonds, se veut être une première pierre dans le développement des futures actions du génie écologique côtier. Le Pôle Mer Méditerranée a décidé de contribuer à l'avenir prometteur de la filière du Génie écologique côtier.



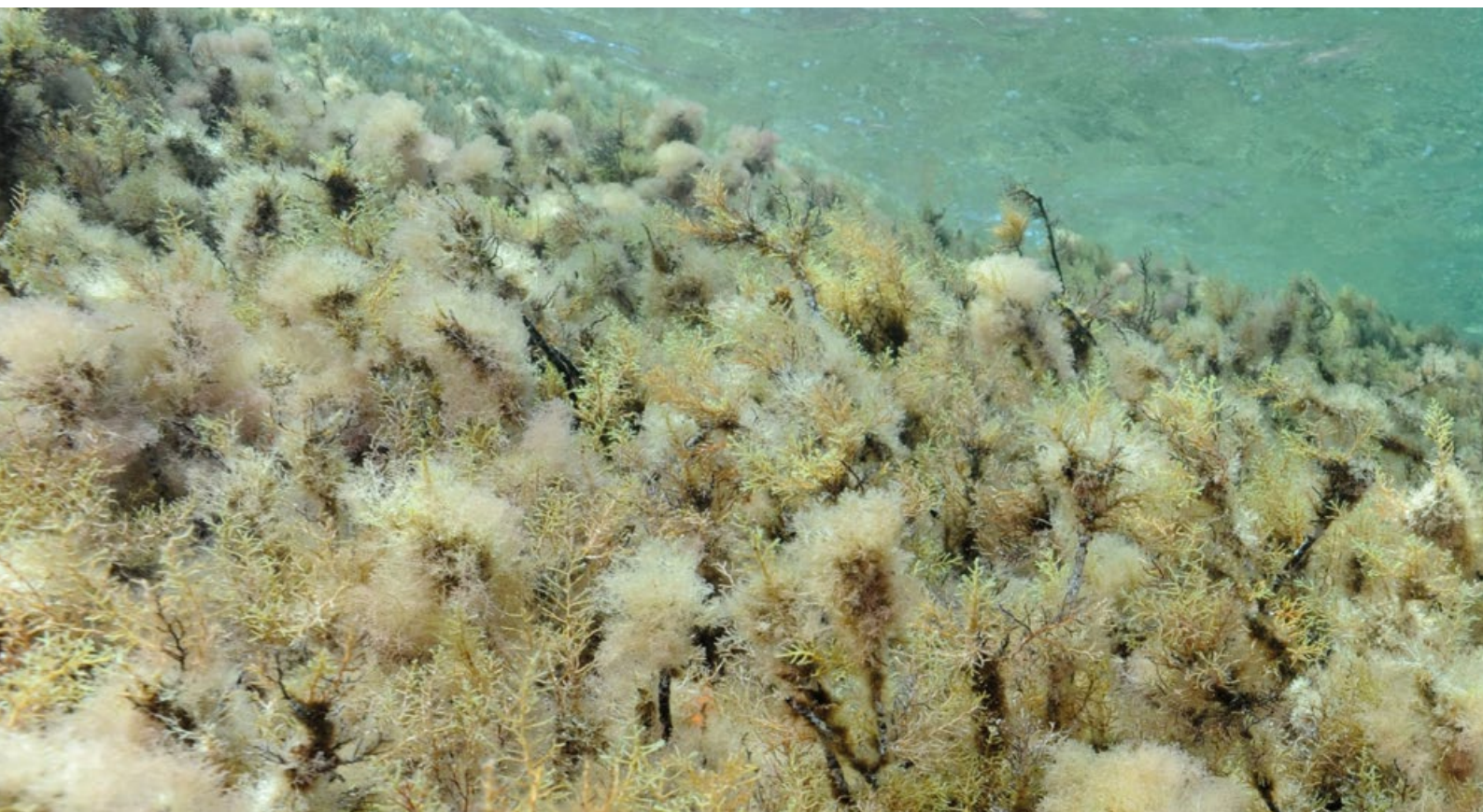
Actuellement, l'Homme est confronté à une obligation de concilier développement économique et préservation de l'environnement. En effet, la composante environnementale est à la source d'un grand nombre de services dits écosystémiques permettant d'assurer un apport nutritif important et le développement des activités humaines. Cependant, pour comprendre le fonctionnement de ces services, il manque encore de

connaissances dans certains domaines, sur lesquels des scientifiques travaillent actuellement. En effet, au-delà de la simple description des espèces, il s'agit maintenant de comprendre comment le maintien des fonctionnalités écologiques va assurer le bon déroulement du cycle de vie des individus, particulièrement dans les zones fragiles comme les petits fonds côtiers où les juvéniles s'installent. Les outils de gestion initialement mis en place sont centrés sur la conservation via la création d'aires marines protégées (AMP). Centres de dispersion de biodiversité et de biomasse, les AMP ne couvrent que quelques pourcents du littoral. Parallèlement, les ouvrages réalisés par l'Homme s'étendent sur des linéaires de côte non négligeables : de plusieurs centaines de mètres pour les plus petits ports de plaisance à plusieurs dizaines de kilomètres pour les grands ports de commerce. Ils sont le plus souvent construits dans les sites les plus protégés des fortes houles, là où se trouvaient initialement des nurseries naturelles pour les poissons. C'est dans ce contexte et forts de 20 ans d'expérience dans le domaine de l'écologie des populations de poissons et plus particulièrement de l'étude des juvéniles que les scientifiques du CEFREM (Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens) et de la Plateforme CREM (Centre de Recherche sur les Ecosystèmes Marins) ont développé des travaux de restauration écologique qui sont retranscrits dans ce guide alliant aspects théorique et pratique. Dans leur rôle d'appui aux questions sociétales, ils participent à l'émergence de la filière du génie écologique.

Avant-propos

L'inquiétude concernant l'état du milieu naturel de notre planète amène aujourd'hui les scientifiques à tirer la sonnette d'alarme, notamment en ce qui concerne le changement climatique et l'érosion massive de la biodiversité. Le milieu marin n'échappe pas à ce constat et encore moins la Méditerranée qui, de par sa configuration, est une des zones les plus sensibles au niveau planétaire. Cela s'explique notamment en raison des pressions qu'elle subit : apports des fleuves et des bassins versants, tourisme mondial, trafic maritime, exploitations des ressources naturelles, artificialisation de la frange littorale... La prise de conscience s'est amorcée au niveau national et européen avec une première série de mesures destinées à réduire les pressions et à tendre vers le bon état écologique des masses d'eau. Parallèlement à la mise en protection de sites à fort intérêt patrimonial, des solutions d'ingénierie écologique se mettent également en place pour restaurer des milieux dégradés. Il était donc nécessaire de faire le point sur les connaissances dans ce domaine, sur les actions déjà menées et sur l'état des moyens techniques et des volontés politiques. Avec comme objectif de faire référence sur le sujet en Méditerranée, cet ouvrage donne aujourd'hui les premières clés pour mettre en place des projets de restauration ou de réhabilitation des petits fonds côtiers.

Grâce à un appel à idée portant sur la « restauration écologique des petits fonds côtiers de Méditerranée », lancé en 2013 par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, le Conseil Départemental du Var et le Pôle Mer Méditerranée, les différents acteurs de l'ouvrage



ont pu apporter leur vision sur cette thématique. Écrit par des universitaires écologues spécialistes du milieu marin et de la restauration écologique, des entreprises privées investies dans des actions de restauration écologique en Méditerranée et des décideurs et financeurs en charge d'appliquer les politiques publiques, l'ouvrage apporte dans sa première partie des aspects fondamentaux de l'écologie des petits fonds côtiers. Ce sont les connaissances de base pour comprendre la complexité des petits fonds côtiers, leurs rôles dans le cycle de vie des poissons mais aussi pour la société humaine avec tous les enjeux que cela engendre. Il permet de faire le point sur ce qu'est exactement la restauration écologique en milieu marin côtier et sur ce qu'il est possible de faire - ou de ne pas faire - grâce à un projet de restauration. Se voulant pragmatique, l'ouvrage donne les bases pour démarrer un projet de restauration et apporte également un éclairage sur l'investissement des politiques publiques dans ce domaine, ainsi que sur la filière en développement.

Destiné à toute personne souhaitant s'informer sur la restauration écologique en milieu marin et sur le fonctionnement des petits fonds côtiers, ce travail peut intéresser aussi bien les financeurs que les gestionnaires, en passant par les entreprises et les bureaux d'études intervenant sur le milieu marin. Les scientifiques y appréhenderont les enjeux en termes d'amélioration des connaissances.

Forêt de cystoseires (*Cystoseira crinita*)





An underwater photograph showing a large school of fish swimming over a dense field of green seaweed. The water is clear and blue-green. The fish are small and silvery with a yellowish tint. The seaweed is a vibrant green and covers the seabed.

Partie 1

La restauration au service de la Biodiversité Cadre écologique et enjeux

Banc de saupes (*Sarpa salpa*)
et cystoseires (*Cystoseira brachycarpa*)

1. Intérêts et enjeux du littoral

Les mers et les océans, représentant 71% de la surface de notre planète, abritent une part importante de la **biodiversité**¹ du globe : selon les derniers bilans (Coll *et al.*, 2010), la totalité des mers et océans renferment 230 000 espèces marines dont 12% sont des poissons.

La Méditerranée, avec ses caractéristiques de mer semi-fermée en milieu tempéré et chaud, est depuis toujours une zone écologiquement privilégiée. Bien qu'elle ne représente que 0,8 % de la superficie totale des océans, elle regroupe 8 à 9 % de la biodiversité marine et possède un très fort taux d'endémisme. Le bassin occidental, dont une partie est sous responsabilité française, s'avère quant à lui être une des zones les plus diversifiées de la Méditerranée en totalisant, entre autres, près de 350 espèces de poissons. A ce titre, et à cause de menaces et perturbations multiples, la Méditerranée est considérée comme un « hotspot » de biodiversité.

Parmi ces vastes étendues d'eaux marines, les régions littorales sont les plus productives. De par l'apport des bassins versants ou la présence d'**upwelling**, ce sont les eaux où les nutriments sont les plus présents. Ainsi, en atteignant la zone **euphotique** peu profonde du littoral, ces nutriments vont permettre d'initier le démarrage de la **chaîne trophique**. La frange littorale et les **habitats** qui la composent sont également le lieu de nombreuses zones de nurseries permettant le renouvellement des populations d'organismes marins et particulièrement les poissons.

Parallèlement, les enjeux sont très marqués le long des littoraux où les activités humaines se développent très rapidement. Historiquement, c'est l'urbanisation littorale, la pêche professionnelle

et le transport maritime qui s'y sont développés, induisant par la même occasion la construction d'infrastructures portuaires. Grâce aux conditions climatiques et écologiques très favorables, le littoral méditerranéen est devenu la première zone touristique mondiale, triplant ainsi sa population chaque été.

Tout cela a accéléré le développement des infrastructures côtières

¹ Les mots en gras dans le texte courant renvoient au glossaire en fin d'ouvrage



(stations balnéaires, marinas, ouvrages de protection du trait de côte...), des activités humaines (professionnelles ou de loisirs) et de l'artificialisation du littoral. Ainsi le **taux d'occupation** des petits fonds entre 0 et - 10 mètres en Méditerranée (figure 1) a été multiplié par 3 depuis 1975.

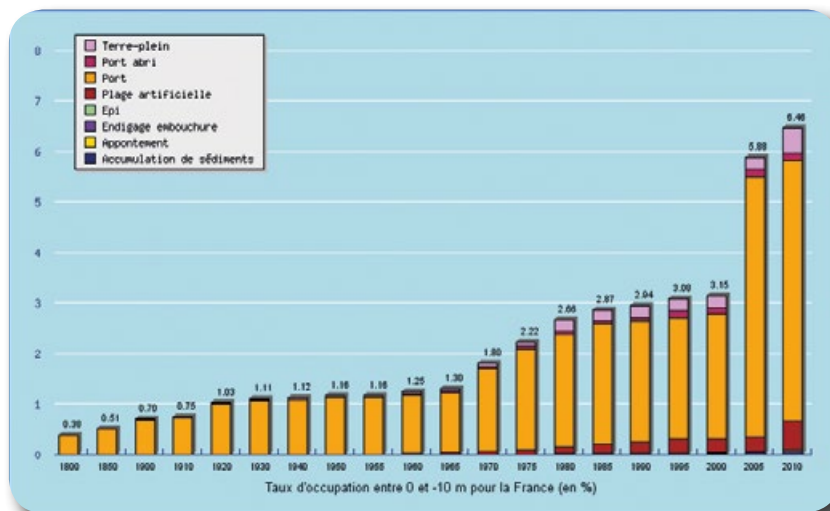


Figure 1 - Taux d'occupation des petits fonds de 0 à - 10 mètres de la côte méditerranéenne française, de 1800 à nos jours. Données MEDAM

Tout cela n'est cependant pas sans conséquences. En effet, actuellement, la destruction des habitats est considérée comme la première cause de perte de biodiversité sur la planète (Balmford & Bond, 2005). Plus spécifiquement, l'érosion de la **biodiversité** en Méditerranée a été classifiée par les experts comme étant parmi les plus inquiétantes au niveau mondial (Coll *et al.*, 2010). Ces prises de conscience amènent aujourd'hui à agir d'urgence sur les **écosystèmes** côtiers afin de réduire les impacts dévastateurs permettant ainsi d'assurer le maintien des rôles bénéfiques pour l'Homme induits par ces écosystèmes.



> Le programme MEDAM

Ce réseau vise à recenser les pressions physiques affectant l'espace côtier de la façade méditerranéenne française. Cela a permis (entre autres) de chiffrer l'artificialisation du littoral méditerranéen comme représentant actuellement 11,10% du linéaire côtier. Celle-ci est toutefois répartie de manière non homogène :

- > 19,51% du linéaire côtier du littoral de Languedoc-Roussillon – dont 40,6% du linéaire côtier du département du Gard,
- > 19,05% du linéaire côtier du littoral de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (sans Monaco ni l'étang de Berre) – dont 27,4% pour le littoral du département des Alpes-Maritimes,
- > 2,21% pour le littoral de la région Corse.

Ce dispositif est financé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse, la DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur, la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et l'Université de Nice Sophia Antipolis.

La zone d'application de ce guide comprend la frange littorale peu profonde mais également les zones de transition comme les estuaires ou les lagunes qui ont une valeur écologique primordiale (figure 2). En l'occurrence, ces zones sont riches d'habitats diversifiés servant de zones de nurseries pour de multiples espèces marines.

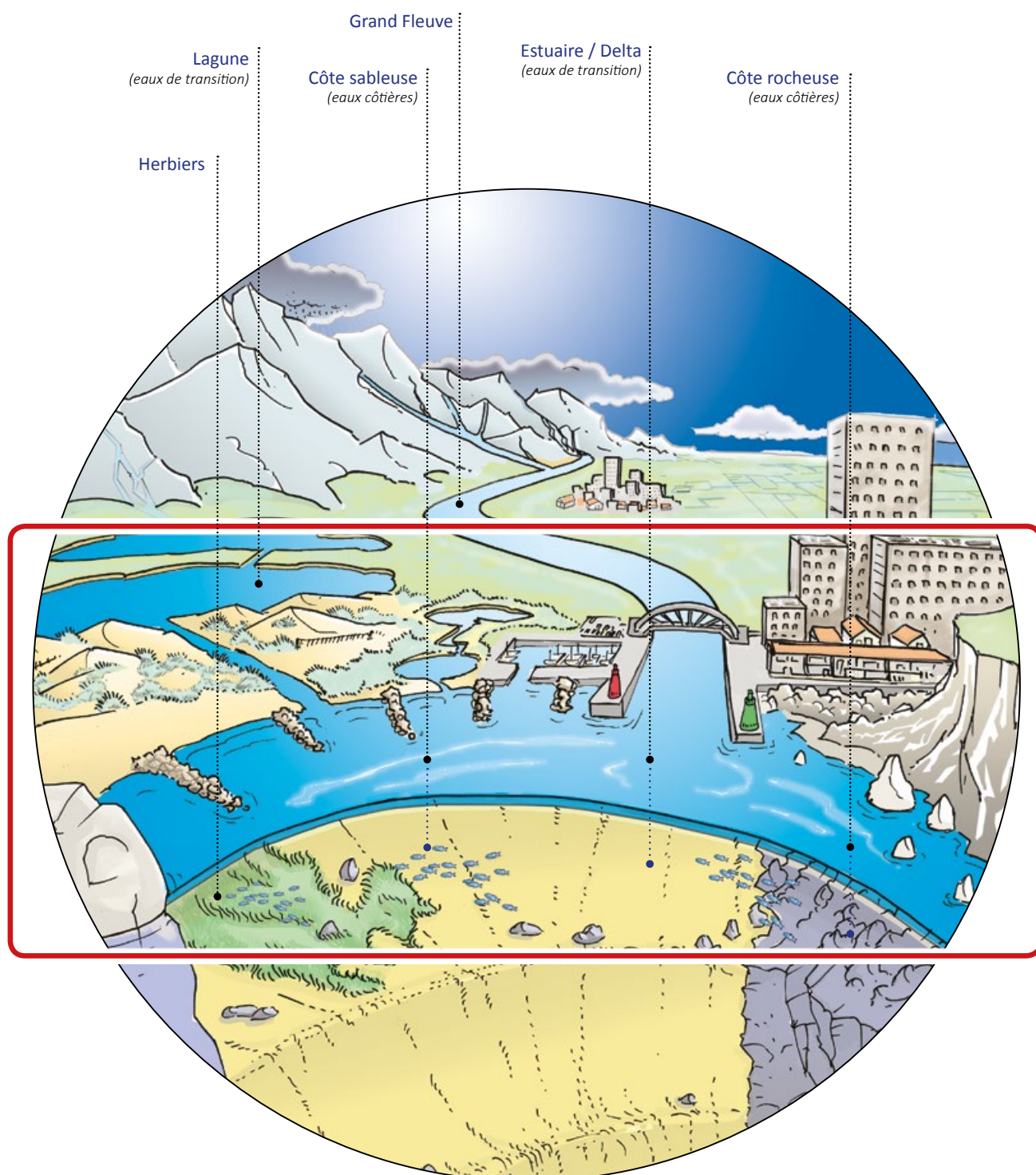


Figure 2 - Représentation schématique du littoral méditerranéen.

La zone d'application du guide est représentée par un cadre rouge. Les principaux reliefs méditerranéens y sont représentés ainsi que les principaux habitats côtiers.

2. Le moteur réglementaire en faveur de la protection des mers et des océans

Depuis les années 1970, la réglementation a fortement évolué dans le sens d'une meilleure prise en compte de l'environnement. A titre d'illustration et sans être exhaustifs, nous avons regroupé ici les principaux textes relatifs à notre thématique.

A l'échelle internationale, les grandes conventions internationales comme la convention de RAMSAR (1971), la convention de Barcelone (1976) ou les différents sommets tenus depuis Stockholm (1972) et Rio +20 (2012) ont permis un éveil des consciences sur la nécessité de préserver l'environnement et de gérer durablement les ressources naturelles. Cette prise de conscience ne s'est cependant que rarement traduite en actions concrètes : sur les 90 décisions prises au sommet de Rio, seulement 5 ont été suivies de faits.

A l'échelle Européenne, la volonté de mettre en œuvre une politique globale cohérente concernant la préservation d'une portion stratégique des **écosystèmes** et des habitats avance efficacement depuis une vingtaine d'années.

En 1992, grâce à la Directive Habitat (CEE 92/43), le réseau Natura 2000 est mis en place dans les états membres pour protéger des zones terrestres et marines identifiées pour la rareté ou la vulnérabilité des populations de certaines espèces rares et menacées ou de leurs habitats. Aujourd'hui, ce réseau comprend 1758 sites sur l'ensemble du territoire français dont plus de 200 comportent une composante maritime. A noter toutefois que tous les sites Natura 2000 ne font pas encore l'objet d'une gestion opérationnelle.

En 2000, le Conseil européen adopte la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) (2000/60/CE) définissant un cadre pour la gestion et la protection des masses d'eaux par bassin hydrographique et visant le rétablissement et la garantie de leur bon état écologique pour 2015. Pour la première fois, les eaux côtières marines et de transition (lagunes et estuaires) sont identifiées avec un objectif ambitieux de bon état écologique. Cet objectif concerne spécifiquement la zone comprise entre 0 et 1 mille nautique.

En 2004, la Directive Responsabilité Environnementale (DRE) (2004/35/CE) vise à diminuer l'impact environnemental des activités anthropiques, en rendant le ou les exploitant(s) de l'activité responsable de la réparation de dégradations induites sur l'écosystème. Cette directive a repris le concept de « pollueur payeur ». La DRE concerne principalement les dommages environnementaux résultants d'un accident industriel impactant l'environnement et les services rendus au public. Cette directive a donc vocation à compenser un dommage dès lors que celui-ci impacte une zone protégée concernée par la Directive Habitat (1992/43/CEE), une espèce protégée inscrite dans la Directive Oiseaux (2009/147/CE) ou cause des dégâts aux ressources en eau et écosystèmes aquatiques définis par la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE).

Suite à cette directive, les compensations doivent être réalisées « en nature » au travers des projets de restauration écologique, alors qu'elles étaient, jusqu'à présent, souvent réalisées par le biais d'une indemnisation financière aux principales victimes de l'accident au titre de préjudice moral ou matériel.



En juin 2008, la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) (2008/56/CE) est promulguée et établit un cadre d'actions communautaires spécifiquement pour le milieu marin à l'échelle des sous-régions marines. Son

objectif est « l'utilisation durable des mers et la conservation des écosystèmes marins » pour 2020. La réglementation concernant le littoral issue de la DCSMM a tenu compte des obligations des réglementations antérieures (Directive Cadre sur l'Eau (DCE) ou Natura 2000 notamment). L'Etat français retranscrit cette directive sous la forme d'un Plan d'Action pour le Milieu Marin (PAMM) propre à chacune des 6 sous-régions marines de la métropole, dont la méditerranée occidentale. L'un des objectifs environnementaux identifié en sous-région marine Méditerranée occidentale porte sur la définition et la préservation des zones de fonctionnalités.

En France, la première Loi sur l'Eau date de 1964. Elle vise à mieux organiser la gestion décentralisée de l'eau par bassin versant et entreprend de protéger les captages d'eau potable. Elle correspond à la vision très anthropo-centrée de l'époque vis-à-vis de la protection des **écosystèmes** aquatiques : « il faut protéger la nature pour faciliter les usages que l'homme en retire ». Entre-temps, la nécessité de protéger le littoral contre la spéculation financière est apparue obligatoire. Le Conservatoire du Littoral est alors créé en 1975. Son objectif est l'acquisition de territoires côtiers pour les soustraire à l'urbanisation et garder leur patrimoine écologique. Il est aujourd'hui membre de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) et possède 12% du linéaire côtier français.

En 1986, la Loi Littoral vient renforcer cette philosophie et impose une réglementation concernant l'urbanisation de la côte. Il est maintenant interdit de construire à moins de cent mètres du littoral. L'objectif premier de cette loi est de préserver les écosystèmes côtiers et d'assurer une économie aquatique pérenne.

En 1992, la deuxième Loi sur l'Eau pose comme principe que « l'eau fait partie du patrimoine commun de la nation ». Elle initie et institutionnalise la préservation des écosystèmes aquatiques et la protection de la qualité de l'eau. Il n'est plus question de favoriser des aménagements sans limitations, mais plutôt de donner la priorité à la préservation de la ressource en eau. Le SDAGE de 1996 est le premier document de planification à prendre en compte dans ses objectifs environnementaux la continuité terre/mer.

En 2006, la DCE est transposée en droit français et la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) voit le jour. Elle vient rénover le cadre global défini par les précédentes Lois sur l'Eau, en intégrant notamment des objectifs d'atteinte du bon état écologique des masses d'eaux dont les masses d'eaux côtières et de transition.

La loi Grenelle I, ou loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement est une loi française de programmation qui formalise les 268 engagements du Grenelle de l'environnement. Cette loi (article 1) fixe les objectifs en définissant le cadre d'action, la gouvernance à long terme et les instruments de la politique. L'objectif est l'application des principes du développement durable. Elle demande aussi la révision des procédures de décisions pour privilégier les solutions respectueuses de l'environnement.

Elle a été complétée par la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement dite loi Grenelle II, qui en décline les objectifs en dispositions plus précises (248 articles ont été adoptés) en abordant six chantiers majeurs dont la préservation de la biodiversité.

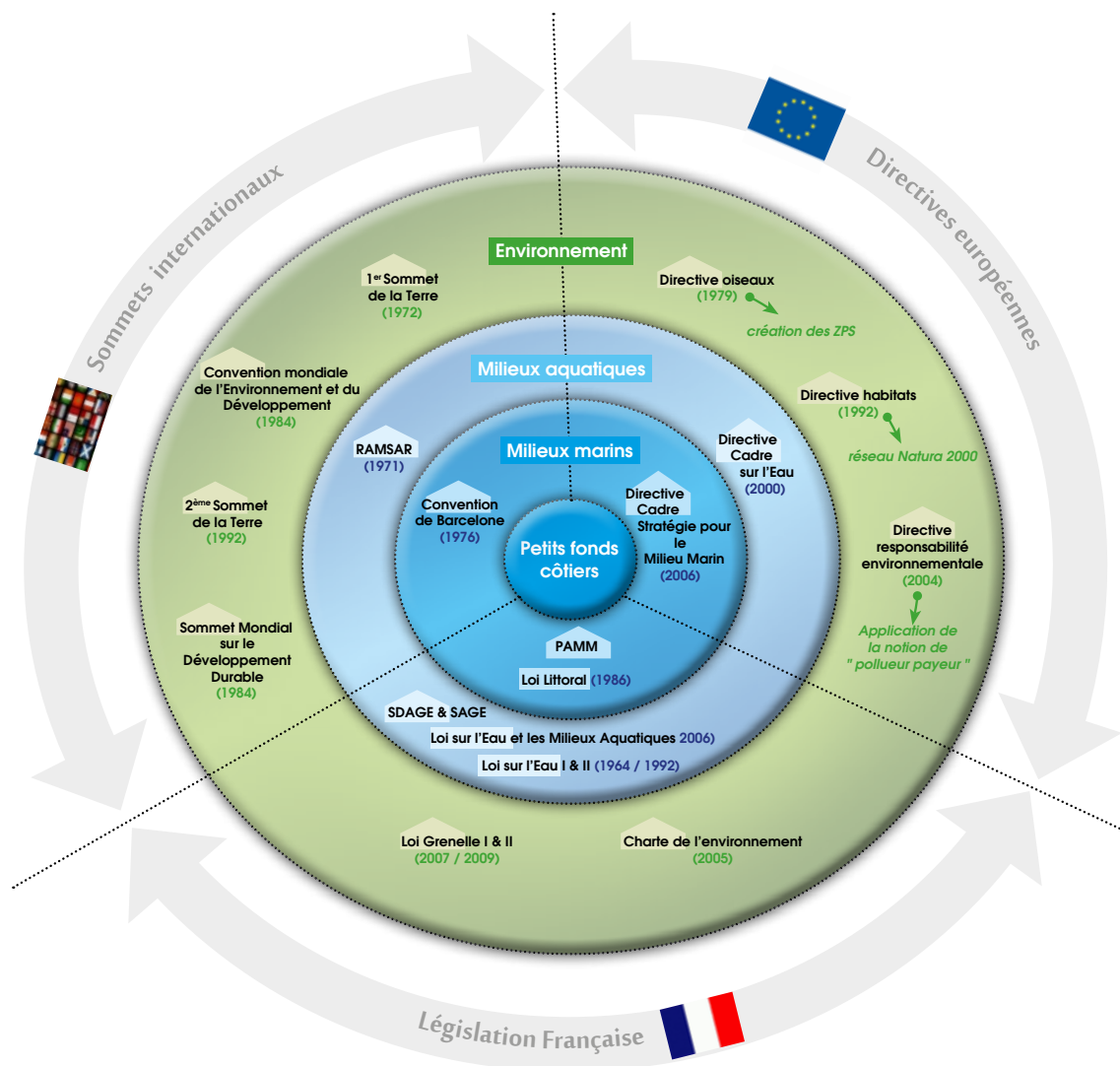


Figure 3
Evolution de la réglementation concernant l'environnement,
le milieu marin et les petits fonds côtiers

Enfin, le Grenelle de la Mer (2009), complémentaire aux engagements des lois Grenelle I et II, couvre un champ plus large sur la thématique de la mer et sa contribution au développement d'activités durables, en participant à la définition de la stratégie nationale pour la mer et le littoral par l'identification des objectifs et des actions à court, moyen et long termes. Les espaces littoraux et la biodiversité marine sont évidemment concernés.

En 50 ans, la demande sociale en matière de qualité des milieux a évolué. Nous sommes passés progressivement d'une vision utilitariste à une vision protectrice et équilibrée permettant la mise en place de projets de préservation ou de restauration des écosystèmes.

> Zones classées de Conservation Halieutique (ZCH)

L'objectif de ce nouvel outil est de créer des zones de protection localisées, correspondant aux zones fonctionnelles des ressources halieutiques comme les frayères ou les zones de nurseries. Celles-ci seront définies selon leur « importance » pour la gestion des stocks ainsi que leur état de conservation et les risques de dégradation. Un plan de suivi sera ensuite élaboré afin de concilier les différents usages et instaurer des mesures d'interdiction ou de réglementation des activités humaines qui pourraient avoir des impacts négatifs. En fonction des situations, ce plan pourra également comporter un volet expérimental afin d'organiser des opérations de restauration des milieux ou de tester des « dispositifs d'exploitation innovants » sur la zone. A la différence des réserves naturelles, ces ZCH ne seront pas dotées de structures permanentes de gouvernance de gestion. Le périmètre concerné quant à lui sera un espace en mer situé entre 0 et 12 milles nautiques, ainsi qu'une zone fluviale jusqu'à la limite de salure des eaux.

Article 43, Projet de loi relatif à la Biodiversité (DEV1400720L), adopté en première lecture à l'Assemblée nationale le 26 juin 2014.

3. Le contexte spécifique d'un projet en milieu marin : une histoire de foncier

En France, l'espace côtier n'est pas divisé en parcelles privées et publiques comme sur terre, mais appartient exclusivement à l'Etat. Il est qualifié de Domaine Public Maritime (ou DPM) et comprend (selon l'article L2111-4 du CG3P) le sol et sous-sol de **l'estran**, les **eaux intérieures**, la **mer territoriale**, les étangs salés en communication directe, naturelle et permanente avec la mer. Il comprend aussi les lais et relais de mer, les zones bordant le littoral dans certains départements d'Outre-mer, ainsi que les terrains réservés en vue de la satisfaction de certains besoins d'intérêt public (maritime, balnéaire ou touristique). Ce DPM est divisé en deux catégories : le DPM artificiel, qui inclut les ports, ainsi que les installations nécessaires à la sécurité et la facilité de la navigation et le DPM naturel, incluant tout le reste (source: MEDDE, Préfecture maritime Atlantique).

Ce DPM, dont les ressources sont des biens communs, est très réglementé. Pour certaines activités répondant à une utilité publique ou, par exemple, nécessitant la proximité immédiate de l'eau, l'Etat, par le biais du préfet maritime, peut délivrer occasionnellement des *titres d'occupation domaniale* du DPM. Les activités concernées sont entre autres : les activités balnéaires, les cultures marines, l'implantation d'ouvrages portuaires ou de sécurité maritime et la préservation du DPM en qualité d'espace naturel.

L'obtention d'un titre d'occupation ne dispense pas de l'application des réglementations en vigueur. En effet, suivant la nature et l'ampleur des activités, travaux ou aménagements mis en place sur le DPM, une évaluation environnementale des impacts sera nécessaire (Etude d'impact, Loi sur l'Eau, dérogation espèces protégées, etc.). Si ces aménagements génèrent des impacts négatifs sur les écosystèmes, il faudra alors mettre en œuvre des mesures d'évitement, de réduction et, si des impacts demeurent, des mesures compensatoires.

Introduction

> A RETENIR

Le littoral méditerranéen ...	<p><i>La Méditerranée est une zone écologiquement privilégiée, qui regroupe et abrite 8 à 9% de la biodiversité marine planétaire (pour moins de 1 % de la superficie mondiale des mers et océans), ainsi qu'un fort taux d'endémisme. Cette caractéristique et les menaces multiples qui existent font de cette mer et de ses rivages un hotspot de biodiversité.</i></p>
... est une zone à forts enjeux.	<p><i>De fortes pressions (urbanisation, tourisme, usages maritimes,...) s'exercent sur les fonds situés au plus près des côtes (petits fonds côtiers), engendrant la destruction et la fragmentation des habitats, première cause mondiale de perte de biodiversité.</i></p>
Son contexte réglementaire ...	<p><i>Le contexte réglementaire du milieu marin a beaucoup évolué ces 40 dernières années au niveau européen (DCE, DCSMM...) et français (Lois sur l'Eau, PAMM...). L'état de « santé » et de fonctionnement du milieu marin préoccupe de plus en plus les experts et les riverains et les volontés pour le gérer sont de plus en plus nombreuses.</i></p>
... est parfois complexe, ...	<p><i>Au niveau français, la réglementation concernant le Domaine Public Maritime, dont les petits fonds côtiers font intégralement partie, est complexe et implique un grand nombre d'administrations. Son appropriation est cependant nécessaire car toute action sur ce littoral est soumise à autorisations.</i></p>
... surtout de par sa caractéristique d'interface terre-mer.	<p><i>Les petits fonds côtiers méditerranéens sont situés à l'interface terre-mer, et nécessitent, pour que leur fonctionnement soit bien compris, une prise en compte de ces différents compartiments.</i></p>

Cadre écologique des petits fonds côtiers

Chaque **écosystème** est composé d'un ensemble d'organismes vivants intimement liés à leurs habitats. Pour la suite de cet ouvrage, nous nous intéresserons aux poissons côtiers **necto-benthiques** (ou démersaux), c'est-à-dire les poissons dont une partie du cycle de vie est inféodée à un substrat meuble ou de type rocheux. Nous nous focaliserons principalement sur les différents stades de vie et leurs exigences, ainsi que sur l'importance de certains habitats littoraux pour la survie des poissons.

1. Le fonctionnement des populations de poissons

a. Cycle de vie des poissons côtiers

En période de reproduction, les poissons matures se rassemblent sur des habitats spécifiques. La reproduction a lieu en pleine eau ou près du fond, sur lequel les œufs vont se fixer ou être protégés dans un nid plus ou moins rudimentaire. Après fécondation et éclosion des œufs, les larves se dispersent au gré des courants pendant une durée relativement fixe (ex : environ 30 jours pour le sar commun *Diplodus sargus*). La phase de dispersion en milieu pélagique permet une **colonisation** de nouveaux **habitats** et un brassage génétique. Puis les larves entrent dans une phase active, le stade de « **post-larve** ». Ces post-larves, dernier stade larvaire pélagique, se déplacent activement vers la côte pour coloniser un habitat favorable à leur **installation** sur le fond. Une fois installées, les post-larves sont considérées comme des juvéniles ou

« jeunes de l'année » (appelés également **YOY** par les anglosaxons, « Young Of the Year »). Ils vont alors grandir dans

la **nurserie** qui leur fournira nourriture et abri jusqu'à atteindre en quelques mois une **taille dite refuge** à partir de laquelle le taux de mortalité dû à la prédation est fortement diminué. Cette taille refuge est une caractéristique purement physique, qui correspond à une dimension supérieure à celle de l'ouverture de la bouche des prédateurs. Selon les espèces, au bout de quelques mois ou de quelques années, les juvéniles intégreront l'habitat des adultes. C'est la phase de **recrutement**. Ils vont alors continuer à grandir jusqu'à atteindre leur maturité sexuelle (figure 4).

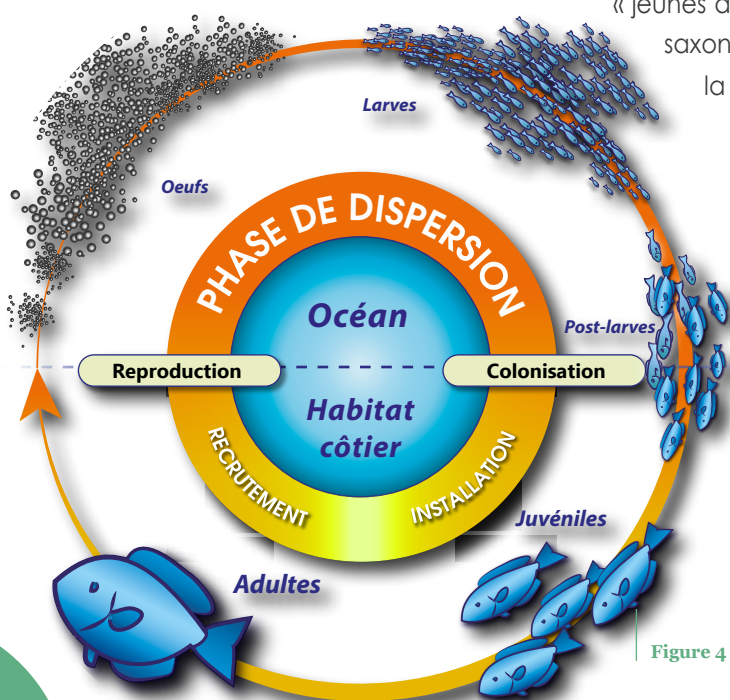


Figure 4 - Cycle de vie des poissons côtiers.
Modifié d'après Pastor (2008)

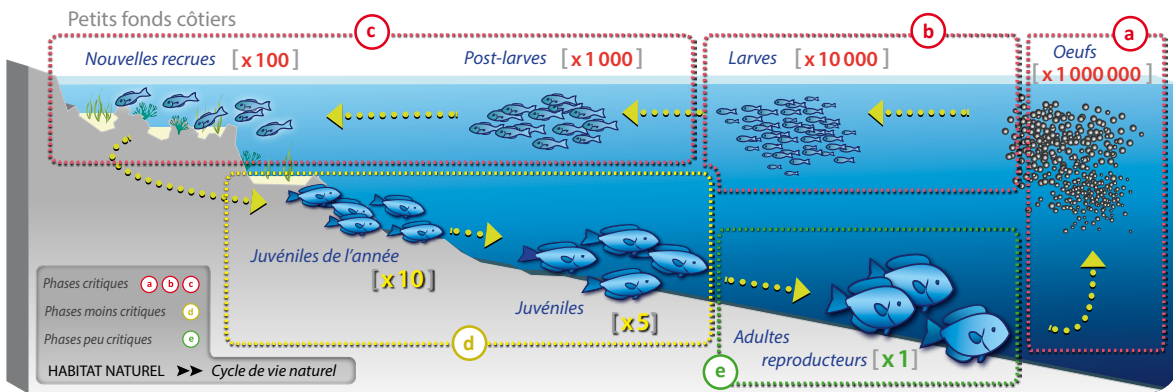
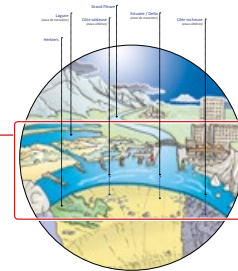


Figure 5
 Importance des taux de mortalité aux différents stades de développement.
 Les phases les plus critiques sont indiquées en rouge,
 moins critiques en jaune et peu critiques en vert.



(Fig 5, a et b)

La mortalité est décroissante tout au long du cycle de vie. La première période de forte mortalité (90%) a lieu durant la **phase larvaire pélagique**, dès la formation des œufs. Les causes sont liées à la prédation, au déficit de nourriture ou à des conditions environnementales non adéquates (température, salinité, ...).



(Fig 5, c)

Au stade **post-larve** et au moment de **l'installation**, les individus vont devoir changer radicalement d'habitat et de régime alimentaire pour coloniser les petits fonds côtiers. Cette très courte phase d'installation



est également une période de forte mortalité (80 à 95%) en quelques jours (Doherty *et al.*, 2004). Une fois installés, les nouvelles recrues sont en compétition pour la nourriture et l'habitat avec leurs congénères (compétition intra-spécifique) ou avec les autres espèces (compétition inter-spécifique). Ils sont également très sensibles à la prédation, en raison de leur petite taille. Chez certaines espèces, quelques cas de cannibalisme sont signalés. La mortalité est proche de 90% (Planes *et al.*, 1998).



(Fig 5, d)

Les individus quitteront la phase critique benthique dès qu'ils atteindront leur **taille refuge**, selon les espèces, quelques mois après l'installation.



(Fig 5, e)

Ils vont alors intégrer la population adulte et, dans la plupart des cas, changer d'habitat. La mortalité y est plus modérée, induite principalement par la pêche. Les poissons vont atteindre la maturité sexuelle et pouvoir se

e

reproduire à leur tour. Pour obtenir un poisson adulte capable de renouveler le cycle, il faut, en moyenne, la production d'un million d'œufs environ.

La mortalité avant l'atteinte de la **taille refuge** peut varier d'un facteur 30 d'une année à l'autre et d'un site à un autre (Pastor, 2008 ; Pastor *et al.*, 2013). On comprend alors l'enjeu de pouvoir agir de façon volontaire pour réduire ces phases de mortalité en permettant aux individus d'atteindre plus facilement leur taille refuge.

Dans l'état actuel des connaissances, les parties du cycle de vie les plus méconnues sont les phases pélagiques car difficiles d'accès et avec une dispersion importante des larves (figure 5 b).



> Le programme LIFE+ SUBLIMO

Ce programme a pour objectifs d'analyser, de suivre et de réduire la perte de biodiversité marine par une série d'actions concrètes basées sur une meilleure connaissance du cycle de vie des poissons et en particulier des phases larvaires et post-larvaires. Le processus se fait en trois étapes : 1) la capture des larves vivantes en pleine mer (à l'aide de pièges lumineux appelés CARE), 2) leur élevage pendant plusieurs mois et 3) les relâchés des juvéniles sur des micro-habitats spécifiques. L'action de repeuplement permet de réduire la mortalité par 10 car les juvéniles sont plus à même d'éviter la forte prédation.



Figure 6 - Capture



Elevage



Relâché

Les partenaires de ce programme sont le CREM (Centre de Recherche sur les Ecosystèmes Marins appartenant au Laboratoire CEFREM – UMR 5110 CNRS/UPVD) et le Laboratoire SPE – UMS Stella Mare de l'Université de Corse. Le procédé a été développé par la société Ecocean sous le nom de BioRestore®.

L'accès à la partie post-larves (figure 5 c) est plus récent et est devenu possible pour un certain nombre d'espèces grâce à des techniques innovantes développées par des entreprises françaises.

Les phases post-larve et nouvelles recrues sont donc des stades qui vont être amenés à subir de fortes mortalités naturelles, accentuées par la dégradation des nurseries côtières. Les connaissances scientifiques et la technologie actuelle nous permettent d'intervenir sur ces stades afin de soutenir le maintien des populations de poissons.



> Le programme GIREL_3R

Le projet GIREL_3R vise à réhabiliter les fonctions de nurseries marines dans certaines zones portuaires du Grand Port Maritime de Marseille par deux méthodes complémentaires :

> les nurseries artificielles (Biohut®) installées sur les quais droits du port : cet habitat temporaire permet d'offrir le gîte et le couvert aux jeunes recrues entrant dans le port. Elles pourront ainsi grandir en évitant la majorité des prédateurs et ainsi contribuer à repeupler leur milieu naturel alentour (rade de Marseille).

> BioRestore® qui est un procédé de restauration d'écosystème marin basé sur une technique innovante et durable de prélèvement de post-larves. Afin de réduire la forte mortalité inhérente à leur cycle de vie, les post-larves sont prélevées au large avant la forte prédation liée à leur installation puis pré-grossies dans une ferme à terre avant d'être repeuplées sur des Habitats d'émancipation® adaptés aux espèces et aux tailles relâchées.

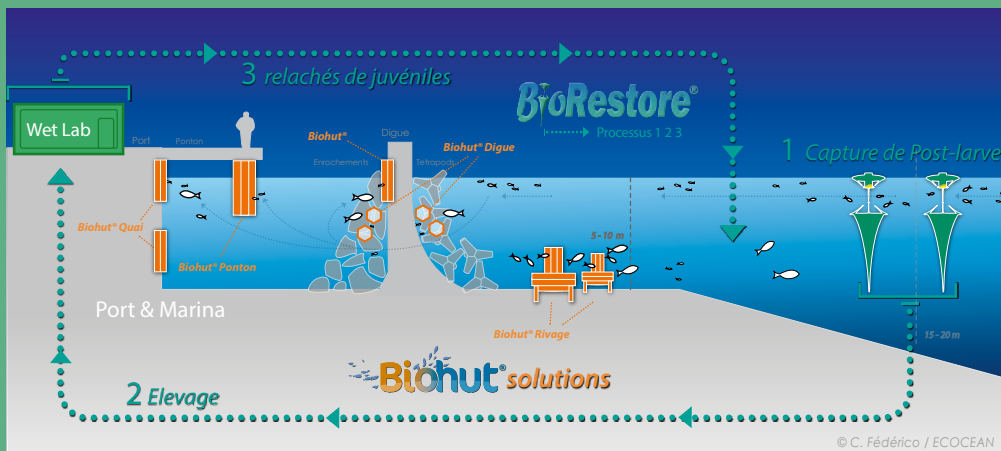


Figure 7 - Fonctionnement des procédés Biohut® et BioRestore®

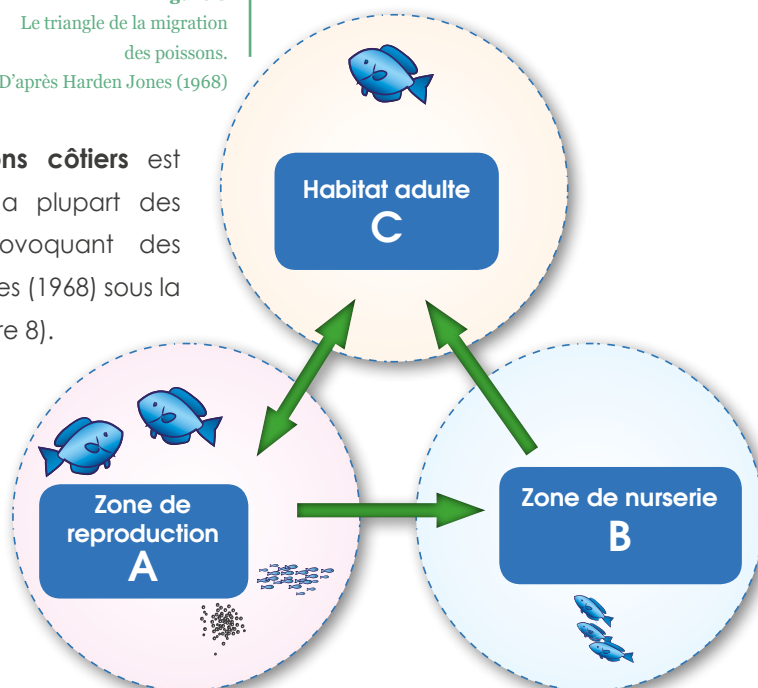
Programme porté par la société Ecocean en partenariat avec le CREM (CEFREM UMR 5110 CNRS-UPVD) Financé par l'Agence de l'Eau RMC et labellisé par le Pôle MER Méditerranée.

b. Les habitats essentiels

Figure 8
Le triangle de la migration
des poissons.
D'après Harden Jones (1968)

Le cycle de vie des **poissons côtiers** est complexe et est accompagné dans la plupart des cas d'un changement **d'habitat**, provoquant des déplacements synthétisés par Harden Jones (1968) sous la notion de « triangle de la migration » (Figure 8).

Selon le comportement et le stade du cycle de vie des espèces de poissons, ces déplacements, effectués à l'état de juvénile et d'adulte, ont pour objectif la recherche soit de proies pour se nourrir ou soit d'abris pour éviter la prédation.



L'ensemble des **habitats** nécessaires à la survie des poissons est regroupé sous la notion d'**habitats essentiels** par Benaka (1999) qui les définit comme le milieu et le substrat nécessaires pour se nourrir, croître jusqu'à maturité et se reproduire. Notons toutefois que ces habitats essentiels peuvent être séparés ou confondus selon le scénario de vie des espèces.

> Définitions des habitats essentiels

- > **L'habitat refuge** permet aux individus de se mettre à l'abri des prédateurs et des risques divers du milieu. Le but est d'optimiser ses chances de survie et son taux de croissance. Selon la sédentarité des espèces, la zone refuge peut varier spatialement au cours de la vie d'un poisson adulte.
- > **L'habitat nutrition** s'organise au sein de la (des) zone(s) refuge(s), mais peut également être dissocié de l'habitat refuge. Il varie au cours du cycle de vie selon les besoins énergétiques. Durant la phase juvénile, les poissons ont besoin d'un apport énergétique important, mais sont particulièrement vulnérables à la prédation, nécessitant un habitat spécifique dit de nurserie (Gillanders et al., 2003).
- > **L'habitat reproduction** correspond à une zone particulière où les individus mâles et femelles se regroupent de façon plus ou moins dense. Durant ces regroupements de reproduction (désignés par les pêcheurs sous le nom de « moutons »), la pression de pêche peut être particulièrement importante.

En considérant que les nurseries des petits fonds côtiers correspondent à des zones de refuge et de nutrition, et que ces zones sont vulnérables et essentielles à la réussite du cycle de vie des poissons côtiers, nous proposons de les désigner également en tant qu'habitat essentiel dans cet ouvrage.

Figure 9 - Nurserie des petits fonds côtiers

L'habitat nurserie (figure 9) est caractéristique de la morphologie et des besoins des espèces (Beck et al., 2001) :

- (1) une nutrition variée et adaptée,
- (2) un habitat favorable à l'installation des post-larves qui les protège des prédateurs et des pressions pendant leur période juvénile jusqu'à la taille refuge,
- (3) un environnement où les juvéniles grandissent plus vite et ont un meilleur taux de survie qu'ailleurs,
- 4) une localisation qui permet un déplacement vers les habitats adultes.



> Evaluation de la **C**onnectivité entre **A**ires marines protégées et rôle des **h**abitats **E**ssentiels

*Le programme eCATE propose d'évaluer la connectivité des populations de poissons au stade adulte entre trois AMPs de la côte catalane française et espagnole, ainsi que le rôle des habitats essentiels. Une évaluation de la distribution spatiale des nurseries et de leur valeur relative est réalisée dans une zone incluant trois AMPs, du cap Leucate jusqu'à Rosas (Espagne). Une estimation de la connectivité entre les AMPs de Banyuls et de cap Creus est réalisée par une campagne de marquage acoustique. Deux espèces clés des écosystèmes côtiers méditerranéens serviront de modèles : le sar commun (*Diplodus sargus*) et le mérrou brun (*Epinephelus marginatus*). Cela permettra de replacer le rôle de la connectivité des poissons adultes dans le contexte de la recolonisation d'espèces et plus largement dans le maintien de la biodiversité marine.*

Projet porté par le CREM (laboratoire CEFREM, Université de Perpignan). Financé par la Fondation TOTAL, la Fondation de France et le Conseil Départemental des Pyrénées Orientales.

Ainsi, la modification des **habitats** littoraux par l'Homme peut avoir d'importantes retombées dans le maintien des populations et des espèces et en particulier dans les zones de nurseries.

c. **Connectivité et fragmentation des habitats**

Le milieu marin présente à la fois des zones homogènes et des zones fragmentées. Il subit en permanence de plus en plus de modifications d'origine anthropique qui accentuent cette fragmentation (Jones, 2007). Cela a pour effet de réduire la **connectivité** entre les écosystèmes à deux niveaux : **1** - limitation des déplacements entre les individus de populations éloignées,

2 - limitation des déplacements des individus entre les différents **habitats essentiels** de leur cycle de vie. Contrairement à un écosystème continu, dans lequel les échanges se font librement, les déplacements entre habitats essentiels d'un **écosystème** fragmenté sont limités et ne se font plus qu'au travers de « **corridors écologiques** ». Ces corridors sont moins favorables mais indispensables pour les échanges. La mise en place ou le rétablissement de corridors écologiques est une mesure phare du Grenelle de l'environnement au travers des Trames Verte et Bleue (TVB) dont l'objectif est de « *reconstituer un réseau écologique cohérent, à l'échelle du territoire national, pour permettre aux espèces animales et végétales de circuler, de s'alimenter, de se reproduire, de se reposer...* » (MEDDE).

Le bon fonctionnement des populations de poissons côtiers est donc assuré par :

- 1 - la reproduction qui conditionne le nombre d'œufs et de larves,
- 2 - l'**installation** qui conditionne le nombre de juvéniles
- 3 - le **recrutement** qui conditionne le stock d'adultes. Ces différents stades ont des répartitions spatiales distinctes et sont régis dans leur succession par des processus spécifiques.

Dans le schéma suivant (figure 10), les habitats « reproduction » sont représentés en rouge, les habitats « nurseries » en jaune, les aires de « repos » en vert et l'habitat « alimentation » en bleu. Les flèches rouges indiquent les déplacements entre ces habitats grâce aux corridors écologiques (connectivité).

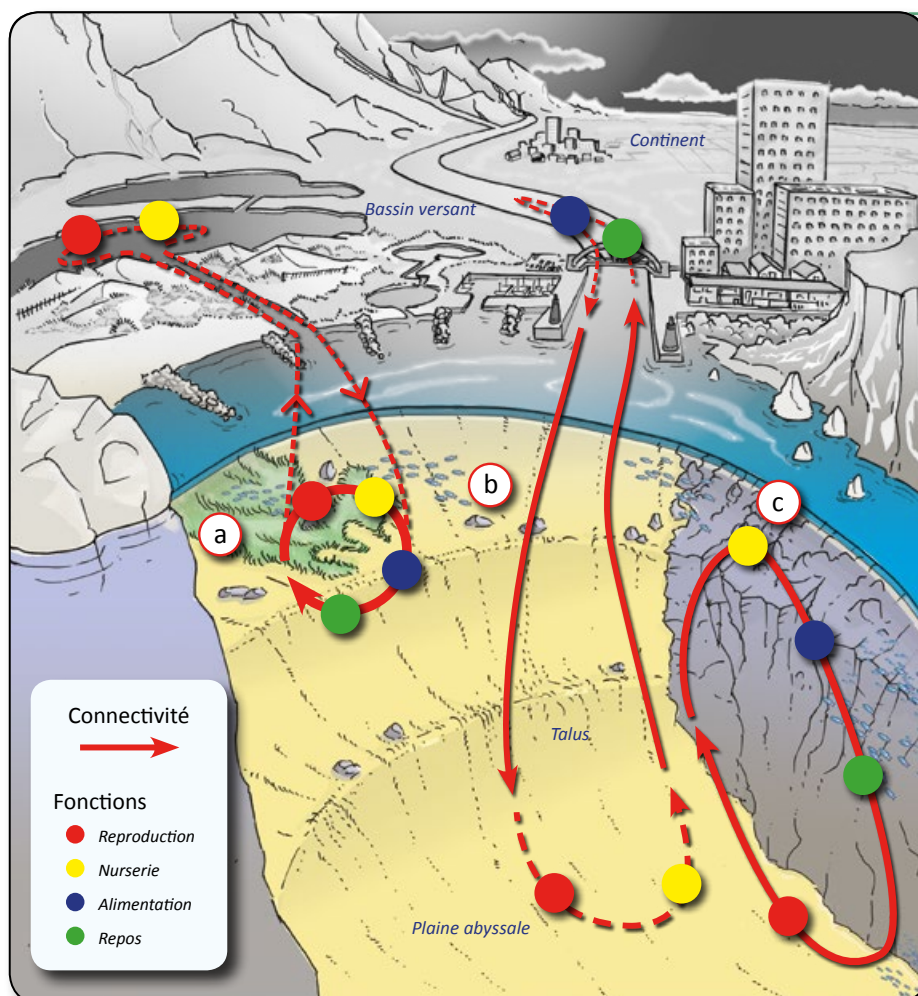


Figure 10

Les habitats essentiels dans les petits fonds côtiers.

Les différentes boucles (a, b et c) représentent différents scénarii de localisation des fonctions essentielles.

Modifié d'après Cheminée et al. (2014).

Espèce « a » et variante sur le plateau : il s'agit d'espèces **benthiques** ou **necto-benthiques** (ex : Gobiidés, Sparidés,...) utilisant uniquement la bande littorale. L'ensemble des habitats essentiels est situé dans les petits fonds côtiers, seule la phase larvaire est plus ou moins dispersive en milieu pélagique. Il s'agit de la majorité des poissons côtiers et de celle qui concerne cet ouvrage.



Sar commun (*Diplodus sargus*)

Espèce « b » : il s'agit principalement des espèces amphihalines. La plus connue est l'anguille européenne. Elle possède une phase larvaire transocéanique. Elle rejoint ensuite le littoral où elle se transforme en civelle pour entrer dans les estuaires et les lagunes (zones de nurserie). Elle passe sa vie d'adulte dans les cours d'eaux continentaux pendant environ 10 ans. Lorsqu'elle atteint sa maturité sexuelle, elle va se reproduire en mer des Sargasses (Océan Atlantique).



Anguille d'Europe (*Anguilla anguilla*)

Espèce « c » : certaines espèces côtières possèdent une partie de leur cycle de vie sur des zones éloignées du plateau continental, plus en profondeur, au niveau de la pente ou des canyons sous-marins. Dans le cas du merlu, il s'agit de la zone de reproduction.



Merlu (*Merluccius merluccius*)

> Programme ROC CONNECT

Connectivité des habitats rocheux fragmentés du Golfe du Lion

L'objectif est de quantifier la connectivité potentielle des populations des différentes espèces présentes dans l'habitat rocheux fragmenté du Golfe du Lion (de Marseille au Cap de Creus) et son rôle dans la persistance régionale de ces espèces. Ce projet vise à apporter des bases scientifiques aux actions publiques concernant la mise en place d'une trame bleue marine entre les aires marines protégées (AMP) existantes du Golfe du Lion (Parc Marin de la Côte Bleue, site Natura 2000 « posidonies du cap d'Agde », Parc Marin du Golfe du Lion, Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls, Réserve Naturelle du Cap de Creus). Ce travail repose sur une collaboration étroite entre les scientifiques du projet et les gestionnaires de ces AMP.

Coordination : Laboratoire Arago. Partenaires : Parc Naturel Marin de la Côte Bleue, Centre National de Recherche Scientifique, Réserve Naturelle marine de Cerbère-Banyuls, Parc Naturel Marin du Golfe du Lion, Association de Défense de l'Environnement et de la Nature des pays d'Agde, Instituto de Ciencias del Mar, Université de Bologne – programme LITEAU, 2013-2016.

L'ensemble de ces exemples montre l'importance de la bande littorale et des petits fonds côtiers en particulier, où la plupart des espèces séjournent à un moment de leur cycle de vie.

2. Rôle du littoral dans le cycle de vie des poissons côtiers

a. Définition du cadre des petits fonds côtiers

Parmi tous les **habitats essentiels**, l'habitat « nurserie » est particulièrement fragile et exposé aux perturbations naturelles et aux pressions anthropiques. Pour les poissons côtiers, cet habitat est principalement situé dans les petits fonds côtiers et permet donc de définir le cadre d'application de ce guide. Les petits fonds côtiers méditerranéens font intégralement partie du Domaine Public Maritime (DPM). La zone d'intérêt (en rouge, sur la figure 11) est l'étage infralittoral, limite compatible avec l'extension des **algues photophiles** et des **magnoliophytes** (Pérez, 1961). Cette zone où les pressions anthropiques sont les plus importantes est celle où l'on trouve un maximum d'habitats essentiels pour le cycle de vie des poissons côtiers. Elle s'étend de 0 à 20-40 mètres de fond, même si la zone la plus éclairée, comprenant la majorité des petits fonds côtiers, se situe souvent entre 0 et 20 mètres voire parfois beaucoup moins. Les lagunes et estuaires (zones de transition, milieux paradiques) recèlent également de petits fonds au rôle fonctionnel essentiel. Ces zones sont aussi celles qui subissent le plus rapidement les effets du changement climatique.

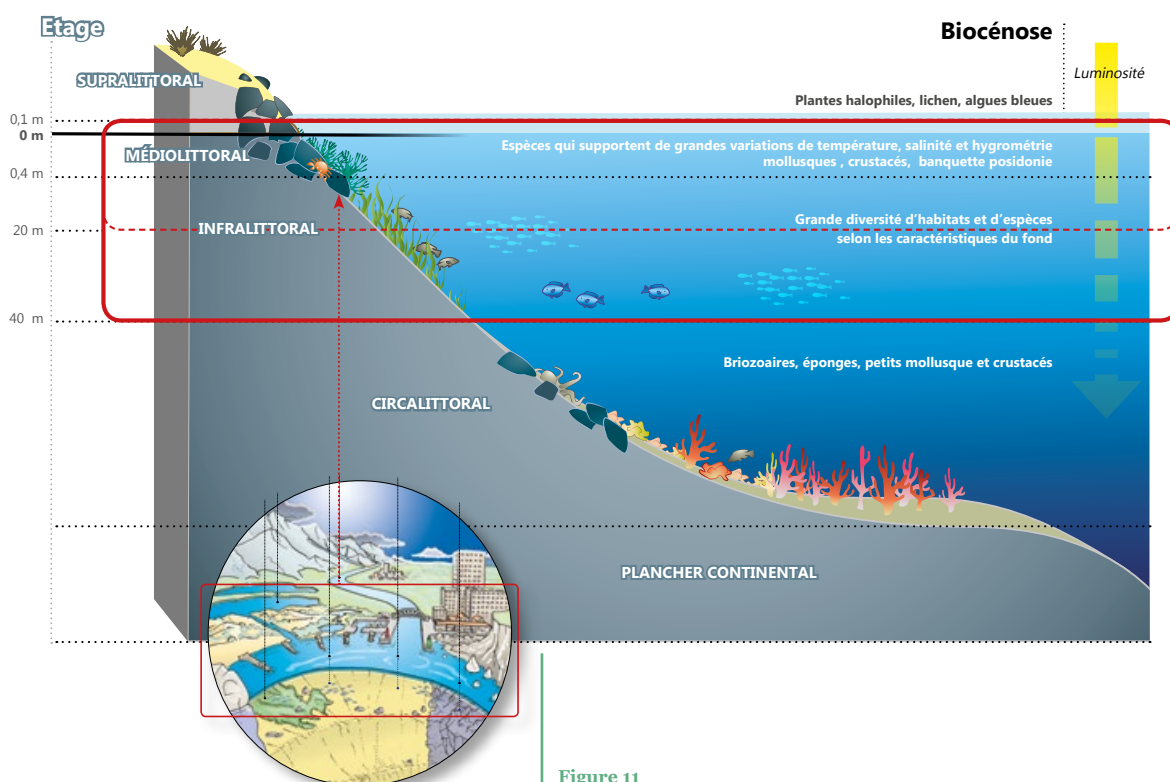


Figure 11
Etagement des zones littorales.
 En rouge, la zone d'intérêt principale de ce guide.
 Modifié d'après l'Observatoire marin
 (Communauté de Communes du Golf de Saint-Tropez).

> L'étagement sous-marin

Il s'agit d'une distribution spatiale en fonction d'un gradient de profondeur.

> l'étage **supralittoral** ou zone d'influence directe des embruns.

> l'étage **médiolittoral** ou zone de balancement des marées, d'environ 40 cm d'amplitude en moyenne en Méditerranée, mais pouvant atteindre jusqu'à 1,30 m dans la lagune de Venise.

> l'étage **infralittoral** : zone qui reste immergée lors des basses marées de vives eaux où l'intensité lumineuse est suffisante pour permettre le développement des macrophytes. L'étage se situe généralement entre 0 et 20 m de fond en fonction de la turbidité et peut atteindre 40 m dans certaines zones méditerranéennes.

> l'étage inférieur appelé **circalittoral** qui s'étend depuis la limite inférieure des herbiers de *Posidonies* n'est pas pris en compte dans cet ouvrage. C'est l'étage permettant le développement des formations de **coralligène**, assemblage d'algues rouges calcaires formant des bioconstructions abritant une forte biodiversité animale et végétale.

b. Typologie des habitats des petits fonds côtiers

Les zones littorales présentent une multitude d'**habitats**, caractérisés à la fois par la diversité des substrats et l'influence de l'étagement. Une nomenclature européenne (Code CORINE Biotope) (Tableau 1) a été définie à l'échelle des pays membres pour harmoniser les typologies d'habitats naturels (terrestres et aquatiques) notamment dans des espaces présentant une continuité écologique, comme en Méditerranée Nord Occidentale. Cette typologie inclut les zones de faibles profondeurs, les eaux de transition telles que les estuaires et les lagunes du fait de leur forte connectivité avec le milieu marin et de leur importance potentielle notamment en termes de nurserie. La typologie CORINE Biotope ne prend en considération que les habitats naturels. Concernant les structures artificielles installées en mer, il est important d'établir également une typologie comparable car ces habitats, créés par les activités humaines, remplissent dans certains cas des fonctions d'**habitats essentiels** et en particulier de nurseries (Pastor *et al.*, 2013).

Dans ce guide, 10 grandes catégories d'habitats seront prises en compte :

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 - les petits fonds (PF) sableux | 6 - les estuaires et lagunes, |
| 2 - les PF à cailloutis, | 7 - les vasières, |
| 3 - les PF rocheux, | 8 - les bancs rocheux, |
| 4 - les concrétions organogéniques | 9 - les infrastructures artificielles |
| 5 - les herbiers, | 10 - les ports. |

On peut constater que même si certains habitats peuvent se trouver jusqu'à 50 mètres de fond (comme les épaves par exemple), la majeure partie se retrouve principalement entre 0 et 10 mètres.

Tableau 1

Typologie des habitats des petits fonds côtiers de Méditerranée suivant la classification CORINE Biotope et modifiée pour les besoins du guide.

Typologie des habitats (CORINE biotope 1997)	Typologie des habitats des petits fonds côtiers	Profondeurs	Nomenclature	
11.22 - Zones benthiques sublittorales sur sédiments meubles	Petits fonds sableux (différentes granulométries)	0 - 10 m	PF sableux	
11.23 - Zones benthiques sublittorales sur cailloutis	Petits fonds à cailloutis et galets	0 - 5 m	PF à cailloutis	
11.24 - Zones benthiques sublittorales sur fonds rocheux	Petits fonds rocheux :	0 - 20 m	PF rocheux	
	Enrochements continus	0 - 40 m		
	Enrochements continus avec gros blocs	0 - 20 m		
	Enrochements avec des zones sableuses	0 - 10 m		
	Enrochements avec des <i>Posidonia oceanica</i>	0 - 40 m		
	Enrochements avec prairies de macrophytes photophiles	0 - 10 m		
Enrochements avec forêts de cystoseires	0 - 5 m			
11.25 - Formations sublittorales de concrétions organogéniques	Concrétions organogéniques :	0 - 40 m	Concrétions Organogéniques	
	Concrétions coralligènes	15 - 40 m		
	Concrétions d'algues encroûtantes	2 - 75 m		
	Trottoirs à <i>Lithophyllum</i>	0 - 1 m		
	Trottoirs de gastéropodes et polychètes	0 - 1 m		
Trottoirs de moules ou d'huitres...	0 - 5 m			
11.33 - Herbiers méditerranéens à <i>Cymodocea nodosa</i> et <i>Zostera sp.</i>	Herbiers phanérogames : <i>Cymodocea nodosa</i> et <i>Zostera sp.</i>	0 - 10 m	Herbiers	
11.34 - Herbiers de <i>Posidonia oceanica</i>	Herbiers de <i>Posidonia oceanica</i>	0 - 40 m	Herbiers	
	Litières d'herbiers	0 - 40 m		
13.2 - Estuaires	Estuaires	0 - 20 m	Estuaires / Lagunes	
21 - Lagunes	Lagunes	0 - 10 m	Estuaires / Lagunes	
14 - Vasières et bancs de sable sans végétation	Vasières	0 - 2 m	Vasières	
19 - Ilots, bancs rocheux et récifs	Bancs rocheux	0 - 40 m	Bancs rocheux	
	Infrastructures artificielles :	0 - 50 m		
	Enrochements	0 - 10 m		
	Acropodes (brise-lames)	0 - 10 m		
	Structures flottantes	0 - 2 m		
	Récifs artificiels	0 - 30 m		
Epaves	0 - 50 m			
	Quais	0 - 10 m	Ports	
	Ducs d'albe (piliers de port)	0 - 20 m		



> NUhAGE - NUrseries, hAbitats, Génie Ecologique

Le projet NUhAGE vise à identifier les zones de recrutement, à caractériser la structure des nurseries et à qualifier le peuplement des juvéniles associés dans les petits fonds côtiers du département du Var.

Ce travail s'appuie sur de l'acquisition de données de terrain (plongées et captures de post-larves) issues des sites ateliers du Golfe de Saint-Tropez, du secteur des trois Caps et de la Lagune du Brus. Il doit être complété par des enquêtes auprès des pêcheurs professionnels.

Des éléments de gestion des nurseries des sites ateliers doivent également être proposés, ainsi que, si nécessaire, des propositions pour la restauration de certaines fonctionnalités.

Le projet est porté par le GIS Posidonie, le laboratoire MOI d'Aix-Marseille Université et P2A Développement. Il est financé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et le Conseil Départemental du Var. Il est labellisé par le Pôle Mer.



> RESPIRE - RESeau Pour le suivi du REcrutement

La thématique des nurseries côtières, récente et en plein essor, nécessite un effort particulier en matière d'acquisition de données. Dans ce contexte, le projet RESPIRE, financé et mis en œuvre par l'entreprise Ecocean et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse va suivre de façon pluriannuelle l'évolution spatio-temporelle de la colonisation larvaire en zone littorale. 23 ports sont pour l'instant suivis 3 fois/an (Basse Fréquence) dont certains jusqu'à 24 fois/an (Haute Fréquence). Ce réseau vise à apporter des éléments de réponse sur la caractérisation des populations de post-larves, son évolution dans le temps et sur la prospective en matière d'évolution supposée des populations adultes sur le moyen/long terme. Une méthode d'observation standardisée a été mise en place sur des habitats artificiels propices à la protection des jeunes poissons. Un suivi faune/flore fixée a été également initié en 2015.

Maître d'ouvrage : Ecocean

Partenaire : AERMC, CEFREM-CNRS-CREM, IFREMER, STARESO, Andromède Océanologie, Université de Rabat.

Banc de jeunes barracudas
(*Sphyraena* sp.)

C. Synchronisation spatiale et temporelle des besoins des espèces

Chaque espèce de poisson possède des exigences propres pour ses **habitats essentiels**, ne serait-ce que par son régime alimentaire. Au stade juvénile, les espèces se répartissent l'utilisation des habitats dans le temps et dans l'espace, limitant les phénomènes de compétition (figure 12).

(figure 12.a) A l'échelle spatiale, les caractéristiques de l'**habitat** doivent correspondre aux exigences de l'espèce, pour chacun de ses stades de développement : herbier de posidonie pour certains labridés, **écotone** de petits éboulis/plage de sable grossier pour certains sparidés... La grande diversité d'espèces présentes dans ces **habitats** positionne tous les petits fonds côtiers comme de potentielles nurseries.

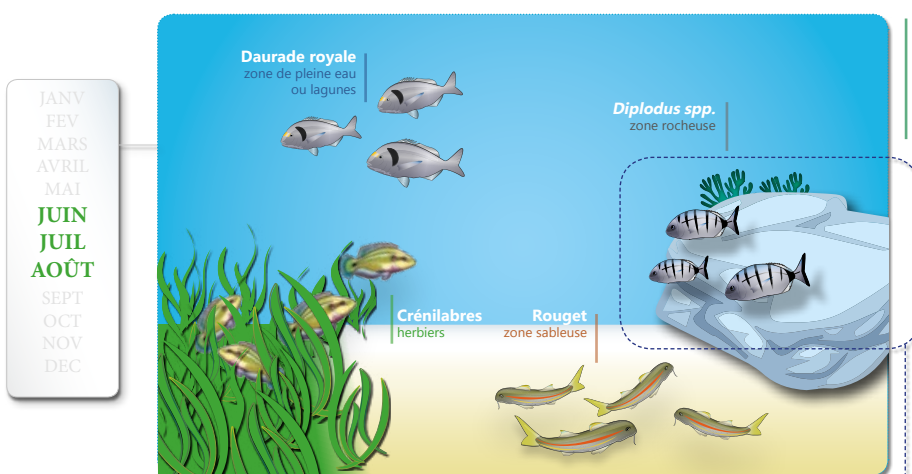


Figure 12.a
Répartition spatiale des juvéniles de plusieurs espèces dans différents habitats de nurseries côtières (herbiers, sable, roches)

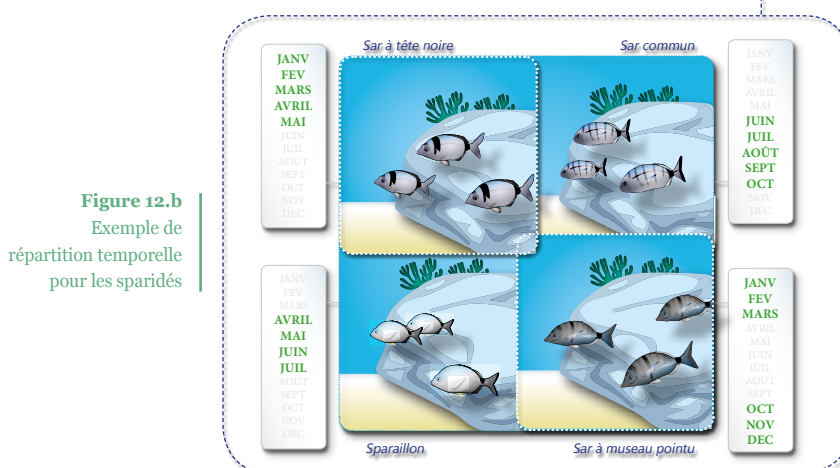


Figure 12.b
Exemple de répartition temporelle pour les sparidés

(figure 12.b) A l'échelle temporelle, les périodes de reproduction sont bien définies par espèce et échelonnées dans le temps (printanière, estivale, automnale et hivernale). Un site sera considéré comme une nurserie efficace pour une espèce donnée en fonction d'une période spécifique de l'année. Une même zone peut être considérée comme une nurserie toute l'année si l'on observe des successions d'espèces : c'est le cas pour les sparidés du genre *Diplodus* qui se succèdent du printemps à l'hiver, limitant ainsi les compétitions.

Le tableau suivant (tableau 2) présente les périodes d'arrivée de certaines post-larves sur les côtes méditerranéennes et met en évidence le printemps comme étant la période la plus favorable pour le recrutement d'une majorité d'espèces.

Identification			Mois des captures de PL en 2011 et 2012											
Famille	Genre	Espèce	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Familles capturées et élevées														
Ammodytidae	<i>Gymnammodyte</i>	<i>sp</i>												
Anguillidae	<i>Anguilla</i>	<i>Anguilla</i>												
Apogonidae	<i>Apogon</i>	<i>imberbis</i>												
Atherinopsidae	<i>Atherina</i>	<i>sp</i>												
Bothidae	<i>Bothus</i>	<i>podas</i>												
Blennidae	<i>Parablennius</i>	<i>picicornis</i>												
Blennidae	<i>Parablennius</i>	<i>zvonimiri</i>												
Blennidae	<i>Parablennius</i>	<i>gattorugine</i>												
Blennidae	<i>Parablennius</i>	<i>sanguinolentus</i>												
Blennidae	<i>Parablennius</i>	<i>rouxi</i>												
Blennidae	<i>Aidablennius</i>	<i>shpynx</i>												
Carangidae	<i>Trachurus</i>	<i>sp1 (grosse PL)</i>												
Carangidae	<i>Trachurus</i>	<i>sp2 (petite PL)</i>												
Carangidae	<i>Seriola</i>	<i>dumerili</i>												
Carangidae	<i>Trachinotus</i>	<i>ovatus</i>												
Carangidae	<i>Lichia</i>	<i>amia</i>												
Centracanthidae	<i>Spicara</i>	<i>sp (smaris)</i>												
Centracanthidae	<i>Spicara</i>	<i>melanurus</i>												
Congridae	<i>Conger</i>	<i>conger</i>												
Gadidae	<i>Gaidrosparus</i>	<i>mediterraneus</i>												
Labridae	<i>Thalassoma</i>	<i>pavo</i>												
Moronidae	<i>Dicentrarchus</i>	<i>labrax</i>												
Mugilidae	<i>Mugilidae</i>													
Mullidae	<i>Mullus</i>	<i>surmuletus</i>												
Mullidae	<i>Mullus</i>	<i>barbatus</i>												
Pomacentridae	<i>Chromis</i>	<i>chromis</i>												
Scophtalmidae	<i>Scophtalmus</i>	<i>sp</i>												
Scorpaenidae	<i>Scorpaena</i>	<i>porcus</i>												
Serranidae	<i>Epinephelus</i>	<i>marginatus</i>												
Serranidae	<i>Serranus</i>	<i>scriba</i>												
Sparidae	<i>Dentex</i>	<i>dentex</i>												
Sparidae	<i>Diplodus</i>	<i>annularis</i>												
Sparidae	<i>Diplodus</i>	<i>sargus</i>												
Sparidae	<i>Diplodus</i>	<i>puntazzo</i>												
Sparidae	<i>Diplodus</i>	<i>vulgaris</i>												
Sparidae	<i>Lithognatus</i>	<i>mormyrus</i>												
Sparidae	<i>Sparus</i>	<i>aurata</i>												
Sparidae	<i>Oblada</i>	<i>melanura</i>												
Sparidae	<i>Pagellus</i>	<i>acarne</i>												
Sparidae	<i>Pagrus</i>	<i>pagrus</i>												
Sparidae	<i>Pagellus</i>	<i>erythrinus</i>												
Sparidae	<i>Spondyliosoma</i>	<i>canthare</i>												
Sparidae	<i>Sarpa</i>	<i>salpa</i>												
Autres familles			Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
Syngnatidae	<i>Hippocampus</i>	<i>sp</i>												
Gobidae	Gobidae	<i>spp</i>												
Gobiesocidae	<i>Lepadogaster</i>	<i>sp</i>												
Uranoscopidae	<i>Uranoscopus</i>	<i>sp</i>												
Dactylopteridae	<i>Dactyloptera</i>	<i>volitans</i>												

Tableau 2

Chronogramme de recrutement des espèces de poissons côtiers dominants en Méditerranée occidentale. (Lecaillon et al., 2012). Les cases grisées indiquent les périodes pour lesquelles des larves ont été pêchées et les cases plus foncées indiquent les mois les plus favorables (quantités maximales capturées).

Chapitre 1 : Cadre écologique des petits fonds côtiers

> A RETENIR

Le cycle de vie des poissons ...	<i>Le cycle de vie des poissons côtiers est constitué de différents stades (œufs, larves, post-larves, recrues, juvéniles et adultes) nécessitant des habitats essentiels spécifiques (nursérie, refuge, nutrition, reproduction). Chaque stade a ses caractéristiques propres et ses exigences particulières.</i>
... possède des phases critiques ...	<i>La mortalité naturelle est décroissante tout au long du cycle de vie et le stade larvaire est la phase la plus critique (plus de 90% de mortalité) et celle sur laquelle il est difficile d'intervenir. Les techniques actuelles permettent d'agir essentiellement sur les stades post-larvaires et juvéniles (seconds stades les plus critiques).</i>
... et nécessite l'utilisation de nurseries, ...	<i>Pendant ses stades de nouvelle recrue et de jeune juvénile, le poisson côtier va utiliser les habitats « nurseries », situés à faible profondeur (généralement entre 0 et 20 m), dans les petits fonds côtiers. Ces zones doivent posséder des caractéristiques bien particulières pour pouvoir servir de nurseries : avoir une fonction de refuge, de nutrition et de connectivité avec les stades adultes tout en améliorant le taux de survie.</i>
... situées dans les petits fonds côtiers, ...	<i>Les petits fonds côtiers abritent une grande diversité d'espèces et une grande diversité d'habitats. Les nurseries, indispensables au cycle de vie des poissons, peuvent potentiellement concerner tous les habitats côtiers, en fonction des espèces et de la période de l'année.</i>
... sensibles aux impacts anthropiques.	<i>Les nurseries des petits fonds côtiers étant situées au plus proche de la côte, elles sont fortement impactées par les activités humaines. Avant tout projet d'aménagement sur la zone côtière, il convient donc d'analyser les habitats présents (cartographie) pour estimer la valeur de nurserie des sites concernés. A partir des typologies existantes, il sera possible de connaître les espèces les plus impactées par les travaux ainsi que le préjudice.</i>

Petit fond à cailloutis



Banc de sars communs (*Diplodus sargus*)



Banc de saupes (*Sarpa salpa*)



Sars communs (*Diplodus sargus*) dans petit fond rocheux



Contributions des petits fonds côtiers à l'Homme : les Services Ecosystémiques

1. Définition des services écosystémiques (SE)

L'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) tente de trouver un consensus international sur la classification des apports ou biens et services écosystémiques. Dans cet ouvrage, nous avons pris le parti de parler de services rendus à la société par les écosystèmes en bon état de santé et d'intégrité, ou pour être plus précis, en bon état de fonctionnement avec toute sa biodiversité indigène. Ce chapitre détaille précisément les services que les petits fonds côtiers peuvent fournir et souligne leur importance dans les politiques publiques de la zone littorale.

a. Contexte général

Le concept de **services écosystémiques (SE)** a connu une forte expansion au cours des dernières décennies. Développé à la fin des années 1970, il fut d'abord utilisé comme un outil de communication permettant d'expliquer la dépendance de la société à la nature (Blancher *et al.*, 2013). C'est en 2005 que la notion de services écosystémiques s'est véritablement imposée, lors de la publication des résultats du **MEA** (Millennium Ecosystem Assessment) lancé par le G8 et les Nations Unies (MEA 2005). Ce programme mondial fut le premier à évaluer les interactions entre le fonctionnement des **écosystèmes** et le bien-être social et économique à l'échelle de la planète. D'autres programmes ont ensuite repris et fait évoluer ce concept,

> Classification des services écosystémiques

Les services écosystémiques sont classés par le **MEA** en 4 catégories :

- 1 - service d'approvisionnement
- 2 - service de support
- 3 - service de régulation
- 4 - service culturel.

Le **TEEB**, quant à lui, considère une catégorie supplémentaire : le service « habitat », non considéré dans les autres programmes : un service essentiel pour la survie des espèces non-humaines.

Le **CICES** regroupe les services « support » et « régulation », alors que d'autres approches, notamment l'Ecosystem Services Partnership (**ESP**), regroupent les services « habitat » et « support ».

comme le groupe d'étude Economie des Ecosystèmes et de la Biodiversité (**TEEB** - The Economics of Ecosystems and Biodiversity) en 2007, ou l'Agence européenne pour l'environnement par le biais d'une Classification Internationale Commune des Services Ecosystémiques (**CICES**) en 2013. La France, par le biais du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM) a lancé en 2008 une démarche d'évaluation nationale de l'état de ses **écosystèmes** et des services qu'ils rendent, en s'appuyant sur le cadre conceptuel du **MEA** (CREDOC *et al.*, 2009).

Afin d'uniformiser les actions menées aux niveaux européens et français, nous avons choisi d'utiliser la nomenclature suivante, décrite dans le CICES et reprise dans le document sur les services écosystémiques en France (voir tableau annexe 1a) :

- > **Services d'approvisionnement** : production, par les écosystèmes, de biens consommés par l'être humain.
- > **Services de régulation** : processus qui canalisent certains phénomènes naturels, qui assurent les processus biochimiques (eau, nutriment, MO, ...) et ont un impact positif sur le bien-être humain (protection contre les catastrophes naturelles, atténuation des pollutions, etc.).
- > **Services à caractère social** : bénéfices immatériels que l'être humain tire de la nature en termes de santé, de liberté, d'identité, de connaissance, de plaisir esthétique et de loisirs (pêche de loisir, sports de nature, support de recherche, etc.).

Certains SE agissent directement pour le bénéfice de l'Homme, alors que pour d'autres, des aménagements sont nécessaires pour pouvoir en bénéficier. Il est possible de classer les biens et services rendus par les écosystèmes de la manière suivante (CREDOC *et al.*, 2009) :

- > Services directement positifs pour l'Homme dont la fourniture est étroitement liée à un bon état des écosystèmes (autoépuration de l'eau, tourisme de nature, pêche...);
- > Services directement positifs pour l'Homme dont la fourniture nécessite un aménagement ou des prélèvements qui conduisent à un état dégradé du milieu (hydroélectricité, aquaculture,...);
- > Services permettant une atténuation des phénomènes naturels « négatifs » dont la fourniture est étroitement liée à un bon état des écosystèmes (protection contre l'érosion, les vagues submersibles ou encore le contrôle des espèces envahissantes);
- > Services dont la fourniture nécessite un aménagement des écosystèmes ou des prélèvements qui conduisent à réduire certaines **fonctions** naturelles et à en optimiser d'autres (algoculture pour les biotechnologies et agro-carburants).

La notion de services écosystémiques repose donc sur l'hypothèse que tout changement dans l'état de la **biodiversité** et des écosystèmes entraîne un changement dans la capacité de ces derniers à assurer le bien-être socio-économique. Cela permet d'entrevoir la valeur patrimoniale de l'environnement : à la fois d'un point de vue naturel (apport de nourriture, d'énergie, ...), mais aussi d'un point de vue socio-économique, en permettant le développement des activités économiques et le bien-être humain. Une analyse fine et holistique des divers SE que procure un écosystème en voie de restauration facilite l'analyse des coûts et bénéfices économiques (Pah *et al.*, 2014).

b. Relation entre écosystème et la société humaine

Les services écosystémiques représentent donc le lien conceptuel entre les **écosystèmes** et la société humaine.

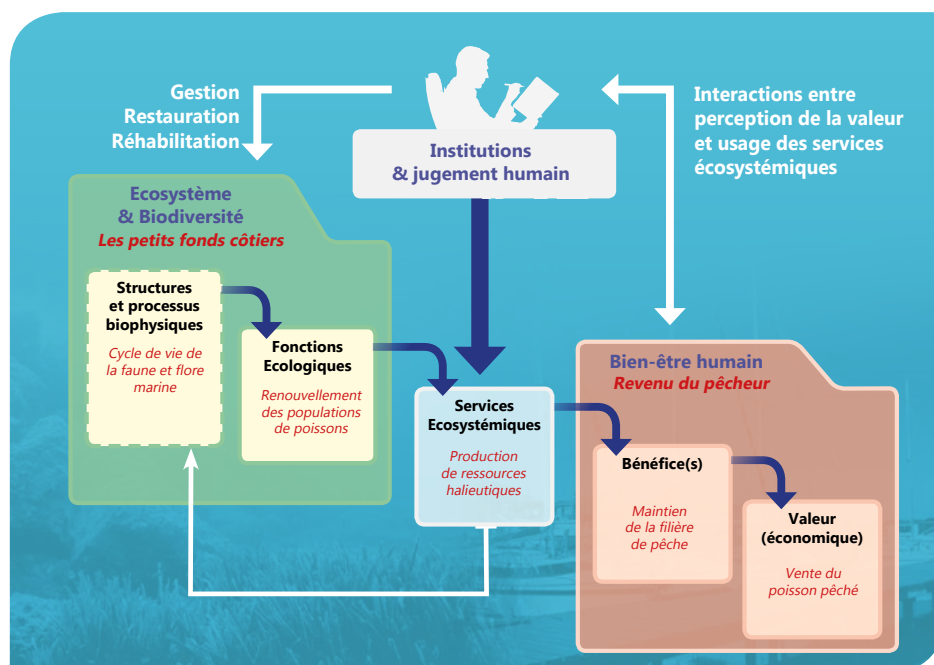


Figure 13 - Figure en cascade, schématisant les relations entre écosystème/biodiversité et la société humaine. Ce lien est assuré par les services écosystémiques. Pour maintenir ces services, l'Homme peut intervenir sur les écosystèmes par des actions de gestion (restauration, réhabilitation, conservation...). Modifié et adapté au milieu marin d'après de Groot et al. (2010)

Sur la Figure 13, en forme de cascade, le carré vert représente les travaux produits naturellement par les écosystèmes pour se maintenir et perdurer. Ces travaux sont produits grâce aux structures et **processus** biophysiques c'est-à-dire les agencements de communautés et d'**habitats** qui sont propres à l'écosystème. Ces « travaux » réalisés sans l'intervention de l'homme, et sans coût, sont appelés les **fonctions écologiques**.

Si celles-ci sont utiles aux activités humaines et que la société les utilise pour son bien-

être (représenté dans le carré orange), ces fonctions deviennent des **Services Ecosystémiques (SE)** (représentés dans le carré bleu clair).

Les fonctions écologiques sont exprimées sous forme de stock alors que les SE sont exprimés en flux. Ces SE apportent des **bénéfices**, de manière directe ou non, par la satisfaction d'un besoin ou d'un désir qui va avoir une **valeur**. Cette valeur peut être monétaire, mais pas uniquement. Dans tous les cas, cette valeur représente un indicateur de bien-être (économique, social ou culturel).

Chaque compartiment découle du précédent. Si un des maillons de la chaîne venait à manquer ou à diminuer, tous ceux en aval seraient affectés. Mais si l'on considère le schéma dans son ensemble, on s'aperçoit que l'utilisation abusive des services de la nature peut aussi avoir un impact néfaste sur la structure et les processus biophysiques des écosystèmes.

Dans l'exemple présenté sur la figure 13, les petits fonds côtiers (Ecosystèmes & Biodiversité) procurent des habitats, riches en nourriture et abris, propices à la survie des larves qui reviennent du large pour coloniser le littoral et assurent ainsi le début du cycle de vie de ces espèces (Structures et Processus Biophysiques) et donc le renouvellement à terme des populations de poissons (Fonctions Ecologiques). Parmi les multiples espèces de poissons qui vivent dans ces petits fonds côtiers au stade juvénile, certaines sont pêchées. Il y a donc

une production de ressources halieutiques sous forme de flux (Services Ecosystémiques) qui va permettre, entre autres, d'assurer le revenu du pêcheur et le maintien de la filière de la pêche (Bénéfice) grâce à la vente du poisson pêché (Valeur). Ce SE ne fournit pas uniquement des bénéfices à une seule personne. Il permet par exemple de fournir les restaurants ou l'industrie agroalimentaire qui sont donc des bénéficiaires indirects. De plus, ce SE n'a pas uniquement une valeur économique. Il est aisé d'imaginer que la préparation et la dégustation d'une bouillabaisse traditionnelle à base de ces poissons ont une valeur sociale et culturelle pour les consommateurs. De même certaines espèces comme les mérus ou les corbs ont une valeur patrimoniale spécifique.

La dimension sociétale est donc très importante dans la prise en compte et dans l'utilisation des biens et services. En effet, l'existence d'un service écosystémique dépend tout autant de **processus écologiques** que des pratiques sociales qui en déterminent son utilisation. Ainsi, la **valeur** donnée à un **service** ne sera pas la même suivant l'utilisation qui en est faite.

L'exemple de la dégradation ou de l'utilisation abusive d'un écosystème est également illustratif (figure 14). Cela va entraîner la diminution des fonctions et supprimer ou réduire les services fournis par cet écosystème, ainsi que les **bénéfices** perçus. Cependant, même la mise en place de mesures de **gestion** va impacter l'**écosystème** et les services qu'il procure. Par exemple, cela peut être le cas dans la mise en place d'une zone interdite à la pêche. A cet endroit précis, les services « production d'animaux pour la pêche professionnelle ou de loisirs » vont être supprimés, alors que d'autres, comme la « régulation de la diversité fonctionnelle » seront favorisés. Il est donc important de prendre en considération qu'en ne favorisant qu'un seul service, cela peut défavoriser d'autres services pré-existants, ainsi que la stabilité de l'écosystème (Bullock *et al.*, 2011).

Un grand nombre de personnes reçoivent des bénéfices des écosystèmes sans le savoir. Cela rend d'autant plus difficile la possibilité de lui donner une valeur (de Groot *et al.*, 2010). Enfin, il convient de ne pas oublier qu'un service est généralement assuré grâce à plusieurs **fonctions** et qu'une fonction peut contribuer à la réalisation de plusieurs services (Morandeau et Meignien, 2010). Ce lien non bijectif complexifie donc le système.

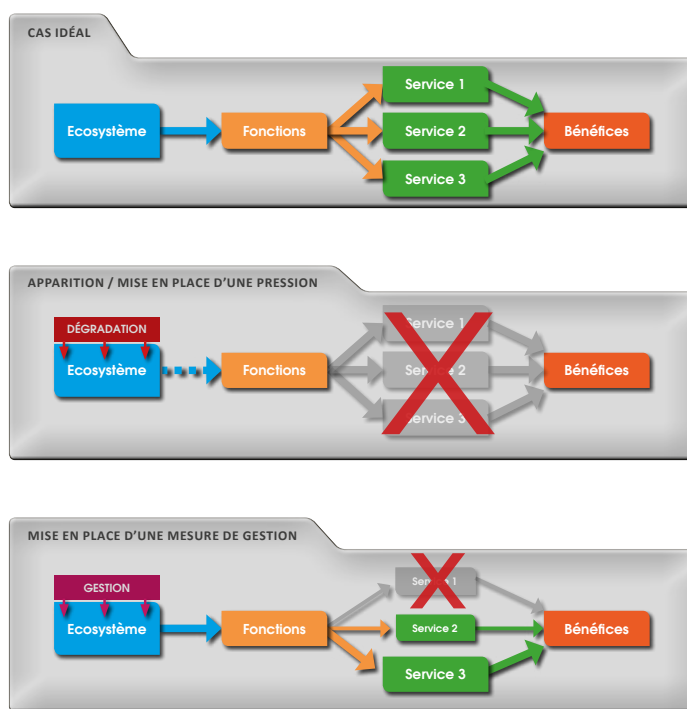


Figure 14 - Pertes et gains de services en fonction de l'utilisation des écosystèmes et de la réglementation. Modifié d'après MEEDD/MNHN (2010)

2. Les SE rendus par les petits fonds côtiers

a. Les SE méditerranéens

L'ensemble des services écosystémiques produits par le milieu marin a été listé (annexe 2) en se basant sur la bibliographie existante. A partir de cette liste, il est possible de cibler spécifiquement ceux concernant les petits fonds côtiers méditerranéens. Le tableau suivant regroupe les services rendus par les différents habitats des petits fonds côtiers méditerranéens.

Les différentes catégories de services écosystémiques		Habitats										
		PF sableux	PF à cailloutils	PF rocheux	Concrétions organogénétiques	Herbiers	Estuaires / lagunes	Vasières	Bancs rocheux	Infrastructures artificielles	Ports	
Services directs	Services d'approvisionnement	Production d'animaux pour la pêche professionnelle	●	●	●	●	●	●	●	●	●	si connectivité entre le port et l'extérieur
		Support de culture alimentaire								●		
		<i>Production de végétaux pour l'alimentation, aliment</i>					●	●		●	●	
		<i>Production d'éléments minéraux pour extraction</i>	●	●				●	●			
Services indirects	Services de régulation	Régulation de la qualité de l'eau					●	●				
		Régulation de la diversité fonctionnelle	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
		Régulation des interactions interspécifiques	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
		Protection de l'érosion du littoral			●		●			Acropodes		
		Protection contre les tempêtes			●		●			●		
		Maintien du cycle de vie des espèces marines	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
		Contrôle des espèces envahissantes	●	●	●	●	●	●	●	●	● ?	
		<i>Recyclage de nutriments (N, P.) et matière organique</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Services socio-culturels	Support pour le tourisme, loisirs de nature et sport	●	●	●	●	● Plongée	●	●	Récifs artificiels épaves	●	
		Support esthétique, paysager	●	●	●	●	●	●	●			
		Support de recherche scientifique	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
		Support pour le développement des savoirs éducatifs		●	●		●			Récifs artificiels	● ?	
		Production d'animaux pour la pêche de loisirs	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
Production d'espèces patrimoniales	●	●	●	●	●	●	●	● ?	●			
<i>Support pour soins de santé</i>			Algues éponges				Boues marines					

Tableau 3 . Les services écosystémiques rendus par les différents habitats des petits fonds côtiers.

En gris italique, les services moins présents dans les petits fonds côtiers méditerranéens. En bleu ●, les services potentiellement assurés par les ports (ces services peuvent être renforcés par de l'écoconception ou par le biais de récupération de fonctions par différentes actions).

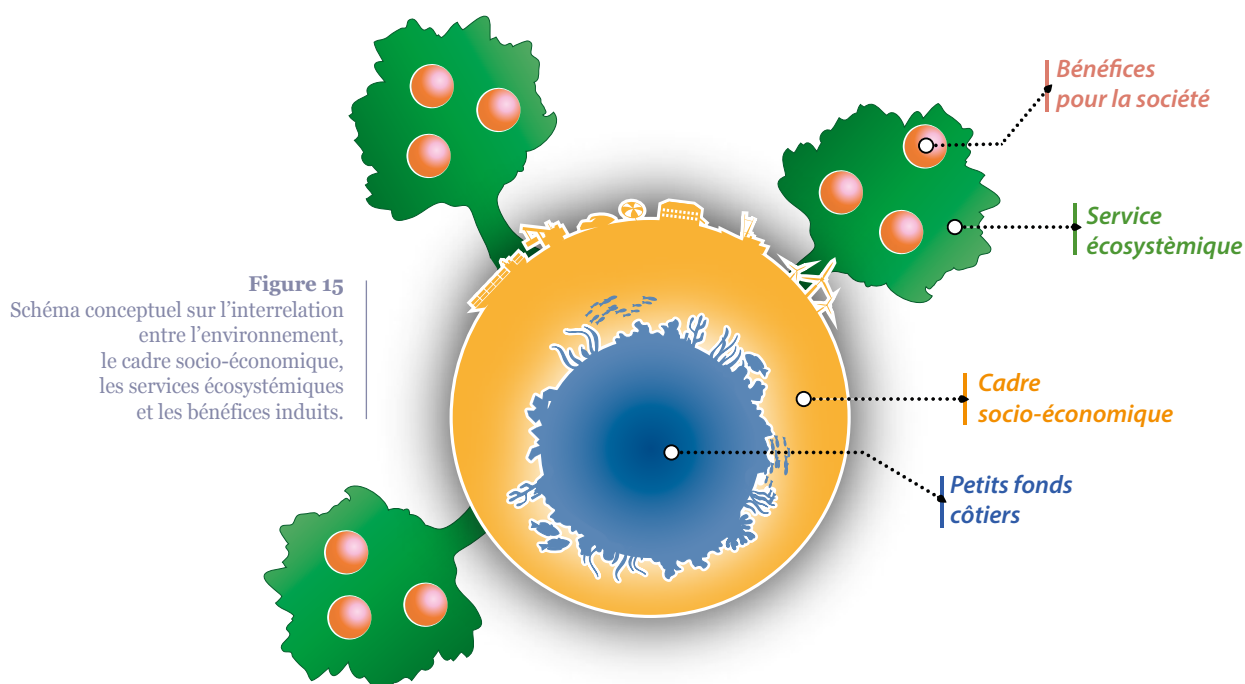
Notons que certains habitats vont rendre un grand nombre de services : c'est le cas par exemple des herbiers, des lagunes ou encore des infrastructures artificielles. Ces habitats vont donc devoir faire l'objet d'une réflexion plus approfondie lors de projets de restauration ou de compensation.

Par ailleurs, certains services ne vont être rendus que par un très petit nombre d'habitats (par exemple : la régulation de la qualité de l'eau en milieu lagunaire - filtration, auto épuration - ou la protection de l'érosion du littoral ou des tempêtes). Il est primordial de prendre en considération ce type de services dans le cas de projets de restauration, si la zone sur laquelle le projet doit être mené est concernée par ces services.

Toutefois, cela n'implique pas nécessairement une hiérarchisation dans les habitats, ni que certains, rendant peut-être moins de services, puissent être sacrifiés. En effet, les combinaisons d'habitats et les zones d'interface entre plusieurs habitats rendent eux aussi de nombreux services et sont donc à prendre en compte.

b. Les valeurs et bénéfices retirés grâce aux SE

Afin de bien comprendre les mécanismes et les enjeux qui pèsent sur les petits fonds côtiers, il est important d'établir les relations entre les **services écosystémiques**, les **bénéfices** et les **valeurs** associées, qu'ils soient directs ou indirects. Dans notre société, un cadre socio-économique s'est développé dans l'espace des petits fonds côtiers, dont dépendent des activités professionnelles et de tourisme étroitement liées à cet environnement (figure 15). Les « fruits » des SE fournis par les petits fonds côtiers sont les bénéfices directs et indirects perçus par l'Homme. Il est important de prendre en compte qu'un bénéfice peut être palpable ou non, puisque le bien-être et la qualité de vie sont des bénéfices tout aussi importants que la fourniture de protéines.



Dans la fiche Services Ecosystémiques (annexe 3), sont recensés les bénéfices et valeurs liés aux SE des petits fonds côtiers, ainsi que l'intérêt socio-économique offert par chaque service. Ainsi, chaque service, lié à des habitats spécifiques, va apporter un intérêt à la société, que ce soit par le maintien d'une activité économique, comme la pêche ou le tourisme, ou par le simple fait d'offrir une bonne qualité de vie. Les différentes valeurs données à la biodiversité sont multiples et peuvent être à la fois culturelle, esthétique, récréative, éducative, spirituelle, scientifique, sociale, économique... D'après l'analyse des différents travaux de recherche menés sur la valeur de la biodiversité, trois types de valeurs ont pu être identifiés (FRB 2013, Salles 2013) :

> **Valeur intrinsèque** : Valeur de la biodiversité en elle-même et pour elle-même. Quel que soit son usage éventuel par l'homme, la diversité de la vie sur Terre doit être préservée et les êtres humains ont le devoir moral de la respecter. Ex. reconnaissance de droits aux espèces non humaines.

> **Valeur patrimoniale** : Valeur culturelle, identitaire, historique de la biodiversité, qui fait de celle-ci, ou de certains de ses éléments ou processus, un patrimoine à conserver, pour le présent et les générations futures. Ex. protection d'un paysage ou d'une espèce emblématique pour son importance culturelle.

> **Valeur instrumentale** : La biodiversité est pourvoyeuse de ressources et de services utiles, voire indispensables au fonctionnement des sociétés humaines. Ex. valeur instrumentale liée à la production d'aliments ou à l'utilisation d'espaces récréatifs. **La valeur d'option** peut être considérée comme une valeur instrumentale particulière, source potentielle d'innovation pour les sociétés actuelles et futures. Ex. découverte de nouvelles molécules d'intérêt pour l'industrie pharmaceutique.

Sur un autre plan, certains scientifiques mettent en avant **la valeur écologique** d'un écosystème (valeur accordée implicitement à la biodiversité) pour son importance dans le fonctionnement et la résilience des écosystèmes.

L'existence de ces différentes approches fait que, pour un même élément de la biodiversité, la valeur donnée sera différente selon les acteurs (figure 16).

Dans cet exemple, la valeur de l'herbier de Posidonie sera différente si l'on se place du point de vue d'une entreprise, d'un chercheur ou d'un touriste. Cependant, aucune de ces valeurs n'est meilleure ou supérieure aux autres.

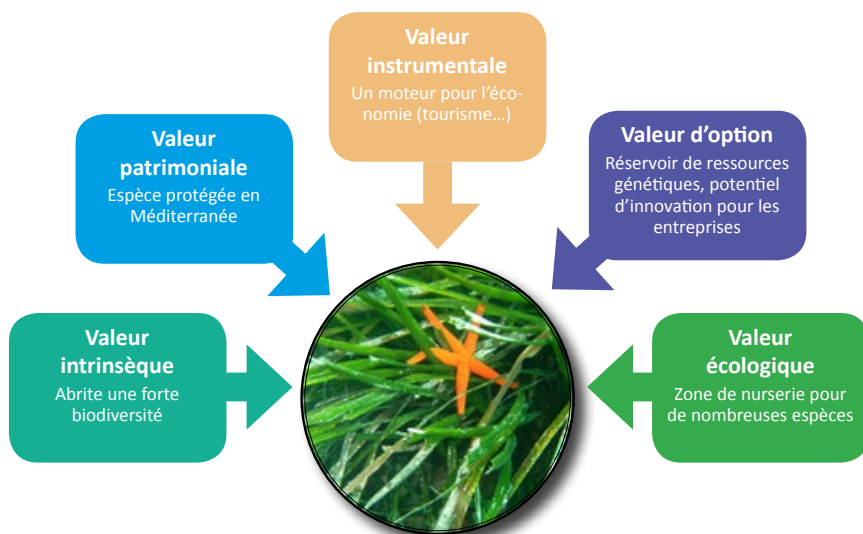


Figure 16
Les différentes valeurs pouvant être données à un écosystème
Exemple de l'herbier de Posidonie. Modifiée d'après FRB (2013).

c. Exemple de méthode d'évaluation des SE – l'approche EFESE

D'après la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB, 2013) « l'évaluation économique est de plus en plus mobilisée pour aborder la biodiversité et les services écosystémiques. Cette évaluation économique se fonde sur une diversité de méthodes (analyse des coûts, des préférences individuelles...), qui ont chacune leurs forces et leurs faiblesses. La notion de valeur économique totale appliquée à la biodiversité cherche à englober l'ensemble des valeurs de la biodiversité. Basée sur une typologie distinguant les valeurs d'usage et de non usage, elle tente de dépasser les seules valeurs instrumentales (Chevassus-au-Louis et al., 2009) ».

Par ailleurs, les travaux d'évaluation économique sont très souvent sujets à discussion, permettant par là même le dialogue et apportant des arguments pour prendre en compte la biodiversité dans les décisions politiques. Enfin, ces évaluations permettent aussi l'émergence d'instruments économiques (incitations fiscales, paiements pour services environnementaux,...) permettant parfois de rendre la préservation de la biodiversité économiquement intéressante, voire incontournable. « Cependant ces évaluations économiques soulèvent des questions sur sa portée et ses limites, et sur le modèle de société qu'elle évoque. » (FRB, 2013)

> EFESE – Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques

Ce projet, lancé par le MEDDE, se base sur le développement d'indicateurs permettant d'estimer la perte actuelle de SE, mais aussi de déterminer un gain potentiel, lors d'actions menées pour retrouver, même partiellement, le ou les services perdus.

Les spécificités de l'évaluation française, par rapport à la plupart des autres travaux menés à l'étranger, résident notamment dans :

- > *La prise en compte d'écosystèmes spécifiques (forêts méditerranéennes, écosystèmes ultra-marins, écosystèmes urbains...) et une meilleure articulation entre biodiversité, fonctions écologiques et services écosystémiques.*
- > *L'intégration des changements globaux en interaction avec les SE.*
- > *Une approche « par bouquets de services écosystémiques », prenant en compte des interrelations entre certains services au regard d'un objectif de politique publique donné.*
- > *La notion de valeur patrimoniale (et non pas par une approche économique) pour certains SE de dimension identitaire ou spirituelle.*
- > *Le choix d'évaluer les bénéfices retirés, par les sociétés humaines, des services d'approvisionnement en mesurant la valeur des biens associés.*

Les valeurs recherchées dans le cadre de l'EFESE portent essentiellement sur 3 volets :

- > **Biophysique** : *qui vise à évaluer l'état des écosystèmes et des principales fonctions écologiques (en tenant compte de leur tendance d'évolution).*
- > **Social** : *qui tend à mesurer les liens entre les biens et les services fournis par les écosystèmes et leur contribution en termes d'emploi, de santé, d'amélioration du cadre de vie, à la sécurité des biens et des personnes, ...*
- > **Economique** : *qui vise à fournir des valeurs monétaires des biens et des services (approche par les coûts observés).*

Chapitre 2

Contributions des petits fonds côtiers à l'Homme : Les Services Ecosystémiques

> A RETENIR

<p>Le lien entre les écosystèmes et la société ...</p>	<p><i>Les écosystèmes et la société sont interconnectés et toute action sur l'un entrainera un impact positif ou négatif sur l'autre. La notion de services écosystémiques (SE), définie comme l'ensemble des biens et services fournis à l'homme par les écosystèmes, permet de matérialiser la partie de ces interactions qui bénéficie à la société humaine.</i></p>
<p>... est matérialisé par les services écosystémiques (SE).</p>	<p><i>Le concept des SE, développé dans les années 1970, a beaucoup évolué. Il existe aujourd'hui différentes nomenclatures pour les définir et celle de la CICES a été retenue dans le cadre de cet ouvrage. Elle définit 3 catégories : service d'approvisionnement, de régulation et ceux à caractère social.</i></p>
<p>Les habitats côtiers fournissent des SE, ...</p>	<p><i>Tous les habitats des petits fonds côtiers rendent des services à l'Homme. Certains habitats particuliers apportent à eux seuls plusieurs de ces SE. Certains services, quant à eux, ne seront rendus que par un petit nombre d'habitats. Ces caractéristiques sont à prendre en compte lors de projets d'aménagement sur le littoral, en apportant une attention toute particulière aux habitats présents sur la zone concernée.</i></p>
<p>... apportant différents bénéfices,...</p>	<p><i>L'Homme retire un certain nombre de bénéfices des services écosystémiques. Ces bénéfices peuvent ensuite permettre de donner une valeur, économique ou culturelle, aux SE. Suivant le type de service, il n'est pas toujours aisé de donner une véritable valeur, même si certains modèles économiques cherchent à y parvenir.</i></p>
<p>... qu'il convient de préserver.</p>	<p><i>Les nombreux services rendus par les petits fonds côtiers sont tributaires du maintien et de la préservation des écosystèmes et de la biodiversité associée. Les activités humaines conditionnent les bénéfices perçus, ainsi que le bon fonctionnement des milieux.</i></p>



Etang de Salses-Leucate

Forêt de cystoseires



L'action de l'Homme sur les petits fonds côtiers : Pressions, impacts et enjeux

« L'intensité des activités humaines dans des régions entourant des mers fermées et semi-fermées, telles que la mer Méditerranée, a toujours à long terme une forte incidence environnementale se traduisant par la dégradation côtière et maritime, ainsi que par un risque aggravé de dommages plus graves. La concentration de populations (résidentes et non-résidentes) et les activités humaines autour du Bassin méditerranéen représentent des menaces considérables pour les **écosystèmes** et les ressources côtières (...). A l'avenir, les zones littorales feront probablement face à des pressions croissantes, en particulier sur les **habitats**, les ressources naturelles (terres, eau douce, eau de mer et énergie) et du fait d'une demande croissante en infrastructures (ports/marinas, transport, installations de traitement des eaux résiduaires, etc.), l'urbanisation, le tourisme, l'agriculture, la pêche, le transport et l'industrie constitueront de plus en plus les forces majeures du changement. » (Agence Européenne pour l'Environnement, 2000)

1. Le modèle Driving forces, Pressures, State, Impact, Responses (DPSIR)

La simple prise en compte des impacts liés à l'Homme ne permet pas d'approcher la notion de pressions et de travailler sur les conséquences de ces pressions. Le modèle usuellement utilisé en Europe est le modèle DPSIR (pour Driving forces, Pressures, State, Impact, Responses). Il a été mis au point par l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE). Ce modèle permet d'analyser les relations entre des facteurs qui ont une incidence sur l'environnement selon une logique de causalité. Il organise le questionnement selon cinq axes :

La force motrice : traduit le changement du système social, économique et/ou institutionnel qui engendre des changements d'états directs ou indirects sur son environnement.

La pression exercée : événement ponctuel ou prolongé qui induit le changement d'état. C'est l'action directe de la **force motrice** sous forme de flux.

La situation (parfois aussi appelée **état**) : changement observable de l'**écosystème**. C'est une variable physique, chimique ou biologique qui est mesurable.

L'impact : traduit la conséquence du changement d'état sur la faune et la flore de l'écosystème : une perte ou un gain selon les effets.

La réponse, si elle existe, désigne la mesure mise en place par la société pour diminuer l'impact écologique de son activité.

Cette méthode permet une grande souplesse d'approche. En effet, si les pressions sont mal connues, avec des effets souvent cumulatifs encore moins bien connus, l'utilisation des forces

motrices qui sont à leur origine permet néanmoins des évaluations très pertinentes. Ainsi, en l'absence de données sur les pressions, il est possible d'utiliser les forces motrices comme base d'estimation, le recueil des données sur ces dernières étant souvent plus aisé. Dans la mesure où il est parfois difficile d'évaluer toutes les pressions anthropiques s'exerçant sur les milieux ou d'en évaluer tous leurs effets, la méthode DPSIR permet de sélectionner les plus importantes (Bouchoucha *et al.*, 2010).

Dans la Figure 17, la force motrice est représentée par l'augmentation de la navigation de plaisance dont une des conséquences directes sur les petits fonds côtiers est l'augmentation de la pression liée à la surpopulation des zones de mouillage. Ceci se traduit bien souvent par des mouillages sauvages et l'utilisation d'ancres non adaptées qui provoquent un impact direct sur les herbiers (dégradation).

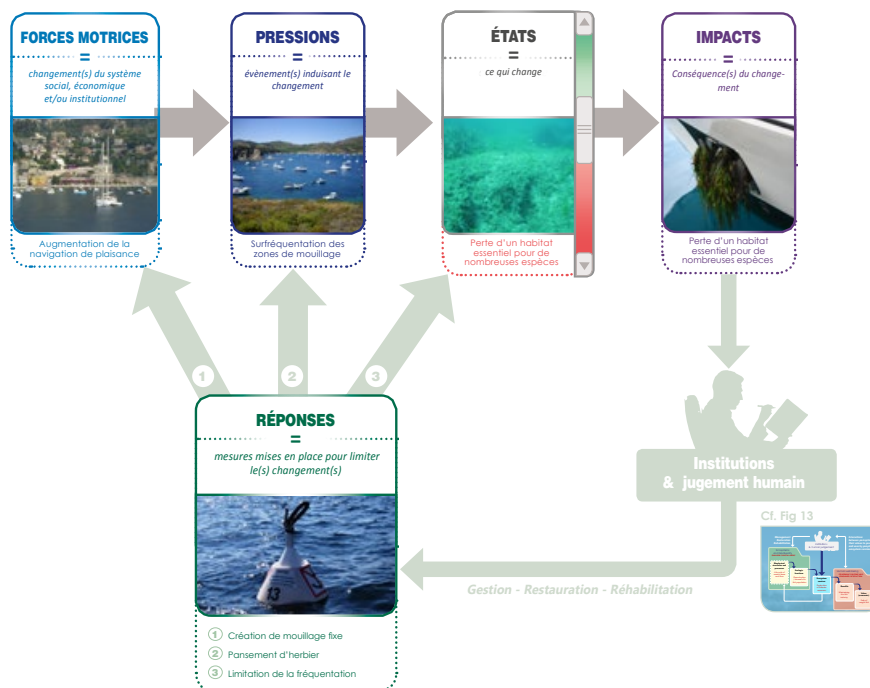


Figure 17 - Exemple de réponse face à une pression et les impacts engendrés : cas de la navigation de plaisance. Modifié d'après l'Agence Européenne de l'Environnement (2000).

Plusieurs types de réponses peuvent être menés en parallèle pour remédier à la situation en agissant à différents niveaux : une limitation de la fréquentation sur certaines zones (action sur la force motrice) ; une diminution de la pression par la création de mouillages fixes adaptés aux herbiers de posidonies ; sensibilisation des plaisanciers à l'intérêt de la conservation ; une restauration des herbiers dégradés notamment à l'aide de « patch » (action sur l'état) ; une meilleure cartographie des zones d'herbiers comme celle réalisée en 2012-2014 dont les informations sont compilées dans une application smartphone (projet DONIA)...



> Quand la Méditerranée dévoile ses dessous - DONIA

L'application DONIA, développée par la société Andromède Océanologie avec le soutien de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, est une application Smartphone gratuite visant la protection des herbiers de posidonies en Méditerranée. En permettant de visualiser la nature des fonds et d'identifier les zones d'herbiers, DONIA contribue à limiter l'impact des ancres sur les herbiers.

2. Les principales pressions et leurs impacts potentiels sur les petits fonds côtiers

L'analyse des **contraintes** s'exerçant sur les zones littorales méditerranéennes et par extension sur les petits fonds côtiers fait apparaître une grande diversité de **pressions** directes ou indirectes (figure 18). Les principaux enjeux associés à ces pressions, identifiés dans le cadre du PAMM en Méditerranée Occidentale (DIRM Méditerranée) sont liés notamment :

- 1 - Aux apports du Rhône et des cours d'eau côtiers qui constituent la principale source d'apports de polluants pouvant être à l'origine notamment d'une contamination de la chaîne trophique.
- 2 - Aux apports plus locaux des grandes agglomérations qui sont également sources de contamination du milieu marin.
- 3 - A l'artificialisation du littoral : près de 20 % du linéaire côtier (hors Corse) de Méditerranée française est artificialisé, ce qui provoque la destruction des **écosystèmes** de petits fonds côtiers.
- 4 - A l'utilisation d'arts traînants et de mouillages qui exercent une action non négligeable sur les **habitats** sous-marins.
- 5 - Aux pressions liées à la pêche : les stocks de certaines populations de poissons paraissent en diminution ces dernières années.

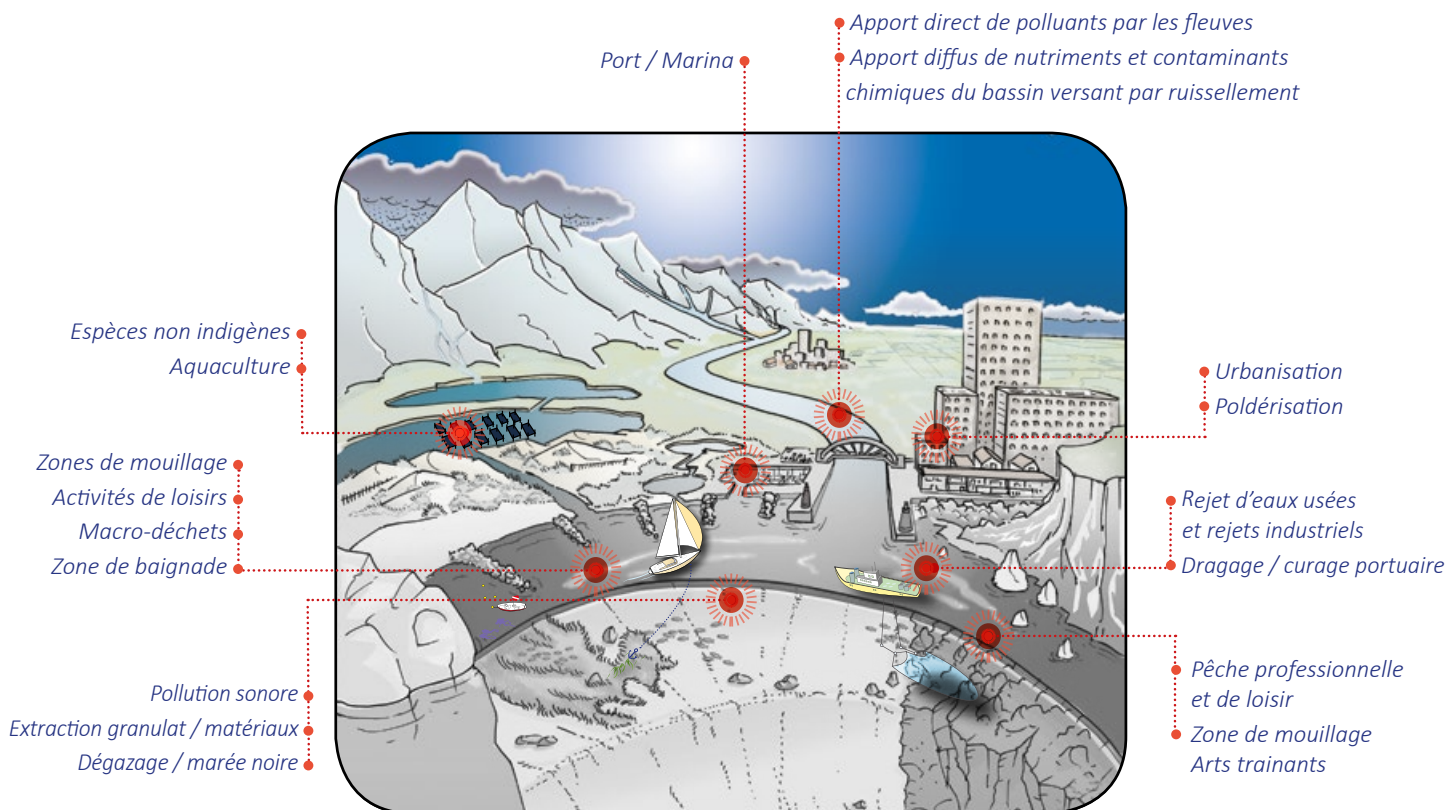


Figure 18

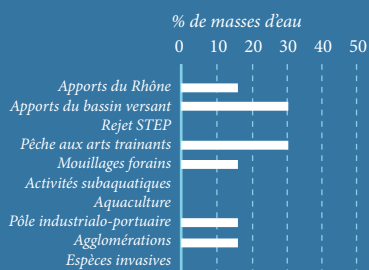
Une représentation des diverses pressions anthropiques exercées sur les petits fonds côtiers

- 6 - Aux macro-déchets qui ont un impact sur les **habitats** et la faune marine. Il existe toutefois un manque réel de connaissances sur ce sujet.
- 7 - Aux rejets illicites des navires (dégazages) qui restent observés, notamment au large de la Côte d'Azur et à l'Est de la Corse.
- 8 - A l'introduction accidentelle et intentionnelle d'espèces non indigènes qui peut entraîner des compétitions avec les espèces indigènes de Méditerranée et avoir ainsi un impact significatif sur le fonctionnement des écosystèmes. La connaissance de ces espèces et de leurs impacts reste aujourd'hui très partielle.

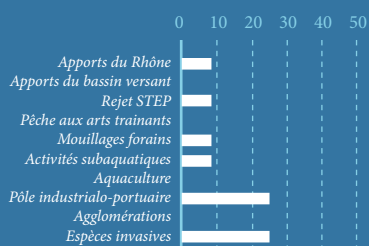
Selon l'atlas de la qualité des eaux marines issu des réseaux de surveillance des eaux côtières (Agence de l'eau RMC, 2013), les résultats sur la chimie, la biologie et les pressions montrent que les zones littorales et marines dégradées concernent 21% du linéaire méditerranéen et 19% de la mer, de la côte à 1 mile nautique au large.

> Principales pressions identifiées par les travaux menés dans le cadre de l'état des lieux du bassin RMC mis en place dès 2005 dans le cadre de la DCE.

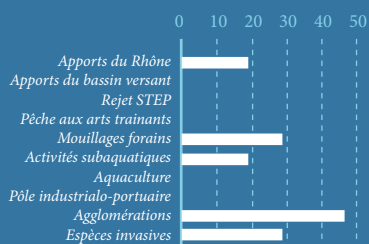
Trois secteurs présentant des types de pressions bien distincts peuvent être identifiés sur le littoral méditerranéen :



Le territoire «Côtier Ouest» (de la frontière espagnole à l'ouest de la Camargue) avec des pressions principalement liées aux apports des cours d'eau côtiers et du Rhône et aux usages en mer (la pêche aux arts trainants représente 28% des pressions, les mouillages forains 14%). Les pôles industrialo-portuaires et les agglomérations représentent chacun 14% des pressions ;



Le territoire «Zone d'Activités de Marseille» (du Golfe de Fos à la Rade de Toulon) : les pressions les plus importantes portent sur les pôles industrialo-portuaires et agglomérations avec près de 25% des masses d'eau concernées tout comme les espèces invasives. Les autres pressions, les apports du Rhône, les rejets de station d'épuration, les mouillages forains et les activités nautiques concernent moins de 10% des masses d'eau ;



Le territoire «Zone Côtière Est et Littoral» (du Tombolo de Giens à la frontière italienne) : les pressions les plus importantes portent sur les agglomérations avec 45% de masses d'eau concernées, les usages en mer avec les mouillages forains (27%) et les activités subaquatiques (18%), les espèces invasives (26%) et enfin les cours d'eau côtiers (18%).

3. Lien entre pressions, impacts et risques

Les petits fonds côtiers sont soumis à de multiples activités humaines et sont donc fortement exposés à la dégradation. Les risques sont dépendants de la probabilité d'apparition de la pression et de la vulnérabilité de l'**écosystème** à cette pression.

> La notion de Risque

Le **risque** est un événement dont l'arrivée, aléatoire, est susceptible de causer un dommage. Ce concept implique donc deux éléments distincts : d'une part un événement - tel qu'une pollution, une catastrophe naturelle, etc... - défini par sa localisation et son intensité et d'autre part, des éléments exposés à cet événement (population halieutique, **habitats** particuliers...) et qui lui sont vulnérables. L'estimation de la probabilité que cet événement survienne est appelé aléa.

Le schéma ci-après (figure 19) représente l'application du risque environnemental au travers d'un exemple concret : le dégazage d'un bateau à proximité d'un petit fond côtier abritant des populations de poissons à différentes périodes de l'année. Cela entraîne un pic de concentration en hydrocarbure qui peut toucher une zone de **colonisation** par des post-larves. Cet aléa n'est pas fréquent mais n'est pas inhabituel dans certaines régions du bassin méditerranéen. Cependant, la période de colonisation du littoral par les larves se fait principalement entre mars et septembre pour la grande majorité des espèces de poissons côtiers. Ce qui signifie que l'exposition face à cet aléa est maximale au printemps et en été et minimale en automne et en hiver. Le risque qu'un dégazage affecte les post-larves est donc beaucoup plus important en été qu'en hiver. La vulnérabilité peut donc varier en fonction de la période, du type d'événement et du type d'habitat concerné par cet événement réduisant ou augmentant de ce fait les risques potentiels.

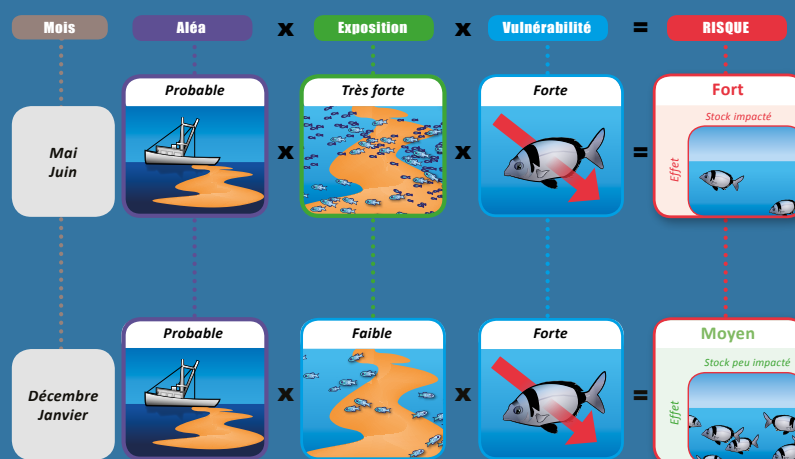


Figure 19 - Exemple de variation temporelle de l'importance d'un risque engendré par un dégazage illégal sur les populations de post-larves.

En se basant sur les pressions listées à la fois dans la DCE et dans la DCSMM, nous nous sommes intéressés à celles concernant les petits fonds côtiers méditerranéens. Le tableau suivant (tableau 4) présente donc les forces motrices à l'origine des pressions sur le littoral, ainsi que leurs impacts potentiels sur les principaux types de petits fonds côtiers. Les pressions principales dues à la croissance démographique sont l'urbanisation du littoral (construction et terrains gagnés sur la mer), les activités humaines (agriculture, aquaculture, extraction de granulat, pêche, transport maritime, loisirs nautiques) et leurs déchets (eaux

usées, apports du bassin versant par temps de pluie, rejets industriels, macro-déchets). Les impacts générés par ces pressions sur les petits fonds côtiers peuvent être physiques (destruction d'habitat, turbidité,...), chimiques (pollution due aux pesticides et autre contaminants toxiques,...) ou biologiques (stress des individus, extraction d'espèces locales et perte de biodiversité accélérant l'implantation d'espèces invasives...). Ces impacts - détaillés dans la fiche en annexe 4 - ne sont pas précisément mesurables.

Les résultats recueillis dans la deuxième partie du tableau sont à considérer qualitativement et servent d'indicateurs pour extraire des tendances quant à la fragilité et la sensibilité de certains écosystèmes (ainsi les herbiers de posidonies – contrairement aux fonds sableux - sont particulièrement vulnérables aux **pressions anthropiques**). Au niveau des communautés de poissons, nous pouvons noter que les post-larves sont très vulnérables en raison de leur métabolisme encore fragile.

Tableau 4 - Pressions, impacts et forces motrices exercés sur les différentes typologies d'habitats des petits fonds côtiers

PROBLEMES		HABITATS									
Forces motrices	Pressions anthropiques	PF sableux	PF à cailloutis	PF rocheux	Concrétions organogéniques	Herbiers	Estuaires / lagunes	Vasières	Bancs rocheux	Infrastructures artificielles	Ports
		Augmentation de la population humaine	au niveau mondial	conchyliculture / aquaculture					?	●	
pêche aux arts trainants	●			●	●	●	●		●		
pêche petits métiers	●			●	●	●	●	●	●	●	
rejets d'eaux usées	●			●	●	●	●	●	●	●	●
changements globaux	●			●	●	●	●	●	●	●	●
au niveau côtier	constructions dont comblement		●	●	●	Trottoir ●	●	●	?	Sauf RA ●	●
Développement de la navigation de plaisance et fret	zone de mouillage surexposée	●	●	●	●	●	●	●	●		
	dragage / curage portuaire et chenaux de navigation et immersion de ces sédiments										●
Développement du tourisme balnéaire	activités de loisirs	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	pêche loisirs et pêche sous marine	●	●	●	Pêche à pied ? ●		●	●	●	●	●
	pollution sonore et électromagnétique	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	macro-déchets	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Developpement des activités dans l'arrière pays	apports des bassins versants «locaux» ruissellement	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Développement des activités du BTP	extraction de granulats/minéraux et rechargement de plages	●	●			●	?				

Sur la base des pressions identifiées et de leur impact, il est important de mettre en parallèle les **services écosystémiques** qui sont touchés, afin d'en déduire les enjeux pour le gestionnaire ou les pouvoirs publics.



> IMPACT :

vers la modélisation des pressions anthropiques cumulées de la zone côtière et l'élaboration de carte de vulnérabilité des habitats marins.

Andromède Océanologie et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse ont développé un outil cartographique d'accès aux données littorales appelé MEDTRIX. Le projet IMPACT (figure 20) présente les principales pressions affectant la zone côtière. Les zones d'influence de ces pressions sont modélisées pour en apprécier les effets cumulés. Cette information mis au regard des cartes des biocénoses marines permet après traitement d'obtenir une première analyse de la vulnérabilité des habitats marins.

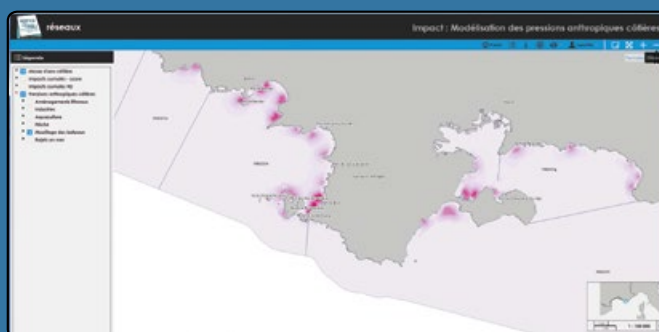


Figure 20

Exemple de modélisation des pressions anthropiques dans le département du Var, au niveau de Toulon. Données issues de MEDTRIX

4. Les enjeux sur les activités humaines

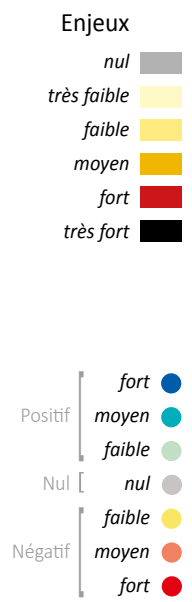
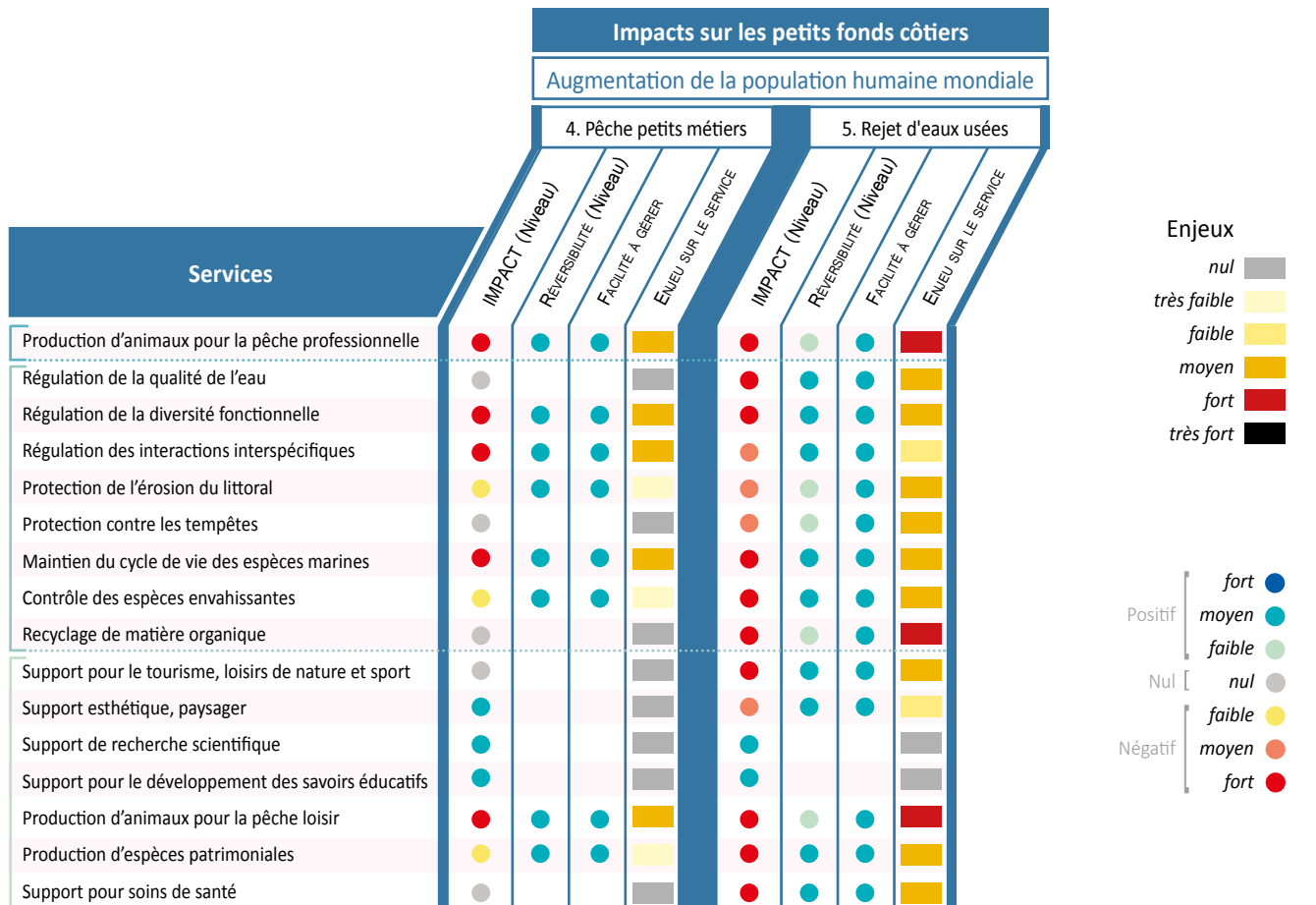
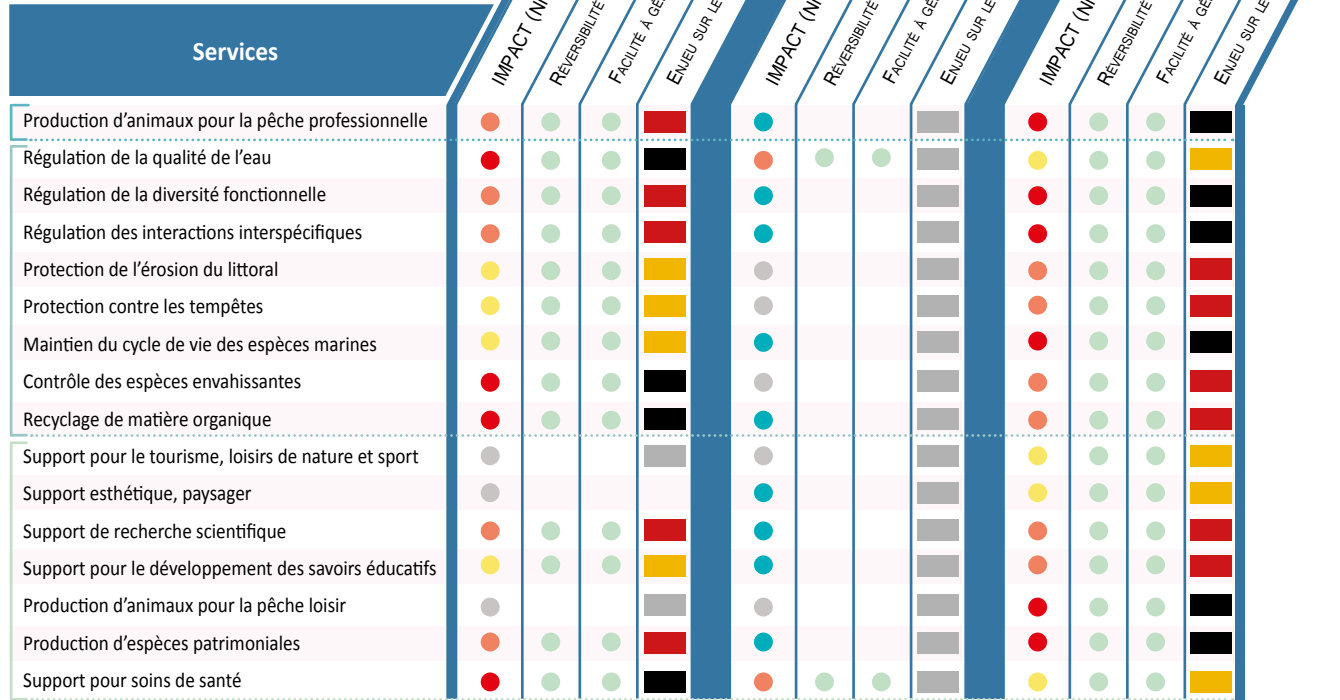
Une partie des activités humaines entraîne des pressions sur l'**écosystème** et la **biodiversité** et donc sur des **services écosystémiques** recherchés par l'Homme. Le croisement des données Pressions/Impacts (Tableau 4) avec les SE (Tableau 3) permet d'identifier le type d'impact (positif ou négatif), le niveau de réversibilité d'un point de vue environnemental et la facilité à gérer cet impact d'un point de vue socio-économique. Tout cela permet d'évaluer les enjeux par rapport à un service donné, (Tableau 5) en termes de perte en cas de dégradation, autant d'un point de vue écologique que socio-économique.

Certaines informations du Tableau 5 sont à tempérer du fait d'un regroupement de tous les types d'herbiers. En effet, on note de fortes disparités en fonction des herbiers (ainsi si une activité détruit un herbier de Posidonie, la matse morte restante ne permettra pas à l'herbier de repartir. Si cela concerne un herbier de zostères, la banque de graines présente dans le sédiment pourra éventuellement permettre une reprise de celui-ci). Sur les cinq pressions présentées dans le tableau, beaucoup vont avoir un impact fort sur cet habitat. Ce n'est pas toujours le cas, certaines pressions pouvant avoir un impact plus ou moins important, voire dans certains cas, favoriser certains services.

Tableau 5

Exemple de 5 pressions et impacts exercés sur les différents services écosystémiques des habitats des petits fonds côtiers suivant un gradient d'enjeu allant de très fort (noir) à faible (jaune) voire nul (gris).

Exemple des herbiers, pour une partie des pressions recensées.

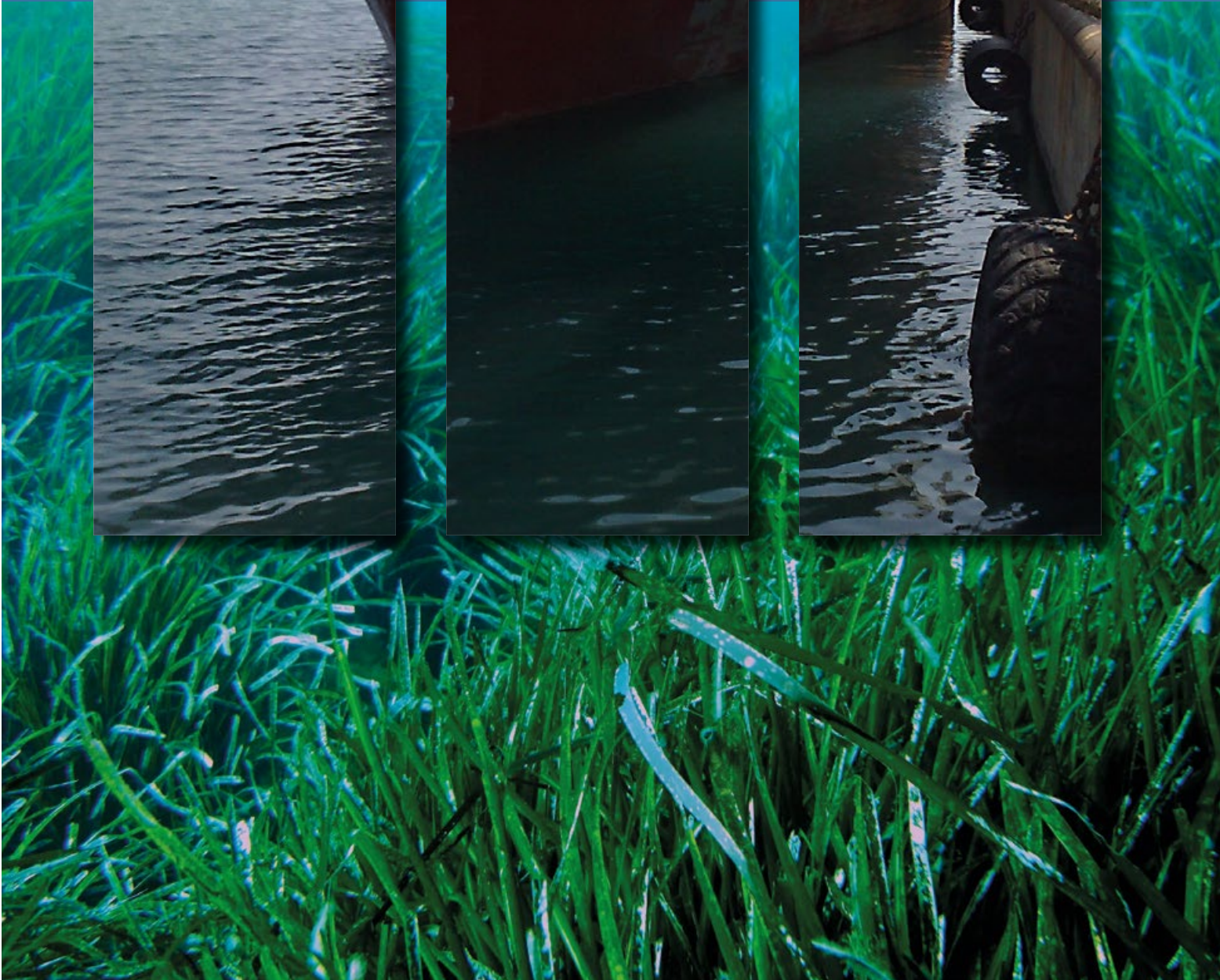
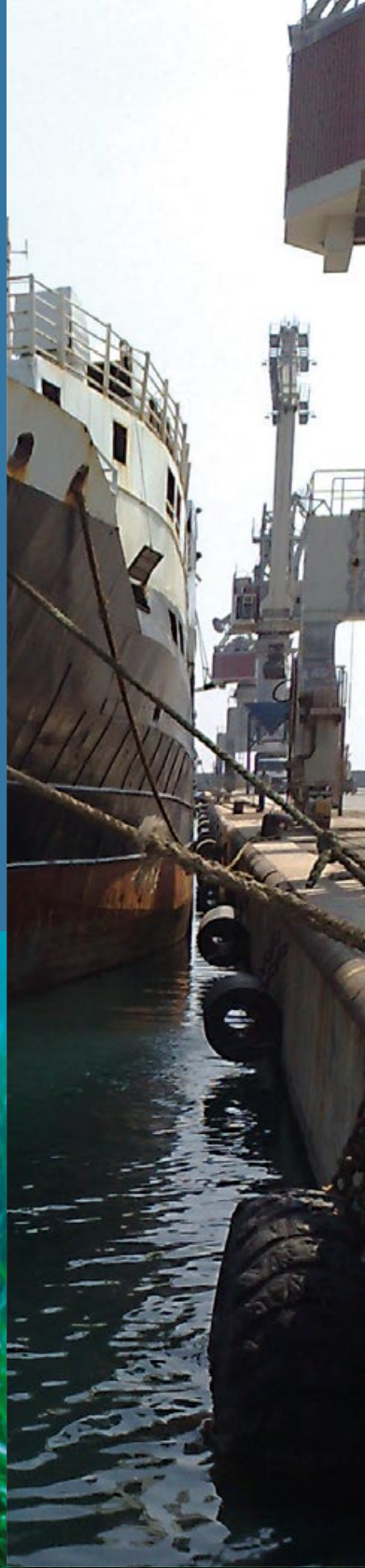
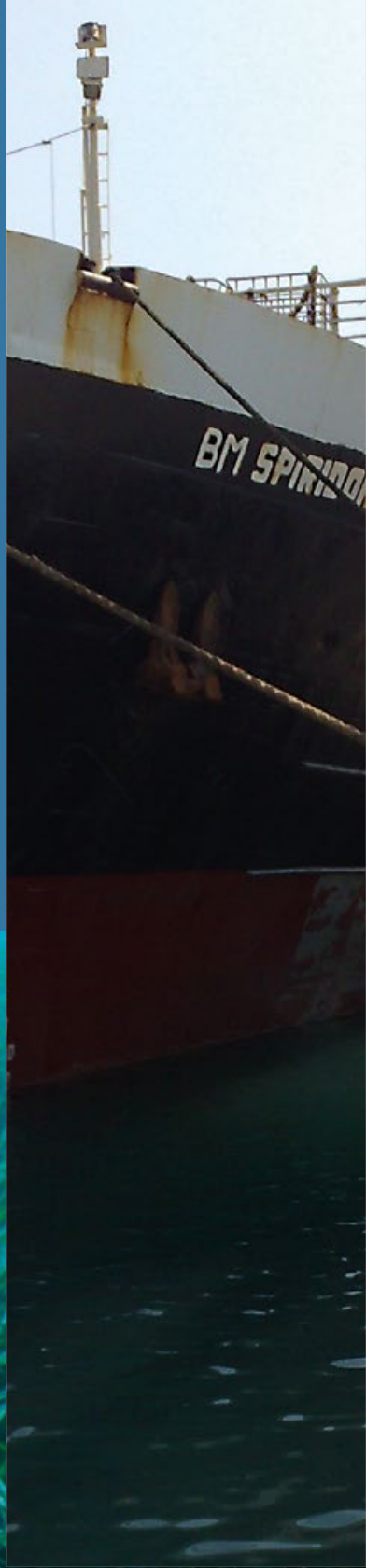
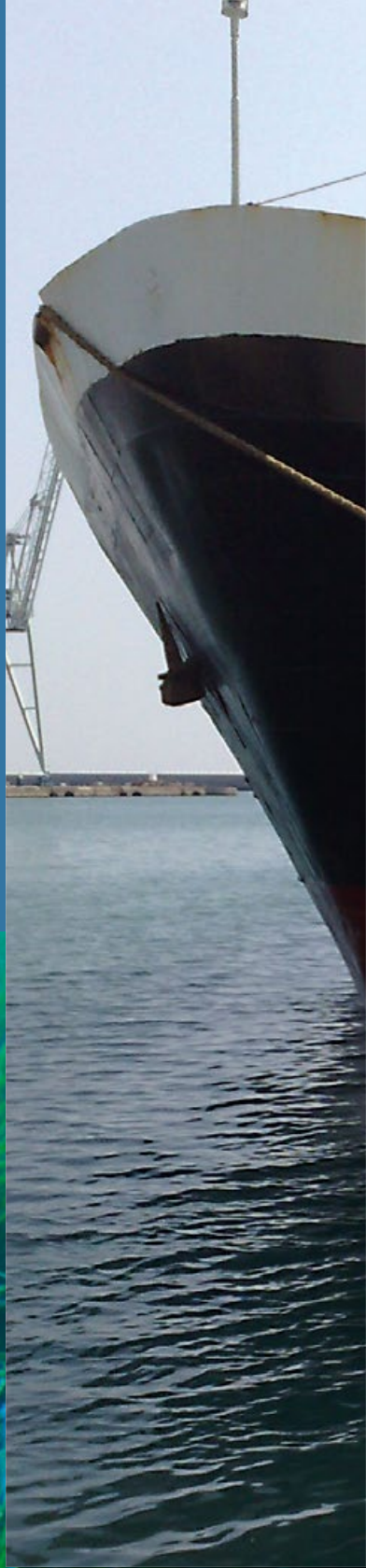


Chapitre 3

L'action de l'Homme sur les petits fonds côtiers : pressions, impacts et enjeux

> A RETENIR

La prise en compte des pressions et leurs impacts, ...	<i>Pour évaluer les impacts anthropiques, il faut identifier les différentes causes et moteurs de ces impacts, ainsi que leurs conséquences. Le modèle DPSIR (Forces motrices, Pression, Situation, Impact, Réponse) est une méthode d'étude reposant sur l'analyse des relations entre des facteurs qui ont une incidence sur l'environnement, selon une logique de causalité.</i>
... ainsi que les risques encourus ...	<i>Afin de définir la notion de risque, il faut prendre en compte deux critères : un événement (pollution, catastrophe naturelle...), défini par sa localisation et son intensité, ainsi que les éléments exposés à ce risque et qui lui sont vulnérables (population halieutique, habitats...). La probabilité que cet événement survienne est nommée aléa.</i>
... par les petits fonds côtiers ...	<i>Les petits fonds côtiers assurant l'interface terre/mer sont très sensibles aux pressions issues de ces deux milieux et sont soumis à de nombreux risques de dégradation. L'origine des impacts peut être locale ou non, et les causes uniques ou multiples. La gestion de ces impacts est rendue complexe lorsque les causes sont multiples et les conséquences difficiles à évaluer d'autant que les impacts de ces pressions se cumulent.</i>
... permet de déterminer les enjeux pesant sur chaque habitat.	<i>Le croisement des données Pressions/Impacts avec les SE pourrait permettre au gestionnaire d'identifier les enjeux, leur importance et leur niveau de réversibilité. Chaque habitat possède un niveau de sensibilité particulier en fonction des types de pression qu'il subit et de leur intensité. Par ailleurs, certaines pressions sont spécifiques à certains habitats.</i>



Une solution apportée par l'Homme : la restauration écologique

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, les écosystèmes côtiers sont soumis depuis de nombreuses années à de fortes pressions ayant de lourds enjeux et conséquences, au vu de leur importance au niveau écologique, mais aussi en termes de services rendus. A l'heure actuelle, la Société est donc contrainte d'agir, que ce soit de manière directe ou indirecte, pour protéger et maintenir les écosystèmes et leur partie vivante, sur lesquels reposent la survie et le bien-être de la société humaine.

Parmi les nombreuses mesures de gestion possibles, les premières à mettre en place sont la limitation des pressions et la non dégradation. La limitation des pressions s'appuie sur des efforts faits en amont pour réduire les impacts sur l'environnement. Cela passe notamment par des usages raisonnés de la ressource mais aussi par une réduction des pollutions. La non dégradation concerne la conservation de zones, souvent à fort intérêt environnemental, par le biais de la maîtrise des activités humaines, la création de réserves naturelles ou d'aires marines protégées, pour peu que la gestion soit effective.

Cependant, pour certains écosystèmes, sévèrement impactés depuis de nombreuses années, la mise en œuvre d'actions préventives de non dégradation ne suffit pas. L'action directe est nécessaire - même si elle reste conditionnée à la volonté et à l'intérêt d'agir. C'est à ce moment que l'on parle de restauration écologique. Ce terme, bien que souvent mal employé, définit dans son sens le plus général, le processus d'assister le rétablissement, la régénération ou l'auto-régénération d'un écosystème endommagé, dégradé ou détruit (SER, 2004). La mise en place de telles actions nécessite une bonne connaissance écologique et biologique, afin d'obtenir les résultats escomptés. Bien entendu, ce type d'actions ne doit être envisagé qu'après avoir limité les pressions et évalué le mode de gestion et d'usage, sans quoi tout effort de restauration serait vain. En d'autres termes, il faut identifier et dans la mesure du possible traiter les causes de la dégradation, et pas seulement les symptômes.

1. La trajectoire d'un écosystème

a. Dynamique d'un écosystème sous influence naturelle et anthropique

Tous les **écosystèmes** connaissent, au fil du temps, une certaine variabilité (figure 21). Ainsi, la **trajectoire** que suit un **écosystème** (courbe bleue) est constamment modifiée par des **perturbations « naturelles »** (en bleu foncé). Suivant la **résistance** de l'écosystème, les bouleversements et impacts

négatifs seront plus ou moins importants, et en fonction de sa **résilience**, le rétablissement se fera plus ou moins bien et sur une durée plus ou moins longue. A l'heure actuelle, peu d'**écosystèmes** restent uniquement impactés par des perturbations naturelles. Les pressions anthropiques (en orange) s'ajoutent de plus en plus aux perturbations naturelles et impactent de plus en plus les écosystèmes. Lorsqu'elles s'accumulent de façon trop importante, ou sur une durée trop longue, chaque écosystème risque de perdre sa capacité d'**auto-régénération** et de se **transformer** (courbe rouge). Au-delà d'un **seuil** (zone grise), et même si les pressions sont supprimées, il ne pourra pas revenir à sa **trajectoire antérieure** (voir Figure 22 p59). Lorsque la transformation est considérée comme ayant des conséquences négatives pour l'Homme et pour la résilience du système, on parle alors de **dégradation de l'écosystème**.

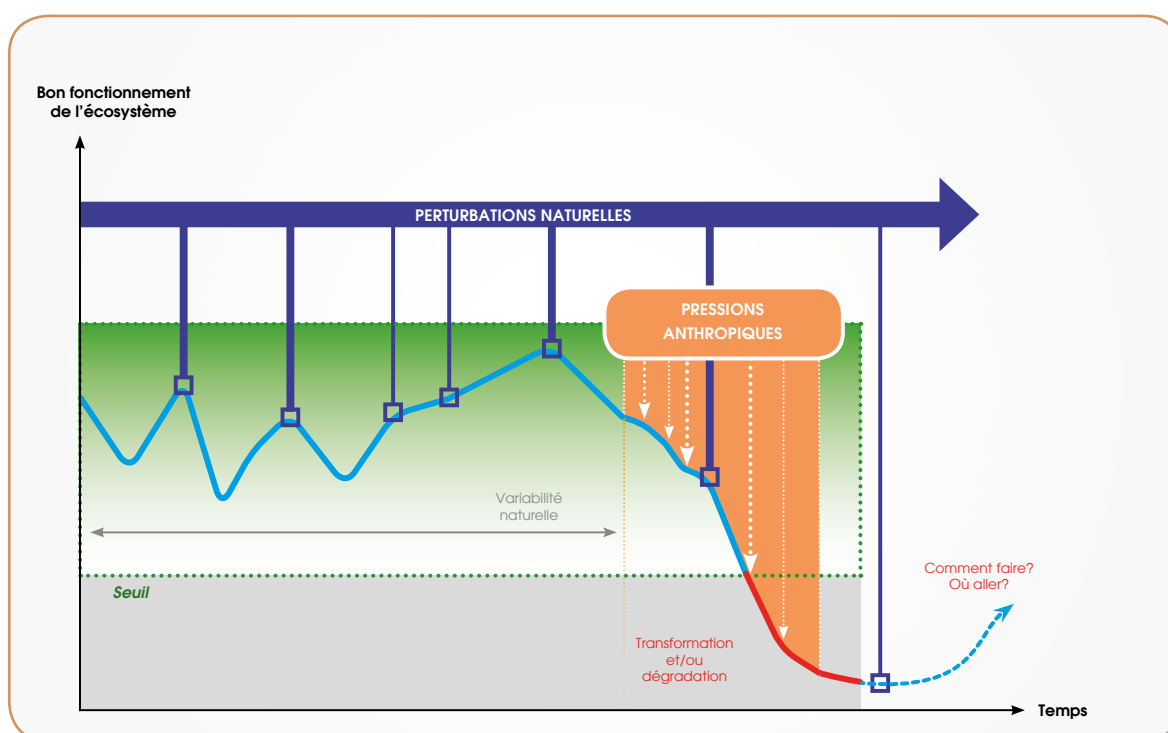


Figure 21
Dynamique d'un écosystème soumis à des régimes de perturbations naturelles et des pressions anthropiques ponctuelles ou régulières.

Dès lors, l'action de l'Homme est nécessaire pour que le milieu retrouve une trajectoire acceptable (en pointillés bleus). Comme nous l'avons vu précédemment, si les mesures de gestion et de protection ne suffisent pas pour retrouver une trajectoire acceptable, il est nécessaire d'agir directement sur l'écosystème, afin de l'assister dans son retour vers un état acceptable. Dans ce cas, il faut savoir vers quel état et trajectoire on souhaite mener l'écosystème. Il convient donc, avant toute chose, de choisir ou de construire, à partir d'informations de sources variées, un écosystème de référence pour orienter le travail de restauration. Il faut rester réaliste sur le fait que, quelle que soit la référence choisie, on ne pourra jamais revenir en arrière, mais seulement aider l'écosystème cible à retrouver un état et une trajectoire qui s'approchent de ceux de l'écosystème de référence.

b. L'écosystème de référence

L'écosystème de référence est défini par Aronson *et al.* (1993a,b); Le Floc'h *et al.* (1995) et SER (2004) comme une approximation de l'état souhaitable, une norme choisie parmi plusieurs états alternatifs possibles et accessibles par une succession d'étapes appelées trajectoires. L'écosystème de référence va donc être l'objectif final vers lequel on souhaite tendre.

Ne pas confondre : l'Ecosystème de référence - utilisé dans le cadre d'opération de restauration (qui est une référence intrinsèque à l'écosystème dégradé définie dans l'histoire plus ou moins récente de cet écosystème) et l'Etat de référence d'une masse d'eau tel que défini dans la Directive Cadre sur l'Eau (qui est lié à des objectifs chimiques ou quantitatifs de « bon état écologique ») et dont la norme est généralement fixée par rapport à un écosystème type. Le « bon état écologique » d'une masse d'eau est atteint quand l'état biologique et l'état chimique correspondent aux seuils définis pour ce type de masse d'eau.

Comment choisir ou construire une référence ?

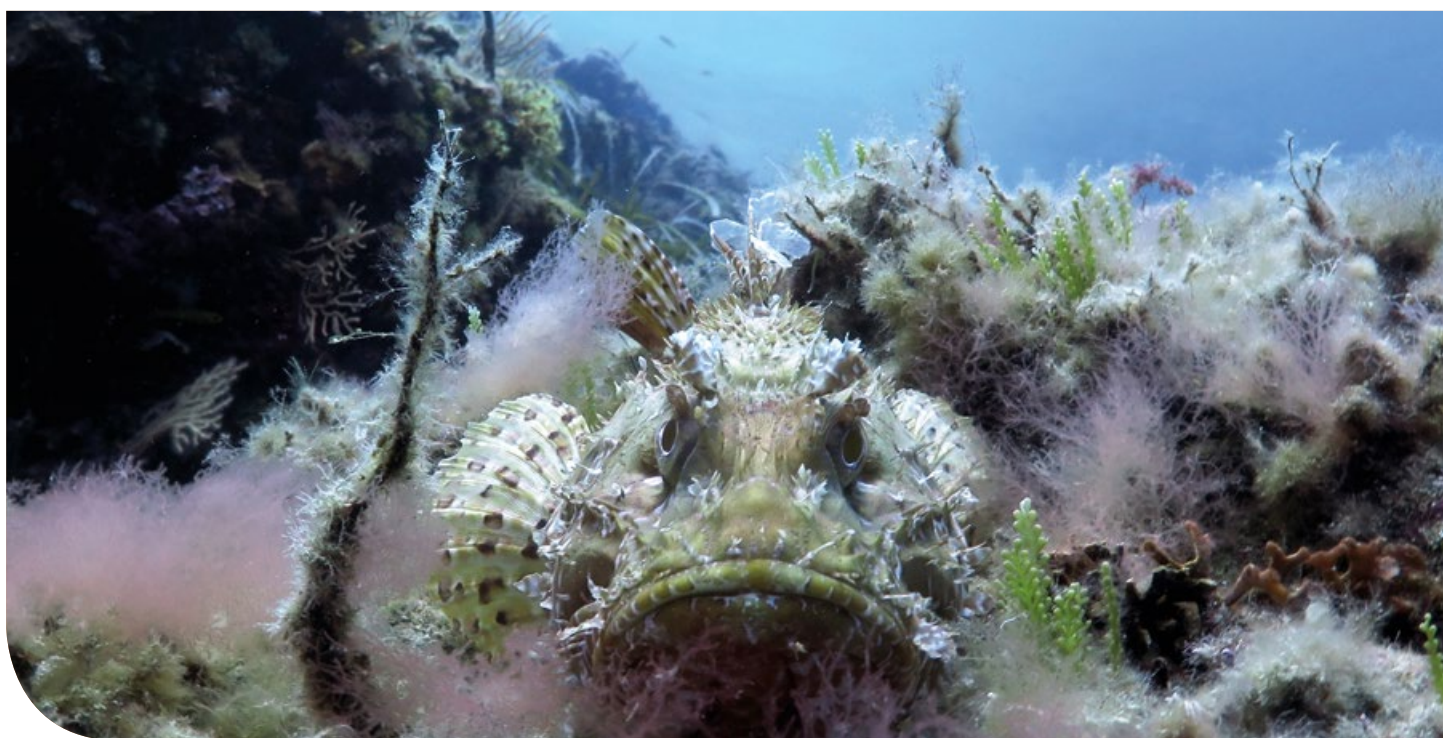
Elle peut être difficile à déterminer, puisqu'elle représente un choix parmi une multitude d'options possibles (Clewel et Aronson, 2010). La référence est donc subjective mais nécessaire à une opération de restauration écologique. Toutefois, cette référence doit être clairement définie ou construite, et être adaptée au projet. Pour la déterminer, il est possible d'utiliser différentes sources (White et Walker 1997). Ces sources dépendent d'une localisation à la fois dans l'espace : *va-t-on utiliser l'écosystème in situ ou un autre ex situ comme référence ?*, et dans le temps : *utilise-t-on cet écosystème tel qu'il est actuellement ou tel qu'il était il y a X années ? Dans quelle mesure va-t-on mélanger les informations de sources variées, et comment les mélanger ?*

A partir de ces différentes questions, il est possible de choisir ou d'élaborer un écosystème de référence (appelé aussi référence). La plupart du temps, cette référence ne sera pas un écosystème précis en soi, mais un mélange entre plusieurs écosystèmes. Rappelons qu'en l'absence d'un écosystème de référence contemporain et à proximité qui soit plus ou moins intact (en bon état de santé), aucun choix ne sera meilleur qu'un autre. A partir du moment où il correspond à l'objectif (réaliste) vers lequel on souhaite tendre, le choix historique ou la construction d'une référence composite, aussi subjective soit-elle, peut être légitime (Aronson *et al.*, 1995). Il convient toutefois de bien noter que le retour ou l'approximation à l'identique par rapport à l'écosystème de référence est en principe impossible à obtenir. La restauration écologique, tout comme la réhabilitation, se sert de l'écosystème de référence pour orienter les travaux qui, de fait, visent une amélioration significative et durable en termes de biodiversité et de fonctionnement de l'écosystème ciblé, et non pas un retour à l'état antérieur, surtout si cet état antérieur reste sujet à des impacts et des pressions nuisibles, qui l'ont altéré défavorablement au cours du temps.

Quelques critères à prendre en compte

Pour répondre aux questions ci-dessus, les premiers critères pris en compte seront, entre autres, la complexité de l'écosystème que l'on souhaite utiliser comme référence, et la qualité et quantité des biens et services rendus. Toutefois, il est important de se focaliser sur un choix réaliste autant d'un point de vue écologique (certains états même transformés sont tout à fait acceptables), qu'économique et social. En effet, la gestion, les coûts, la difficulté du projet, l'acceptabilité par la population sont autant de critères à prendre en compte pour déterminer un **écosystème** de référence.

Dans tous les cas, la référence doit être quantifiable en termes de plusieurs attributs bien choisis (SER, 2004) pour permettre de savoir si l'on atteint nos objectifs, à quelle vitesse et avec quelle efficacité.



Chapon (*Scorpanea scrofa*)

Evolution d'une référence

Une référence est unique à chaque projet. Il n'est donc pas possible de donner ici des références types ou prédéfinies. De plus, la référence n'est pas figée dans le temps, elle peut tout à fait évoluer, en particulier si l'objectif du projet se modifie ou si l'on se rend compte que le choix de départ n'était pas idéal. En outre, il est tout à fait possible de choisir des références intermédiaires, entre l'état actuel et la référence finale souhaitée. Cette approche, dite de références séquentielles (Clewel et Aronson 2010 ; Aronson *et al.*, 2012), permet de se donner des objectifs réalisables dans un laps de temps acceptable et de suivre de manière plus fine l'avancement et les résultats du projet de restauration.

2. Les différentes possibilités d'action pour remettre un site ou un écosystème sur une trajectoire souhaitable

> Séquence Eviter Réduire Compenser

Tout projet susceptible d'avoir un impact sur la biodiversité doit s'appuyer sur la séquence ERC - Eviter, Réduire, Compenser (loi sur la protection de la nature 1976), qui a été renforcée par la doctrine d'Etat (MEDDE, 2012).

Une mesure compensatoire est une action écologique visant à restaurer ou recréer un écosystème naturel en contrepartie d'un dommage environnemental ou d'un dommage à la biodiversité provoqué par un projet ou prévu dans un document de planification (Morandeu & Vilysack, 2012).

Si un porteur de projet souhaite mettre en œuvre une opération volontaire pour atteindre un gain écologique, il peut également, mettre en place des actions de restauration écologique ou des actions d'accompagnement pour renforcer les fonctionnalités écologiques (réhabilitation, habitats artificiels, ...).

a. La restauration et la réhabilitation écologiques

Avant d'engager toute action, il est important de s'interroger sur les objectifs précis du projet. En fonction des buts à atteindre, des ressources disponibles, et des obstacles et pressions identifiés, le type d'actions ne sera pas le même. De la même façon, le choix de l'écosystème de référence que l'on souhaite comme modèle, ne sera pas le même. Pour cela il faut :

1 - déterminer les caractéristiques de la référence vers laquelle on souhaite tendre : est-elle issue de processus purement écologique et axée sur la valeur innée de l'écosystème, ou au contraire est-elle imprégnée de valeurs sociétales ?

2 - savoir si l'on souhaite reconstituer l'écosystème, tel qu'il a été à une période historique ou au contraire si l'on veut ou doit accepter de lui attribuer une configuration et une nouvelle gamme de fonctions qui reflètent la réalité socio-économique, démographique et culturelle du moment.

Cette réflexion, qui doit s'appuyer sur les questions précédentes, mais aussi sur les caractéristiques propres de chaque site et les priorités et contraintes des acteurs, est une phase primordiale dans tout projet, et va permettre de dérouler plus facilement le plan d'action par la suite (voir figure 22).

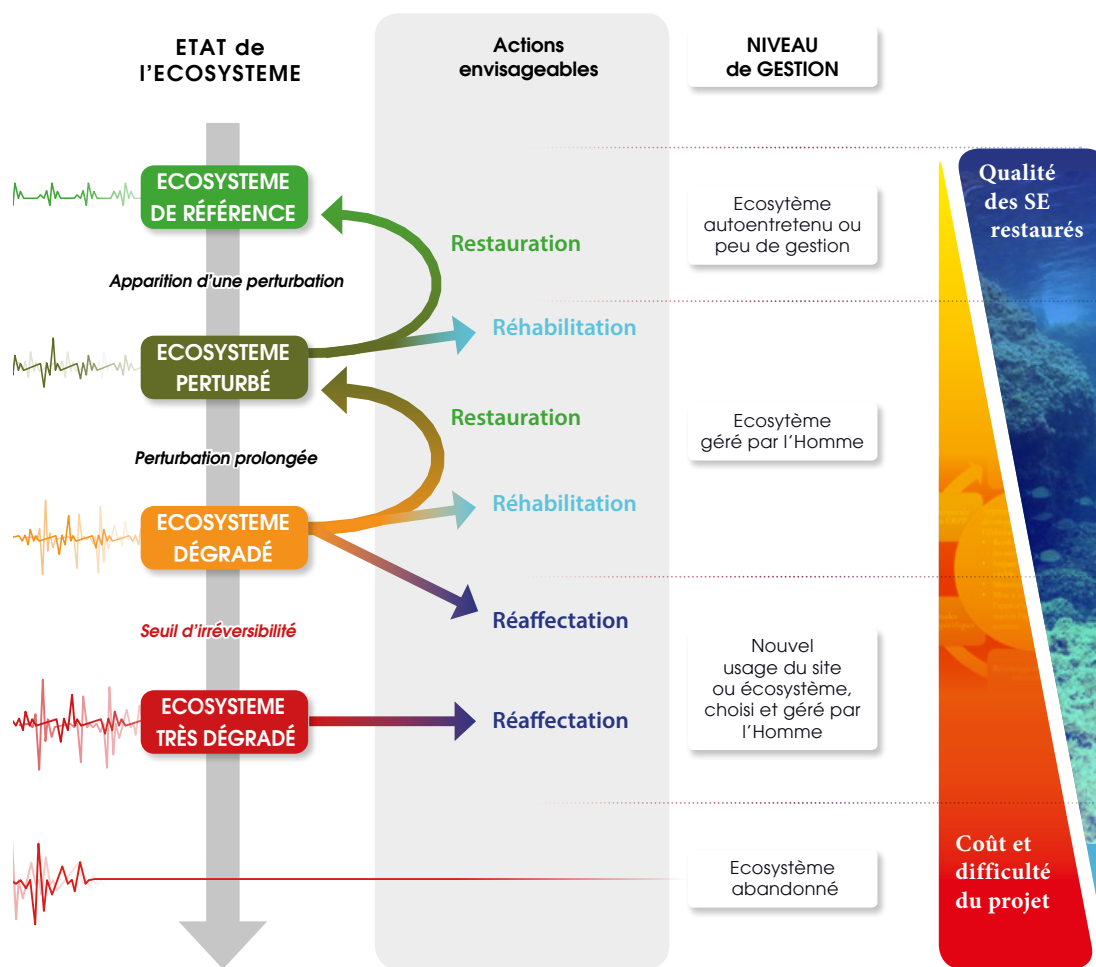


Figure 22

Les trois types de réponses/actions possibles suite à une dégradation d'un ou plusieurs écosystèmes, les niveaux de gestion nécessaire et les objectifs correspondants. La notion de seuil d'irréversibilité est parfois théorique et de toute façon difficile à préciser sur le terrain.

Modifié d'après Aronson *et al.*, 2007



| Petits fonds rocheux

Les actions de restauration et de réhabilitation écologiques ne peuvent s'appliquer que si l'écosystème n'a pas atteint son seuil d'irréversibilité. Deux possibilités d'actions existent alors :

> **La restauration écologique** va considérer l'**écosystème** dans son intégralité. L'objectif sera de réparer toutes les composantes du milieu, toutes les **fonctions** et tous les services rendus par l'écosystème. On s'intéressera aussi bien à rétablir l'intégrité biotique préexistante que les aspects physiques, chimiques, hydrologiques et géomorphologiques de l'habitat. Ce type d'action représente le cas idéal : en considérant l'écosystème dans son ensemble, on aspire à approcher au plus près de l'écosystème de référence. Cependant, c'est aussi la mesure la plus difficile à réaliser car elle nécessite de prendre en compte un grand nombre d'attributs dont certains sont mal connus (ex. ceux liés aux processus fondamentaux de l'écosystème). Cependant, à moyen ou long terme, ce type d'action est censé aider à récupérer la plus grande diversité et qualité de services écosystémiques rendus, et ne nécessitera que peu, voire pas de gestion par la suite (**auto régénération** atteinte), si les pressions nuisibles ont été supprimées.



> Graines de mer

Graines de mer est un pilote de restauration écologique faisant appel au génie végétal, visant à mettre au point les procédures de transplantation de plantes à fleurs (magnoliophytes) marines telles que la Posidonie en mer et la Zostère en lagune. SM² Solutions Marines a réalisé de 2011 à 2014 le ramassage autorisé de graines sur les plages, la culture dans une pépinière marine unique, la transplantation des plantules puis le suivi sur le site Natura 2000 languedocien « les posidonies de la côte palavasienne ».

Figure 23 - Photographies de transplants d'herbier de Posidonie.



Projet financé par l'Agence de l'Eau RMC et la Ville de La Grande Motte.

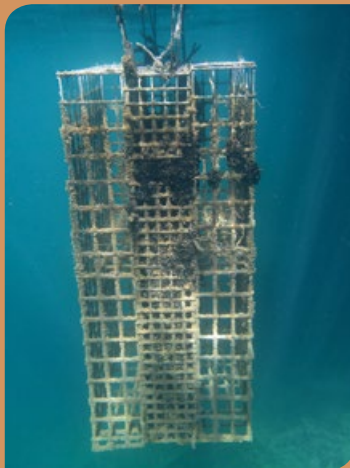
> **La réhabilitation** s'appuie elle aussi sur un écosystème de référence, mais où seulement un certain nombre d'attributs et de services sont visés. Cela peut être une ou des **fonctions** que l'on souhaite retrouver, un service particulier ou encore l'habitat de certaines espèces et le renforcement de leurs populations. L'objectif est souvent de retrouver une certaine productivité de l'écosystème. Cette approche, en général, est plus anthropocentrique que la restauration écologique, et ne nécessitera pas forcément de supprimer entièrement la (ou les) pression(s) responsable(s), ni toutes

les dégradations observées. C'est un bon compromis entre la restauration écologique et l'absence d'action, principalement lorsque le milieu est très perturbé voire dégradé, et qu'il serait trop compliqué et trop coûteux à court terme d'effectuer des actions de restauration. Cependant, le milieu demandera une gestion ou une maintenance un peu plus développée que dans le cas d'un écosystème restauré. Par abus de langage, on appelle couramment les actions de réhabilitation, actions de restauration. Il est vrai, pourtant, que la réhabilitation peut très bien être envisagée et abordée en tant qu'étape préliminaire ou intermédiaire sur une trajectoire de restauration à long terme.



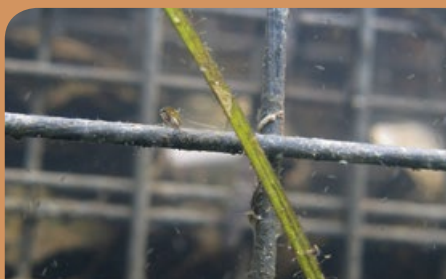
> Le programme NAPPEX Nurseries Artificielles Pour des Ports Exemplaires

Figures 24



a - Biohut® installé sous un ponton

Ce programme visait à corriger, en zones portuaires, la disparition des nurseries côtières par la mise en place d'habitats artificiels (de type Biohut® quai ou ponton). Ce procédé tend à recouvrer la fonction écologique de nurserie, en protégeant les post-larves et les juvéniles de la prédation. Elles peuvent ainsi grandir à l'abri des prédateurs tout en s'alimentant grâce à la faune / flore fixée, présente en abondance. Ce procédé représente une solution innovante pour les ports dans le but de contribuer au bon état écologique et à la biodiversité de leur environnement. Six ports ont participé au programme NAPPEX : Port Vendres (66), le Barcarès (66), Vendres (34), Agde (34), Mèze (34), et Six-Fours (83). Les résultats encourageants, publiés dans Bouchoucha et al. (2016) sont disponibles sur le site www.nappex.fr.



b - jeune recrue de Blennie posée sur un Biohut® quai (20 mm)



c - juvénile de Mérérou (70mm, nouvellement installé)

Le projet est porté par la société Ecocean, en partenariat avec le CREM (Centre de Recherche sur les Ecosystèmes Marins appartenant au Laboratoire CEFREM – UMR 5110 CNRS/UPVD). Ce projet entre dans le cadre de l'appel à projet lancé en 2011 par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement dans le cadre de la mise en œuvre de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité (SNB) 2011-2020. Le projet Nappex appartient à l'axe «Projets innovants dans le domaine de l'ingénierie écologique» dans son volet 2 : Développement de techniques innovantes de restauration écologique de milieux littoraux et marins. Il est labellisé par le Pôle Mer et co-financé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, le Conseil Départemental de l'Hérault et le Ministère en charge de l'écologie.

b. Autres moyens d'action

Dans le cas où un écosystème est trop fortement dégradé, il n'est parfois plus possible de le faire revenir sur une trajectoire acceptable. La restauration n'est alors plus envisageable. Dans ce cas, deux cas de figures peuvent se présenter :

> **La réaffectation.** Cette action ne va pas se baser sur une référence, mais sur un besoin sociétal. La dégradation de l'écosystème étant trop importante, on peut choisir de le modifier, afin de l'utiliser à d'autres fins que celles prévues initialement (voir exemple ci-dessous). Cette action est plus facile à mettre en œuvre et sera souvent moins coûteuse mais la qualité et la diversité des services rendus seront beaucoup plus faibles. De plus, la gestion nécessaire au maintien de ce type d'écosystème est en général beaucoup plus importante. Dans certains cas, plutôt rares, la réaffectation peut également être considérée comme une étape intermédiaire sur une trajectoire de restauration.

> **L'abandon de l'écosystème.** Lorsque celui-ci a dépassé le seuil d'irréversibilité, on le considère comme détruit.

> Exemple de réaffectation :

les bassins de lagunage de la ville de Nador (Maroc)

Figure 25 - La lagune de Nador



a - en 2008, servant de zones de traitement des eaux usées



b - en 2014, après réaffectation de la zone en parc ornithologique.

Ces bassins, construits directement dans la lagune (Figure 25a), ont été utilisés pendant de nombreuses années pour le traitement des eaux usées de la ville de Nador. Une fois la nouvelle station d'épuration construite (2011), ils ont été abandonnés et non entretenus. Les contraintes techniques (destruction des bassins, évacuation et traitement des boues résiduelles et des gravats, ...), les coûts d'une remise en état du milieu et la demande sociale, dans le cadre d'aménagements touristiques globaux de la zone ont incité les autorités locales à réaffecter cet espace en parc ornithologique. Cette opération, peu coûteuse, a nécessité le remblaiement des bassins et leur végétalisation (Figure 25b).

Pour résumer, quel que soit le but et l'écosystème de référence, il est nécessaire de prendre en compte aussi bien les difficultés techniques et écologiques, que les coûts et les moyens à mettre en œuvre autant pour rétablir l'écosystème que pour le maintenir dans l'état souhaité.

3. Moyens et coûts à prendre en considération

a. Les moyens

L'**ingénierie écologique** utilise des moyens pour réaliser des actions de restauration, de réhabilitation, ou de réaffectation (Figure 26). C'est un ensemble de techniques de restauration considérées comme actives car elles regroupent l'ensemble des actions dirigées par l'Homme pour permettre de rétablir le bon état écologique d'un écosystème. L'**ingénierie** et le **génie écologique**, même s'ils sont liés, sont bien distincts l'un de l'autre. Le génie écologique représente l'ensemble des connaissances techniques et scientifiques permettant d'assister la régénération d'un écosystème. L'ingénierie quant à elle va permettre de concevoir les modalités d'actions à réaliser pour atteindre les objectifs. Pour cela, elle se base sur un ou plusieurs champs scientifiques et techniques diversifiés.

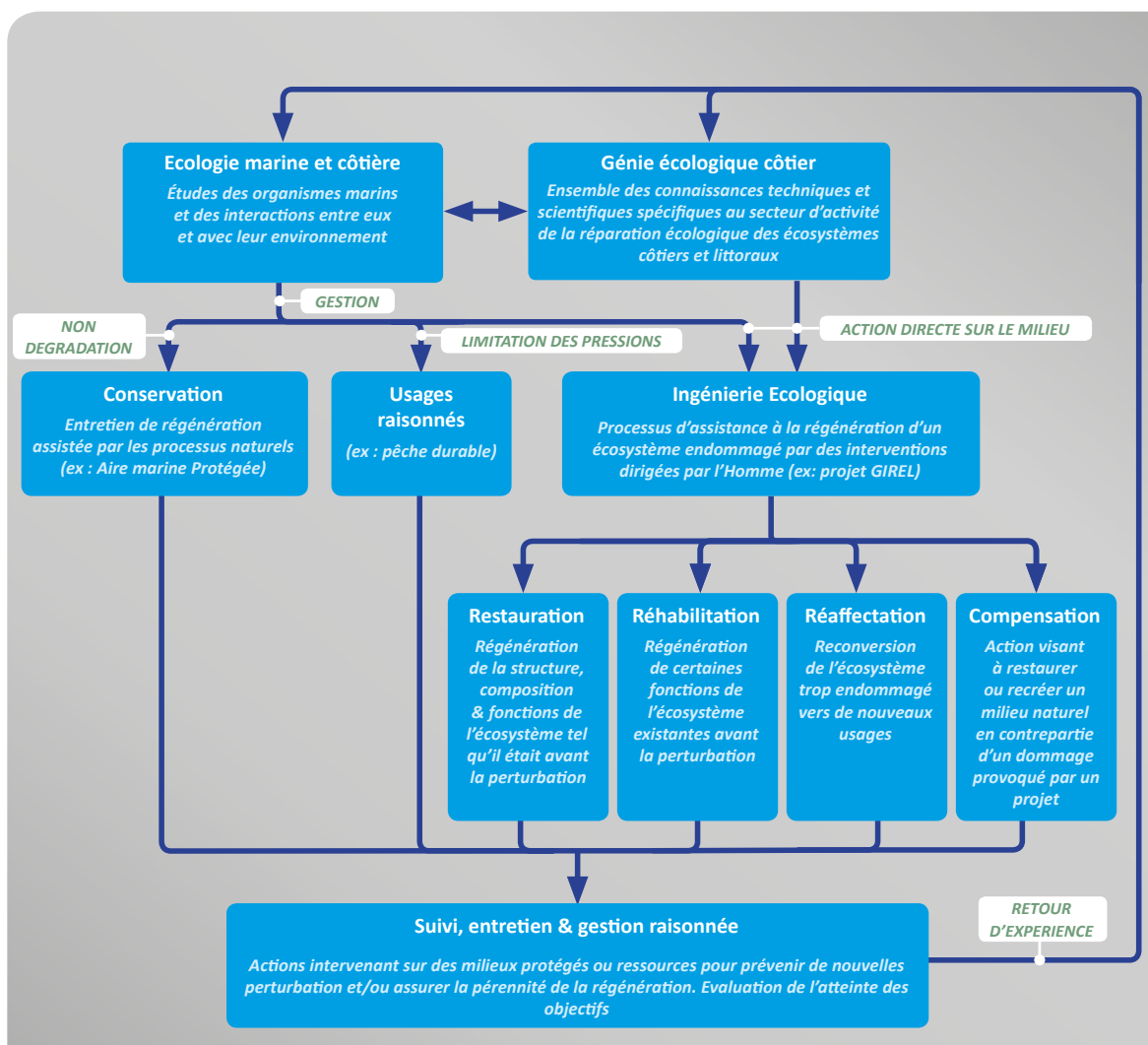


Figure 26 - Définition et logigramme des interventions sur les milieux côtiers

Dans une démarche de restauration écologique, le maître d'ouvrage, après s'être assuré que les pressions à l'origine de la dégradation ont été maîtrisées, a besoin d'identifier plusieurs critères pour savoir comment restaurer :

- 1 - La zone à restaurer doit être bien délimitée et les actions de restauration à réaliser doivent être cohérentes avec les outils de restauration actuels (il est pour l'instant, par exemple, très difficile techniquement, long et coûteux de reconstituer des hectares d'herbiers ou de coralligène).
- 2 - L'état de dégradation de l'**écosystème** doit être précisément évalué car il va déterminer le type d'actions à mettre en œuvre et permettra de suivre le succès des mesures mises en œuvre.
- 3 - De cet état vont aussi découler la qualité et la diversité des services écosystémiques rendus par l'écosystème impacté.
- 4 - Les enjeux sur cette zone doivent également être pris en compte, avec leur niveau d'importance,
- 5 - Le ou les bénéficiaire(s) des actions de restauration mises en place seront clairement identifiés, et toutes les parties prenantes concernées par les actions de restauration doivent être contactées et incluses dans les discussions dès le départ.
- 6 - De même le montage financier doit être finalisé: 100% public, 100% privé, X% public/Y% privé. Cette question se posera à la fois pour les actions de restauration, réhabilitation ou réaffectation, et pour la gestion de l'écosystème traité sur le long terme.

b. Les coûts

Le coût d'un projet reste un facteur essentiel à sa mise en place. Si celui-ci est estimé être plus important que la valeur du bénéfice du SE restauré, cela peut être un frein au projet. Des discussions peuvent être toutefois envisagées car il n'existe actuellement aucun calcul coût-avantage précis pour les travaux de restauration en milieu marin. De plus, il faut aussi prendre en compte le coût de l'inaction.

Au-delà de la volonté des acteurs et de leur mobilisation, c'est le croisement de plusieurs critères et donc les compromis réalisés qui vont déterminer le type de projet à effectuer (restauration, réhabilitation, réaffectation, pas d'intervention), le niveau de difficulté et de coût.

Exemple 1 : construction d'un parking empiétant sur le milieu marin

Dans cet exemple (Figure 27), différentes variantes d'aménagement peuvent être proposées n'ayant pas toutes ni les mêmes conséquences environnementales, ni le même coût :

> un comblement : moins onéreux, mais totalement destructeur d'un point de vue environnemental. En plus de ne pas respecter la notion d'évitement, ce type de projet induit une obligation de compenser la dégradation pouvant parfois induire des coûts supplémentaires très importants rendant cette option moins intéressante que les autres,

> une construction sur pilotis : un peu plus onéreuse, mais permettant de conserver certains aspects de l'écosystème grâce à une réduction significative des impacts,

> un parking souterrain : très onéreux mais permettant de conserver l'écosystème dans son intégralité en limitant les coûts de compensation.

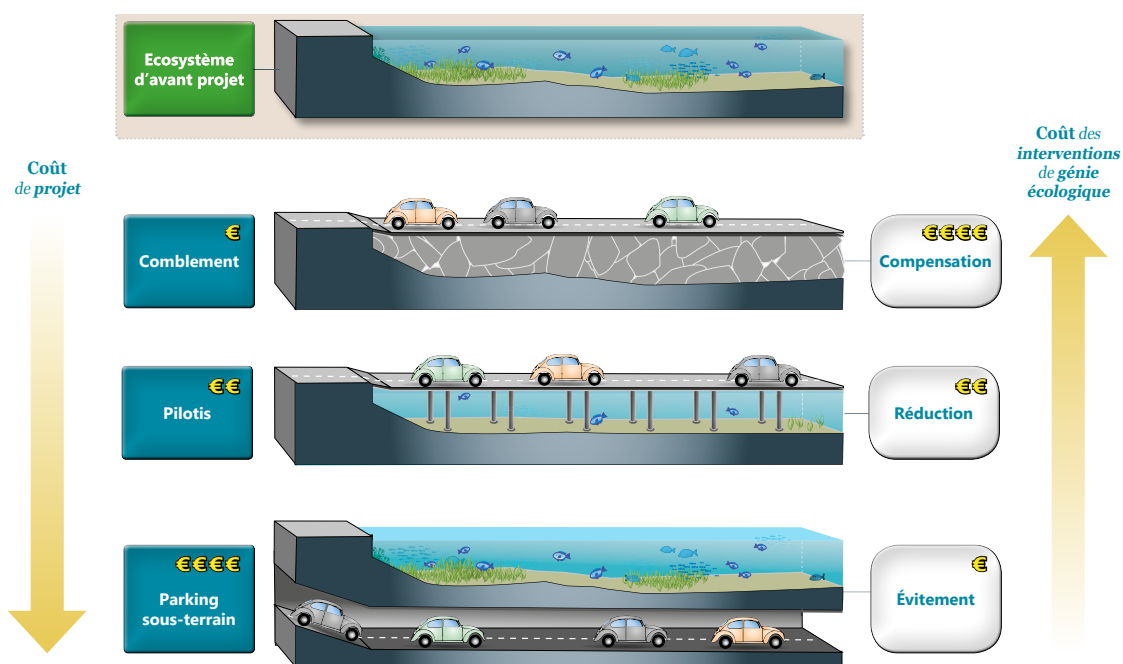


Figure 27 - Les différentes mesures réalisables dans le cas d'un projet d'aménagement empiétant sur le milieu marin.



Exemple 2 : Restauration d'un herbier marin

Les causes de dégradation d'un herbier peuvent être diffuses et/ou ponctuelles. Parmi les causes ponctuelles, nous pouvons considérer différents exemples de pression (ces 3 cas recouvrent la majorité des causes de destruction d'herbiers marins) :

- > destruction mécanique accidentelle : arrachage par les ancrs (plaisance et pêche professionnelle),
- > accroissement de la turbidité (par exemple dans le cadre de pompage de sable pour un rechargement de cordon dunaire),
- > création d'un aménagement (digue) qui va détruire de façon programmée une surface déterminée d'herbier.

Une opération de restauration de cet herbier pour ce cas précité nécessite :

- > d'effectuer une étude initiale portant sur les biocénoses en présence, la granulométrie du sédiment, l'hydrodynamique de la zone, la période de l'année propice aux différentes phases de restauration, une cartographie de l'accès au site...,
- > d'avoir les autorisations de ramasser les graines et épaves de ces espèces protégées,
- > de collecter, transporter (logistique), stocker (banque de semence), cultiver (bacs, bassins, etc.) ces espèces protégées,
- > puis de transplanter ces espèces dans le milieu naturel et d'assurer un suivi.

Les coûts de ce type d'opération de restauration ne sont pas encore clairement stabilisés (car encore en phase de R&D). A titre d'exemple, la réparation en Méditerranée française de secteurs de l'herbier de Posidonies, « troué » par des ancrs marines, a nécessité l'utilisation de « patchs » qui limiteront l'agrandissement naturel (les rhizomes se déchaussent en effet par vortex (de proche en proche). Le montant est estimé aujourd'hui à environ à 1000€ le m² (hors monitoring additionnel, nécessaire pour le suivi de l'opération).



Afin de préciser la manière dont s'imbriquent toutes les notions développées dans cette première partie, plusieurs analogies avec le secteur médical peuvent être évoquées, telles que celles proposées dans le schéma ci-dessous (Figure 28).

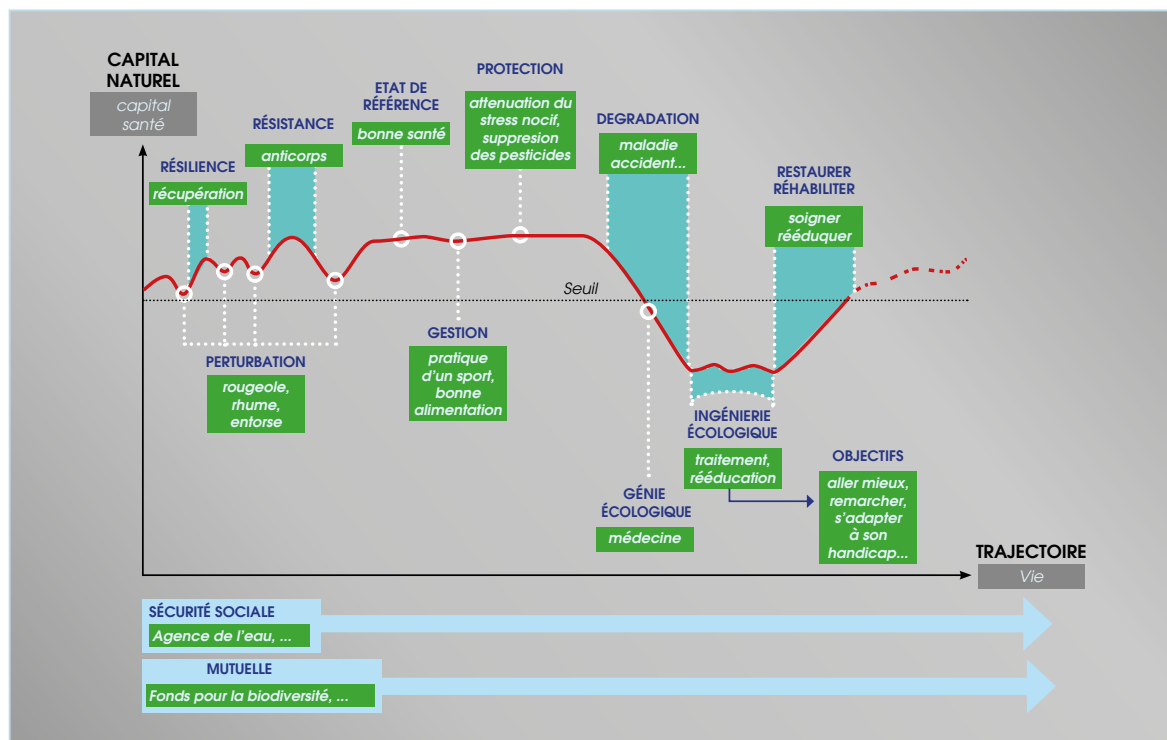


Figure 28 - Eléments de comparaison possibles entre la trajectoire d'un écosystème au cours du temps, et la vie d'un être humain. Les attributs et événements affectant le maintien voire la restauration du capital naturel inhérent à un écosystème sont représentés en noir, et les éléments ou phénomènes correspondants pour le maintien ou la restauration du « capital santé » d'un être humain sont présentés en vert. Nous soulignons que la définition précise d'un « seuil » est problématique dans les deux cas. Néanmoins le concept est utile en écologie de la restauration et en médecine. Il s'agit dans les deux cas d'un niveau de perturbation au-delà desquels un écosystème (ou l'individu) bascule dans un nouvel état ou commence une nouvelle trajectoire – dégradation de l'écosystème ou maladie chronique pour le patient humain.

Chapitre 4

Une solution apportée par l'Homme : la restauration écologique

> A RETENIR

L'augmentation des pressions anthropiques ...	<i>Chaque écosystème subit des perturbations naturelles auxquelles s'ajoutent très souvent des pressions anthropiques. Lorsque celles-ci deviennent trop importantes, la trajectoire naturelle de l'écosystème peut être modifiée.</i>
... rend nécessaire l'action de l'Homme ...	<i>Dans certains cas - notamment lorsque la protection ou la gestion ne semblent plus suffisantes - l'homme peut agir sur un écosystème en le réorientant vers une trajectoire acceptable. En fonction de la nature et des objectifs du projet (notamment l'écosystème de référence vers lequel on souhaite tendre dans le cadre de restauration ou réhabilitation), différentes options sont possibles.</i>
... par le biais d'actions de restauration, ...	<i>La restauration écologique va considérer l'écosystème dans son intégralité. L'objectif sera de récupérer toutes les composantes de l'écosystème historique, c'est-à-dire, la structure, la fonctionnalité, et tous les services rendus par l'écosystème.</i>
... de réhabilitation, ...	<i>La réhabilitation vise à récupérer en priorité seulement certaines caractéristiques de la fonctionnalité de l'écosystème avant perturbation. L'objectif est souvent de retrouver une certaine productivité voire un certain type de service écosystémique. Par abus de langage, on appelle couramment les actions de réhabilitation, actions de restauration.</i>
... ou de réaffectation, ...	<i>La réaffectation est souvent mise en place lorsqu'un milieu est très fortement transformé ou dégradé, et que l'on considère que le(s) écosystème(s) sur place ne peuvent plus ou très difficilement revenir sur leurs trajectoires avant perturbation. On peut choisir alors de faire abstraction de l'histoire du milieu pour l'utiliser à d'autres fins.</i>
... présentant différentes contraintes techniques et financières.	<i>Quel que soit le but d'un projet, il est nécessaire de prendre en compte aussi bien les difficultés techniques et écologiques, que les coûts et les moyens à mettre en œuvre autant pour restaurer, réhabiliter ou réaffecter un écosystème, que pour le maintenir dans l'état souhaité (gestion). Quel que soit le mode d'action choisi, la réalisation technique s'appuiera sur le génie et l'ingénierie écologique.</i>





Partie 2

**La restauration au service de la
Société de demain ?**

1. Pourquoi réaliser maintenant des actions de restauration ?

Les efforts consentis au cours des vingt dernières années en matière de lutte contre la pollution domestique et industrielle ont permis d'améliorer de façon significative la qualité des eaux du littoral méditerranéen. Dans le même laps de temps, la demande sociale en bonne qualité du milieu marin tout comme les obligations réglementaires européennes et nationales ont petit à petit évolué pour passer de la « simple protection » de l'eau à la prise en compte de l'écosystème proprement dit.

De nos jours, il ne suffit plus d'avoir une bonne qualité des eaux propice aux activités balnéaires. Il convient aussi d'y trouver des poissons qui se reproduisent, des algues, un herbier de posidonie en bonne santé et ... aucun déchet.

La situation sur le littoral méditerranéen est très contrastée. On y trouve des zones rocheuses accores, des étendues de sable, des zones urbaines, des grandes agglomérations, des zones portuaires ou bien de rares secteurs peu ou pas aménagés. Les activités littorales tout comme la pression démographique ne cessent de s'y accroître. Les atteintes que cela induit sur cette interface fragile évoluent aussi, gagnant parfois en complexité.



Figure 29 - Port de La Ciotat

Les zones portuaires sont des secteurs géographiques du littoral qui présentent bien souvent des altérations de la qualité environnementale.

Elles ont aussi contribué de part leur construction à la destruction de petits fonds côtiers propices à l'équilibre écologique.

Les réponses apportées par la réglementation et la mise en œuvre locale de politique de gestion permettent d'anticiper et de gérer, parfois difficilement, ces enjeux écologiques. La diminution à la source de la pollution est devenue un acte commun de nature à nous prémunir de grosses dégradations à venir. Toutefois, la réhabilitation des secteurs déjà dégradés ou la prise en compte des pressions émergentes - dont font parties les activités aquatiques (pêche, plongée sous-marine, plaisance,...) - est une préoccupation plus récente pour laquelle il convient de dégager des méthodologies et des stratégies d'action.

a. Un contexte réglementaire actuel favorable à la protection de la mer

Si l'effort des politiques publiques a porté ces dernières décennies sur la réduction des flux polluants, les dernières directives européennes, que cela soit la Directive Cadre sur l'Eau ou la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin nous demandent de revoir notre mode de travail. Il ne s'agit plus de mettre en œuvre des moyens administratifs, techniques ou financiers pour agir, il faut atteindre un objectif ambitieux à savoir le bon état écologique des eaux marines, de la côte au grand large. Ce « concept » n'est pas jugé totalement opérationnel. Il nous plonge cependant dans la notion d'obligation de résultats dans un calendrier figé avec des échéances pour 2015 ou 2021.

Pour autant, force est de constater qu'avec les deux autres axes de la politique de l'Europe en faveur des mers et des océans, à savoir Natura 2000 et la planification maritime spatiale, chaque pays doit définir une politique en adéquation et surtout la mettre en œuvre. Cette politique passe forcément par 3 axes complémentaires :

- > la lutte contre les pollutions qui reste un élément structurant et d'actualité malgré les efforts consentis ces dernières années notamment en matière d'équipement de stations d'épuration. Il convient maintenant de gérer le temps de pluie et les apports des cours d'eau côtiers avec plus d'ambition que les années précédentes ;
- > la non dégradation qui devient particulièrement importante. Si le milieu naturel n'est pas abîmé, il n'est, de fait, pas utile de le réparer. Cette notion est d'autant plus sensible pour les habitats marins que l'on ne sait pas encore de nos jours réparer, du moins à grande échelle et dans des laps de temps de court ou de moyen terme ;
- > la restauration écologique, nouvelle politique, dont le cadrage technique, administratif et financier est en cours.

b. Comment peut-on définir la « restauration écologique » ?

La partie 1 de ce guide montre toute la complexité de la notion de restauration. Pour un gestionnaire d'espace littoral, il n'est pas facile de se retrouver dans les notions de réaffectation, réhabilitation, restauration ou bien encore compensation. De fait, l'approche rigoureuse de la communauté scientifique ne trouve pas toujours un écho favorable dans la prise de décision locale. Pour un acteur local, deux notions méritent d'être bien distinguées : la restauration écologique et la compensation.

Le besoin d'une restauration répond au constat d'une dégradation. Comme il s'agit d'une restauration écologique, les enjeux sont bien sur la faune, la flore, les habitats et non pas sur la qualité de l'eau, même si, effectivement, la qualité de l'eau est une composante importante d'un **bon état écologique**. Il convient d'ailleurs de bien avoir à l'esprit que le préalable à une action de restauration écologique reste l'obtention d'une bonne qualité de l'eau.

Si le secteur à restaurer a été soumis à des pressions responsables de sa dégradation, il est également nécessaire de rappeler que le second préalable est la gestion ou la suppression de ces pressions. Ces deux points étant évoqués, la restauration écologique peut s'entendre comme une action visant à améliorer ou à retrouver un état écologique satisfaisant. Cela ne signifie pas de retrouver un état initial, pristine, avant l'impact de toutes pressions. Compte tenu de l'absence de maîtrise des processus biologiques et écologiques mais aussi de l'inertie propre à la vie marine, le retour à un état initial pristine reste à ce jour un objectif inaccessible.

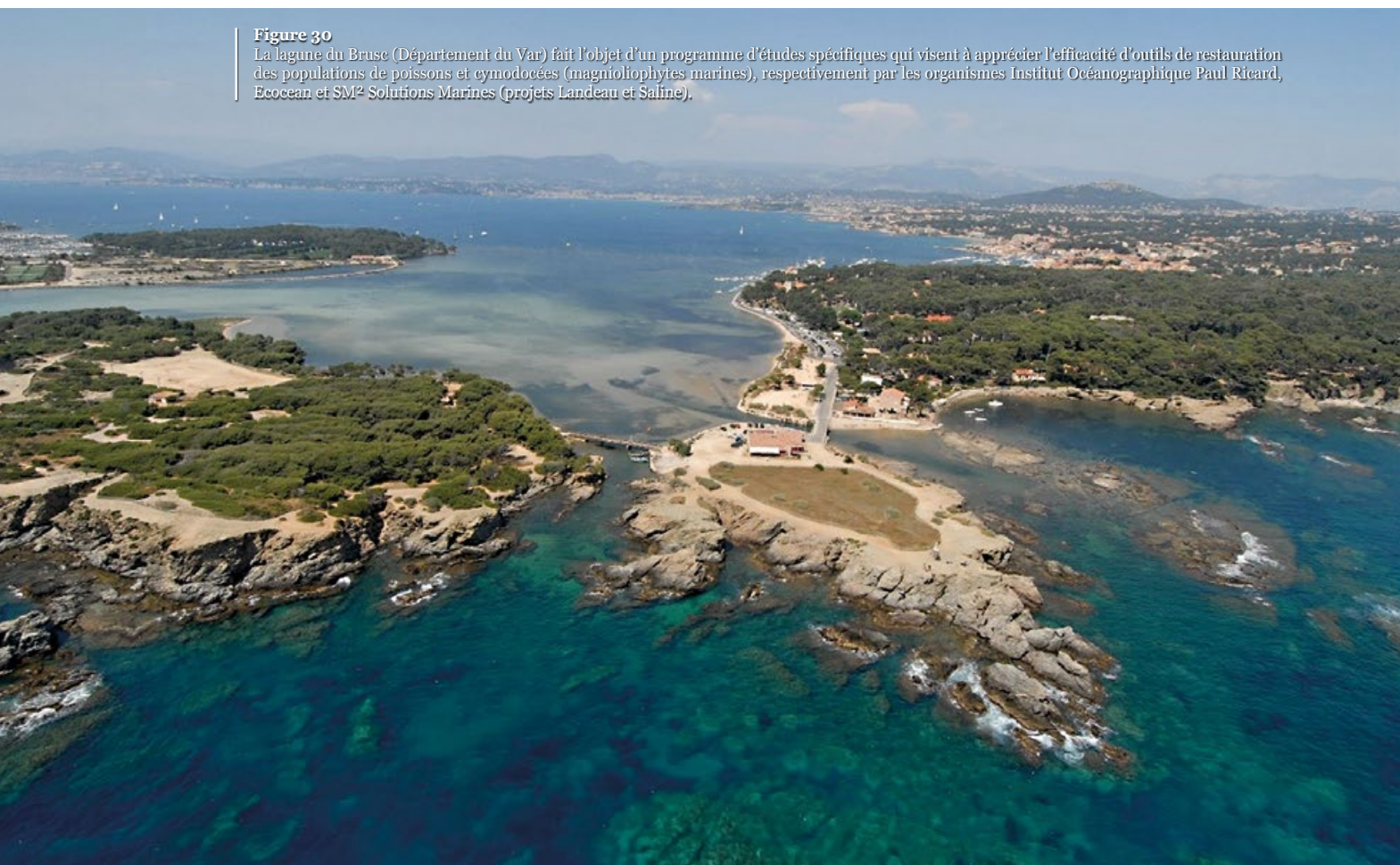
La restauration est l'action consistant à restaurer, c'est-à-dire retrouver au mieux un état écologique antérieur qui a été altéré.

La compensation vise à contrebalancer les effets négatifs pour l'environnement d'une opération en réalisant en plus de l'opération elle-même des travaux de restauration, des opérations de gestion ou de protection. Cela signifie que l'opération en question induit des dégradations réversibles ou non sur l'environnement et que cette situation est acceptée car elle est compensée par d'autres actions favorables pour l'environnement. Dans le cadre qui nous intéresse, à savoir améliorer la qualité de l'eau, non dégrader et « booster dame nature », la compensation ne peut pas être considérée comme une solution, encore moins dans le cadre des directives européennes citées précédemment.

Dans le cadre de ce travail et afin de faciliter l'appropriation de cette nouvelle notion pour un décideur, il est proposé de définir la restauration écologique comme **« une action sur l'habitat marin, la faune ou la flore permettant d'améliorer leur état, dans une zone côtière où la qualité de l'eau est bonne et où les pressions à l'origine de la dégradation ont disparu ou sont maîtrisées »**.

Figure 30

La lagune du Brusc (Département du Var) fait l'objet d'un programme d'études spécifiques qui visent à apprécier l'efficacité d'outils de restauration des populations de poissons et cymodocées (magnoliophytes marines), respectivement par les organismes Institut Océanographique Paul Ricard, Ecocean et SM² Solutions Marines (projets Landeau et Saline).



C. Peut-on considérer que la restauration écologique est une politique « opérationnelle » ?

Le déploiement d'une politique active et opérationnelle de restauration écologique passe par les 4 axes suivants :

- > des solutions techniques répondant au problème rencontré,
- > la volonté de restaurer et d'utiliser les solutions techniques existantes,
- > des moyens financiers pour les mettre en œuvre,
- > des autorisations administratives et réglementaires pour appliquer ces solutions.

Les différents appels à projets et études engagés ces dernières années ont permis d'innover et de mettre au point des techniques de restauration. Pour certaines d'entre elles, il convient encore de les tester et de renforcer leur caractère opérationnel. Pour autant et à ce jour, il est possible de dresser une première évaluation de ces outils envisagés pour la restauration des nurseries de petits fonds côtiers. Le tableau ci-dessous en donne une synthèse :

Outils de restauration jugés opérationnels	Figure 31 - transplant de cystoseire
<ul style="list-style-type: none"> > Récifs artificiels > Habitats de quai et de pontons > Transplantation de macroalgues 	

La volonté d'agir et de prendre la responsabilité de travaux de restauration écologique émerge, notamment chez les gestionnaires portuaires, sans doute plus sensibles de nos jours à la question de la restauration écologique que les structures de gestion des milieux aquatiques. Les projets NAPPEX ou GIREL ont renforcé l'image d'outils innovants et opérationnels.



Banc de sars communs (*Diplodus sargus*)

Il convient également de souligner le caractère non obligatoire de ces actions. L'incitation technique et financière tout comme les efforts consentis en matière d'information, de communication et de sensibilisation commencent à porter leurs fruits, malgré un contexte économique stressé. Le moteur principal de l'action reste le volontariat. Cela marque un changement de mentalité qu'il convient de souligner et d'accompagner tout en rappelant qu'en matière d'environnement le principal moteur de la prise de décision reste bien souvent l'application de la réglementation. Peut-être à l'avenir le législateur rendra-t-il obligatoire la restauration des milieux dégradés au même titre que la protection des zones riches.

Le financement d'une opération est souvent un élément limitant. Pour autant, si l'on ramène le coût d'une restauration écologique au regard du coût des pressions ou des solutions mises en œuvre pour lutter contre les pressions, le financement paraît moins limitant. A titre d'exemple, le coût de l'opération récifs PRADO, réalisé dans la rade de Marseille, a été estimé à moins de 1% du montant des dépenses engagées sur le territoire marseillais pour réduire les flux polluants à la mer. Ce ratio se retrouve aussi sur le coût d'installation de nurseries artificielles de juvéniles comparées au coût des ouvrages portuaires à l'origine de la dégradation des habitats.

> L'opération PRADO,

la première opération de restauration grandeur nature initiée en 1996

Près de 10 années ont été nécessaires pour construire le projet d'immersion de récifs artificiels dans la rade sud de Marseille. Ce projet présente un triple objectif : 1- recréer un espace de production biologique via une approche écosystémique, 2- soutenir et développer l'activité économique de la zone côtière, notamment la pêche artisanale, 3- favoriser la continuité écologique entre les espaces rocheux environnants et le site.

C'est près de 30 000 m³ de structures immergées favorables à la vie marine qui ont été placées sur près de 110 hectares. Le budget de l'opération a atteint les 10 M€ entre les études préalables, l'immersion des récifs, le suivi de la colonisation, la gestion et les actions de communication. L'opération est lauréate du Grand Prix du Génie Ecologique 2014.



Figure 32
Récifs artificiels dans la rade sud de Marseille en limite d'herbier de Posidonie

La réglementation en matière de protection de l'environnement littoral et marin, de domaine public maritime et de travaux sous-marins est fournie, variée et parfois particulièrement complexe. Les procédures administratives peuvent parfois paraître difficilement abordables et bloquantes. Une réflexion est en cours actuellement au niveau national. Elle vise à créer les conditions nécessaires à la création d'une nouvelle filière professionnelle sur le génie écologique marin (cf. p77). Une analyse des réglementations existantes et d'éventuelles propositions d'amélioration est engagée en complément. Il convient toutefois de bien rappeler qu'il ne s'agit pas d'encourager une éventuelle évolution de cette réglementation pour qu'elle soit moins protectrice pour le milieu marin mais plutôt de voir dans quelle mesure une mise en synergie plus forte des différents textes sectoriels peut mieux favoriser l'émergence de projets de restauration et leur réalisation.

Dans l'idéal, le travail de restauration de la fonction nurserie perdue lors de la construction d'une zone portuaire pourrait ressembler à cela :

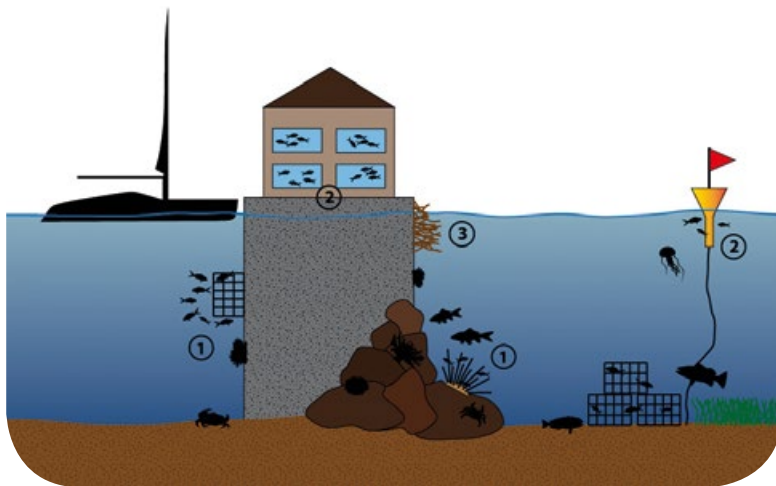


Figure 33

Un exemple d'aménagement complet d'une zone portuaire par :

- ① l'installation d'habitats artificiels dans le port et à l'extérieur,
- ② la gestion active des populations de larves
- ③ la restauration des ceintures de macroalgues. Extrait de « guide la restauration écologique, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, juillet 2014 ».

2. Construire un projet de restauration écologique

Une fois la décision de mettre en place un projet de restauration écologique prise, il convient de définir avec précision et en amont des travaux les points suivants :

En premier lieu, le périmètre géographique pertinent pour l'opération de restauration écologique doit être identifié. Il servira également de cadre pour la concertation. Il est important d'avoir une bonne vision et une compréhension globale de la zone concernée (approche des forces en présence, meilleure analyse des pressions et menaces, actions locales, ...).

La seconde étape consiste à définir « la cible écologique ». Il est nécessaire de connaître la situation de départ et donc l'état de dégradation du milieu concerné. Pour cela, il faudra renseigner la nature du site (naturel, artificiel..), sa configuration (en milieu naturel ouvert, en milieu urbain

ouvert ou fermé, dans une baie, au droit d'une embouchure, au droit d'un rejet...), les habitats et les espèces présentes (protégées ou non, présence d'espèces invasives...), la qualité biologique, chimique et hydromorphologique du milieu et de son environnement, les pressions et les menaces, et enfin les mesures de gestion en vigueur sur le site.

Le retour à un état initial originel non dégradé n'est pas envisageable. Il convient dans un premier temps de l'expliquer, de le comprendre et de l'admettre. Pour autant, l'opération doit permettre d'améliorer la situation écologique. S'agissant des petits fonds côtiers et de leur fonction de nurserie, l'ambition qui doit être affichée doit porter sur la notion de « plus de petits poissons à court terme pour plus de poissons adultes à moyen-long terme ».

Le partenariat est une clé de réussite. L'adhésion des parties prenantes se fera par l'information la plus en amont possible mais aussi par l'implication des différentes catégories d'acteurs dans la prise de décision, des institutionnels (les services déconcentrés de l'état, les collectivités territoriales, les chambres consulaires ...) aux usagers et professionnels de la mer (pêcheurs, plongeurs, établissements de plages, plaisanciers, ONG, ...). La réussite du projet passera par l'appropriation de la démarche par l'ensemble de ces acteurs. L'organisation de réunions publiques peut y contribuer.

La faisabilité du projet dépend également de son financement et de ses autorisations légales.

La réglementation en zone littorale et marine est en effet particulièrement complexe. De nombreux textes régissent la protection de la faune et de la flore, les aménagements, les usages, la qualité de l'eau, l'occupation du Domaine Public Maritime et les immersions de matériaux... A ce titre, il conviendra d'associer les services instructeurs le plus en amont possible (DIRM, DDTM-DML, DREAL et PREMAR). Pour aider à appréhender cette complexité, une étude intitulée RESTAUREG est en cours de réalisation. Elle propose une synthèse des textes réglementaires et des procédures administratives, une analyse critique de quelques études de cas et l'élaboration de logigrammes simples présentant la procédure adéquate pour chaque opération de restauration. Des recommandations opérationnelles aux Maîtres d'Ouvrages seront également proposées.

Comme pour tout projet, la recherche de financement est un exercice spécifique et parfois complexe. La restauration écologique est une politique nouvelle. A ce jour, très peu d'entités affichent dans leur politique générale un axe dédié. C'est le cas par exemple de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. Son programme d'intervention « Sauvons l'eau » permet de soutenir financièrement et sous certaines conditions les projets de restauration en zone côtière (www.eaurmc.fr). Le Conseil Départemental du Var peut accompagner également au titre de sa politique littorale et marine les communes qui souhaitent monter un projet de restauration (www.var.fr).

La réalisation de l'opération est un objectif important. L'évaluation de son efficacité écologique est un impératif qu'il convient de préparer dès le début du projet. Pour cela, il conviendra de définir les outils de cette évaluation et ses modalités pratiques : quels indicateurs, quelles fréquences d'acquisition des données, quelles grilles d'interprétation,

L'information et plus généralement la communication autour de l'opération doivent être réalisées tout le long du projet, de façon continue et si besoin de façon ciblée en fonction des partenaires. Les socio-professionnels comme les pêcheurs doivent faire l'objet d'une attention particulière.

En synthèse, il est proposé que le porteur d'une opération de restauration mette en place une stratégie réaliste basée sur les axes suivants :

- > un plan d'actions détaillant les différentes phases du projet et le rôle de chacun,
- > un cahier des charges précis,
- > un calendrier réaliste pour atteindre les objectifs fixés,
- > des ressources humaines et techniques organisées,
- > un montage financier concerté et validé avec des partenaires financiers qui s'engagent,
- > une concertation planifiée et pertinente,
- > une évaluation de l'atteinte aux objectifs qui, le cas échéant, permettra de définir ou non d'éventuels compléments.

> Existe-t-il des secteurs prioritaires en matière de restauration écologique ?

Si on admet la définition qui positionne la restauration écologique en réponse à la dégradation d'un site, la question se reformule en « où sont ou quels sont les sites dégradés de notre littoral méditerranéen ? » L'identification des secteurs concernés dans une carte étant toujours un exercice délicat, il est proposé ici de rappeler la typologie des cas.

Les zones portuaires présentent généralement des habitats dégradés, aux fonctions écologiques de nurseries et frayères souvent très compromises. Ces zones peuvent être considérées comme prioritaires, qu'il s'agisse de grands ports ou de ports abris. Les sites sous l'influence de rejets urbains et les zones de mouillage de bateaux de plaisance à forte fréquentation sont aussi des secteurs d'intérêt pour la restauration écologique, même s'il faut bien l'admettre, leur contribution à la fonction nurserie est bien moins importante.

3. Vers une nouvelle filière économique

La notion de filière économique est apparue ces dernières années, notamment sous l'impulsion de trois acteurs majeurs dont le travail en synergie a permis de franchir des étapes importantes pour la création d'une nouvelle filière :



Le Pôle Mer Méditerranée a identifié, au titre de sa politique, un enjeu stratégique pour les activités portant sur la restauration, la réhabilitation, la réaffectation d'écosystèmes en lien avec l'environnement marin et l'aménagement durable du littoral. Cet enjeu s'inscrit dans une perspective de moyen-long terme. Il est même devenu un axe stratégique « génie écologique côtier ».



L'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse dont l'intérêt croissant pour la mer a permis de mobiliser des moyens techniques et financiers nécessaires pour mettre au point des méthodes et les appliquer. La restauration écologique des petits fonds côtiers est l'une des priorités du volet marin du programme d'intervention « Sauvons l'eau ». L'agence est d'ailleurs le principal partenaire des projets de restauration en Méditerranée (Boissery, 2014).



Le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) et sa labellisation de projets innovants dans le domaine des « techniques innovantes en matière de restauration et d'aménagement écologique de milieux littoraux et marins » décernée au titre de sa Stratégie Nationale pour la Biodiversité. Le ministère apporte également son soutien au projet GECMEDD qui vise l'émergence de la filière du Génie Ecologique Côtier en Méditerranée dans une approche de Développement Durable. Ce projet coordonné par le Pôle Mer Méditerranée, en partenariat avec le Pôle EAU et l'association Ea-eco-entreprises associe différents acteurs du littoral et de la mer. Il doit contribuer de façon significative à la création d'une filière professionnelle dédiée (GECMEDD, 2015).

Les acteurs actuels sur la façade méditerranéenne française

Près d'une cinquantaine d'acteurs de la filière du génie écologique côtier en Méditerranée ont été identifiés : laboratoires de recherche, TPE, PME, ETI, grands groupes et associations. Aujourd'hui visibles dans l'annuaire GECMEDD, ils y sont répertoriés en différentes fonctions : recherche, formation, étude socio-économique, étude environnementale, surveillance environnementale, fournisseurs, travaux, communication. Ces acteurs constituent ainsi un regroupement cohérent pour la filière, tant du point de vue technico-économique, que des activités qui concourent à la réalisation de produits et services.

On observe, au sein de ces acteurs, de jeunes TPE/PME (ECOCEAN, SM2 Solutions Marines, ...) ainsi que des cellules biodiversité récemment créées dans les grands groupes (EGIS, Suez Environnement, Bouygues,...) ce qui conforte la filière.

La restauration écologique des milieux côtiers est une partie essentielle de la filière. Elle présente des innovations, telles que la conception et la mise en place d'habitats artificiels, la restauration d'herbiers et/ou de ceintures d'algues, le repeuplement de populations, etc. Ces innovations peuvent être intégrées ou ajoutées à des ouvrages côtiers. Les parties prenantes du littoral s'approprient progressivement cette approche, comme le prouvent à l'échelle locale les contrats de baie récents de la rade de Toulon, des îles d'or, de la rade de Marseille, qui intègrent un axe sur la préservation et la restauration des écosystèmes à côté de la prévention et la réduction des sources de pollution.

La restauration écologique côtière commence également à être considérée par la communauté scientifique comme une composante de l'adaptation au changement global, par exemple dans la réflexion prospective MERMED « adaptation aux changements globaux en mer Méditerranée ». Elle est aussi intégrée dans les orientations stratégiques de la recherche et développement sur la mer en particulier dans la proposition « a blue growth research and innovation initiative for the mediterranean ».

A ce jour, compte tenu de l'émergence de la filière il n'est pas simple d'évaluer l'économie de l'ensemble des marchés. Cependant, des études économiques et des réalisations permettent d'évaluer le potentiel futur de cette filière. Selon le cabinet Boston Consulting Group en 2012¹, le marché de la restauration de la biodiversité terrestre et marine, en France, pesait 2 milliards d'euros et concernait 150 à 200 PME. Ce chiffre devrait passer à 3 milliards d'ici 2020. Il est également estimé qu'en France, le secteur du génie écologique mobilise 22 000 emplois (et 40 000 à l'horizon 2020)².

A une échelle plus côtière, l'étude de marché réalisée dans le cadre du projet Nappex indique que sur les 140 marinas méditerranéennes françaises, plus des ¼ ont un projet d'agrandissement ou de réaménagement interne. Les gestionnaires de marinas rencontrés sont tous sensibles à l'environnement de leurs infrastructures. Très souvent plongeurs, pêcheurs ou passionnés de mer, ces gestionnaires semblent aujourd'hui prêts à investir dans des actions de biodiversité positive. C'est le cas des communes de Marseillan (34) et d'Agde (34) qui ont, de façon volontaire et pour la première fois en France, souhaité installer des nurseries artificielles dans leurs ports. Ces installations sont également utilisées pour sensibiliser leurs clients utilisateurs des ports mais aussi les écoles communales.

L'appropriation par les maîtres d'ouvrages de cette approche s'observe déjà sur certains projets d'aménagements côtiers et laisse présager un marché en forte croissance :

- > extensions portuaires (Calais 2015, Grand Port Maritime de Marseille, Grand Port Maritime de Guadeloupe..),
- > construction de viaduc littoral (la Réunion),
- > mise en place de solutions volontaires de génie écologique côtier par les gestionnaires des ports et des communes littorales (Marseillan, Monaco, Nador, ...)

Sur le plan international, les pays Européens qui présentent les mêmes contraintes réglementaires que la France sont autant de marchés potentiels. Sur le pourtour de la Méditerranée (Turquie, Maroc, Tunisie), le proche Orient (Oman, QATAR, Emirats) comme pour les USA, le CANADA, le Brésil, l'Australie et le Japon des obligations réglementaires existent déjà.

La mise en place de la loi RESTORE Act aux USA ouvre des opportunités de marché très importantes. L'exemple de British Pétroleum et Deep Water Horizon le montre. Le budget identifié pour la restauration des dégâts liés à l'accident est de plus de 20 milliards de dollars US. Le Brésil prévoit de construire 100 ports suite au doublement du canal de Panama. Cela représente un

¹ Les Echos, 27/05/2014 ² Estimations du Ministère de l'Ecologie dans sa convention cadre d'appui technique à la structuration d'une filière de la Biodiversité et des services écologiques datée de 2011.

marché potentiel important pour lequel certaines entreprises françaises sont déjà positionnées. Les investissements mondiaux dans la biodiversité pourraient représenter entre 2 000 et 6 000 milliards de dollars US d'ici 2050.

Le génie écologique côtier est en grand essor ces dernières années. Cet essor est dû en priorité à une évolution des mentalités des populations relayées par les politiques vers l'objectif de meilleure qualité des écosystèmes. En Europe, les directives vont dans ce sens. Le génie écologique terrestre, qui a plus d'ancienneté et de réalisations, est en croissance. La restauration écologique marine est encore dans une phase expérimentale bien que certains outils commencent à être opérationnels. Mais plusieurs indices convergents montrent que le développement économique est rapide, en particulier l'appropriation par les maîtres d'ouvrages, la croissance des PME innovantes, la création de filiales spécialisées de grands groupes, la création d'un centre de recherche sur les écosystèmes marins ou bien encore d'une filière universitaire spécifique. La France est l'un des leaders mondiaux avec ses chercheurs de très haut niveau, ses expérimentations et sa volonté d'agir.

La restauration écologique est un enjeu nouveau qui nécessite de l'innovation, du volontariat, des moyens financiers et réglementaires. C'est un axe de travail complémentaire des actions de lutte contre la pollution. Pour autant, et de façon forte, il faut souligner toute l'importance de la non-dégradation des milieux aquatiques. Si important que soit le génie humain, la nature restera encore et pour un bon moment inégalée.



Figure 34 - Banc de castagnoles (*Chromis chromis*)



Conclusion

Dans le prolongement d'importants efforts mis en place au niveau national et européen depuis de nombreuses années, visant à atteindre le bon état écologique des masses d'eau (réduction des pressions, actions préventives, sensibilisation,...), la question de la restauration écologique des petits fonds côtiers méditerranéens est désormais prise en compte dans les réflexions et les politiques publiques.

Grâce à l'amélioration des connaissances scientifiques, notamment sur le fonctionnement de ces milieux et les services écosystémiques qu'ils produisent pour l'Homme, un certain nombre d'opérations ont déjà pu être menées à titre expérimental ou à plus grande échelle. Une filière économique - spécifiquement centrée sur la restauration, le génie écologique et l'éco-conception - est en émergence, soutenue par le Pole Mer Méditerranée.

Bien que les outils disponibles soient encore peu nombreux, ils ont déjà montré leur efficacité en seulement quatre années de déploiement dans le milieu marin. Même si certaines connaissances concernant le fonctionnement des écosystèmes sont encore fragmentées ou incomplètes, il est cependant possible, dès à présent, d'agir sur ces milieux pour restaurer ou améliorer certaines de leurs fonctions écologiques. L'objectif est double : à la fois remettre ces écosystèmes sur « de bons rails » tout en soutenant les activités économiques qui y sont liées. Ces projets de restauration ou autre action de « réparation » ne peuvent cependant se faire sans une suppression – ou tout au moins une réduction – préalable des pressions à l'origine des dégradations. Ils nécessitent d'être strictement planifiés et les objectifs à atteindre (notamment sur le plan environnemental, ex : quantification du gain écologique) doivent être clairement exprimés et mesurables.

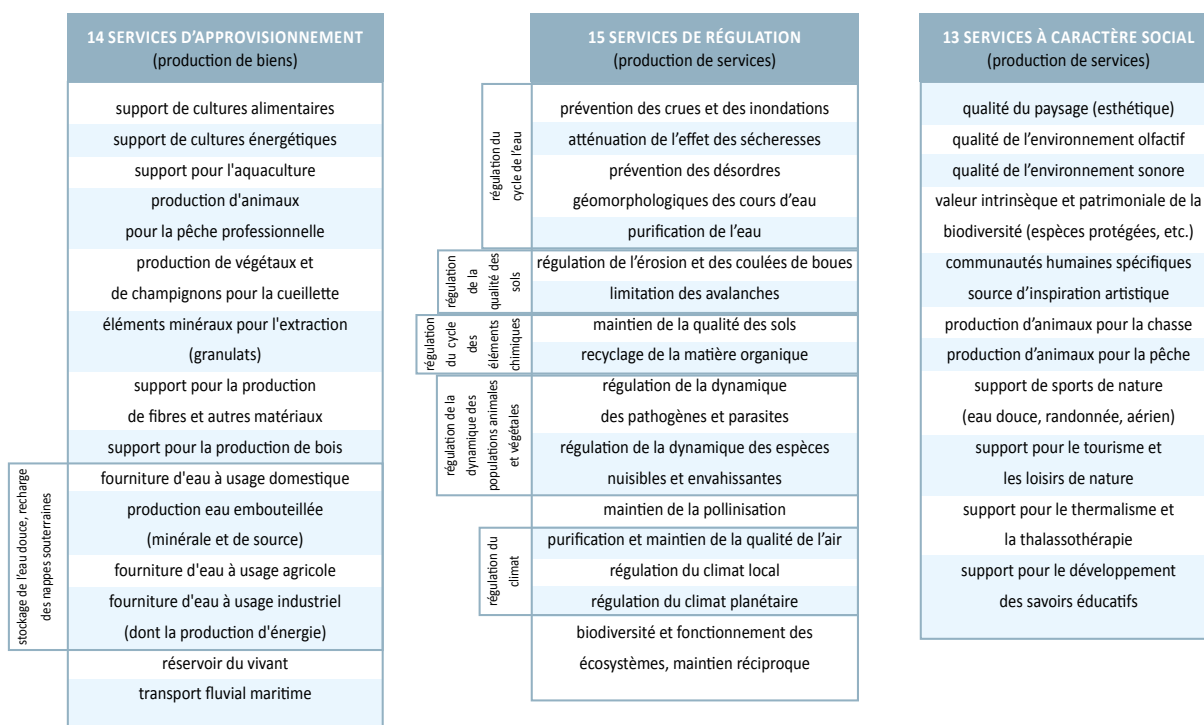
Cet ouvrage a donc permis de faire le point sur les connaissances scientifiques actuelles et sur l'adaptation des différents concepts et méthodes de restauration (au sens large) appliquées aux petits fonds côtiers méditerranéens. Il a également permis de mettre en évidence l'importance de ces zones d'interface aussi bien pour l'Homme que d'un point de vue écologique (pour le bouclage du cycle de vie des poissons notamment).

Bien sûr, ce guide reflète les connaissances actuelles parfois partielles, mais il permet d'une part de poser les bases d'une réflexion commune, et d'autre part de faire un premier état des lieux des connaissances et méthodes disponibles aujourd'hui, préalable indispensable pour une filière économique en devenir. Il conviendra certainement de le compléter et de le mettre à jour ultérieurement, sur la base d'une amélioration des connaissances, ainsi que d'un retour d'expérience scientifique et technique sur les diverses opérations en cours.



Annexe 1

Différentes classifications des services écosystémiques


































Annexe 1a - Liste des 43 services rendus par les écosystèmes en France, selon les 3 catégories de services de la classification CICES (CREDOC, Asconit, Biotope, 2009)

4 TYPES - 22 SERVICES (de Groot <i>et al.</i> 2010)			
PROVISIONING	REGULATING	HABITAT/SUPPORTING	CULTURAL (provide opportunities for:)
1 - Food	7 - Air quality regulation	16 - Nursery service	18 - Aesthetic enjoyment
2 - Water	8 - Climate regulation (incl. C-sequestration)	17 - Genepool protection	19 - Recreation & tourism
3 - Raw Matérials	9 - Moderation of extreme events		20 - Inspiration for culture, art & design
4 - Genetic resources	10 - Regualtion of water flows		21 - Spiritual experience
5 - Medicinal resources	11 - Waste treatment		22 - Cognitice development
6 - Ornamental resources	12 - Erosion prevention		
	13 - Maintenance of soil fertility		
	14 - Pollination		
	15 - Biological control		

Annexe 1b - Classification des services écosystémiques selon de Groot *et al.* (2010).

Annexe 2

Les services écosystémiques rendus par le milieu marin.

LES DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES		CARACTÉRISATION	
Services directs	Services d'approvisionnement	 Production d'animaux pour la pêche professionnelle	poissons, mollusques etc
		 Production de gènes	
		 Support de culture alimentaire	conchyliculture/aquaculture
		 Production énergétique	éolien offshore/hydrolien/geothermie
		 Production de végétaux pour l'alimentation, aliment	algues vertes, omega 3
		 Transport maritime	ferry et porte container
		 Production d'éléments minéraux pour extraction	matériaux bruts (sable, galet, sel)
		 Production d'agrocarburant	micro algue
		 Production d'eau à usage domestique et agricole	désalinisation eau de mer, source sous-marine
		 Production de produits médicaux et pharmaceutiques	biotechnologies, cosmétique
Services indirects	Services de régulation	 Régulation de la qualité de l'eau	décontamination, dilution des rejets, dégradation, captation, O2
		 Régulation de la qualité de l'air	solubilisation des polluants de l'air
		 Régulation climat	séquestration CO2, T°
		 Régulation de la diversité fonctionnelle	herbivores, carnivores...
		 Régulation des interactions interspécifiques	proie/prédateur, symbiose, parasitisme
		 Protection contre l'érosion du littoral	préserve le trait de côte (foncier), fixation du sol/sédiment
		 Protection contre les tempêtes	vague déferlante/risque humain/amortissement de houle
		 Maintien du cycle de vie des espèces marines	étape cruciale du cycle
		 Contrôle des espèces envahissantes	compétition habitat, bon état écosystème
		 Recyclage nutriments (N, P..) et matière organique	sédimentation + détritivores
	 Régulation du climat local	entrées maritimes/T° tempérée/humidité	
	Services socio-culturels	 Support pour le tourisme, loisirs de nature et sport	jetski, promenade en mer, plongée
		 Support esthétique, paysager	paysage maritime apaisant
		 Support d'inspiration artistique	fauvisme, peinture de Collioure
		 Support des traditions locales	joute de Sète (valeur ancestrale)
		 Support spirituel	
		 Support pour soins de santé	thalasso (boue, eau de mer, algue)
		 Support de recherche scientifique	SUBLIMO
		 Support pour le développement des savoirs éducatifs	école de la mer
		 Production d'animaux pour la pêche loisir	hobby
 Production d'espèces patrimoniales		mérou, corb, hippocampe	

Annexe 2 - Les différents services écosystémiques rendus par le milieu marin.

Les couleurs représentent leur importance dans les petits fonds côtiers :

-  FORT
-  MOYEN
-  FAIBLE
-  NUL

Annexe 3

Les services écosystémiques

Rappelons que dans cet ouvrage, nous avons choisi de prendre en compte la classification des SE décrite par la CICES et reprise par le Ministère français de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM). Nous l'avons adapté à notre thématique des petits fonds côtiers méditerranéens. Nous utiliserons donc la classification en trois grandes catégories de services :

Services d'approvisionnement : production, par les écosystèmes, de biens consommés par l'être humain.

Services de régulation : processus qui canalisent certains phénomènes naturels, qui assurent les processus biochimiques (eau, nutriment, MO, ...) et ont un impact positif sur le bien-être humain (protection contre les catastrophes naturelles, atténuation des pollutions, etc.).

Services à caractère social : bénéfiques immatériels que l'être humain tire de la nature en termes de santé, de liberté, d'identité, de connaissance, de plaisir esthétique et de loisirs (pêche de loisir, sports de nature, support de recherche, etc.).

Les différentes catégories de SE		Exemples de services rendus	Fonctions associées
Services d'approvisionnement	Production d'animaux pour la pêche professionnelle	Poissons, mollusques etc	Renouvellement des populations d'animaux, cumul de biomasse, réservoir de richesse spécifique
	Support de culture alimentaire	Conchyliculture / aquaculture	Nutrition
	Production de végétaux pour l'alimentation, aliment	Algues vertes, omega 3	Renouvellement des peuplements végétaux, cumul de biomasse
	Production d'éléments minéraux pour extraction	Matériaux bruts (sable, galet, sel)	Réservoir
Services de régulation	Régulation de la qualité de l'eau	Décontamination, dilution des rejets, dégradation, captation, O ₂	Epuration de l'eau
	Régulation de la diversité fonctionnelle	Herbivores, carnivores...	Renouvellement des populations, cumul de biomasse, réservoir de richesse spécifique
	Régulation des interactions interspécifiques	Proie/prédateur, symbiose, parasitisme	Renouvellement des populations, cumul de biomasse, réservoir de richesse spécifique
	Protection contre l'érosion du littoral	Préserve le trait de côte (foncier), fixation du sol/sédiment	Stabilisation du sol par les végétaux, transport/dépôt sédimentaire
	Protection contre les tempêtes	Vague déferlante/risque humain amortissement de houle	Réduction de la houle
	Maintien du cycle de vie des espèces marines	Etape cruciale du cycle	Nutrition, reproduction, abri, nurserie
	Contrôle des espèces envahissantes	Compétition pour l'habitat, bon état écosystème	Compétition entre espèces
	Recyclage nutriments (N, P..) et matière organique	Sédimentation + détritivores	Décomposition et transformation, mise à disposition
Services de socio-culturels	Support pour le tourisme, loisirs de nature et sport	Jetski, promenade en mer, plongée	Intégrité de l'écosystème
	Support esthétique, paysager	Paysage maritime apaisant	Intégrité de l'écosystème
	Support de recherche scientifique	SUBLIMO	
	Support pour le développement des savoirs éducatifs	Ecole de la mer	Intégrité de l'écosystème
	Production d'animaux pour la pêche de loisirs	Hobby	Renouvellement des populations d'animaux, cumul de biomasse, réservoir de richesse spécifique
	Production d'espèces patrimoniales	Mérou, corb, hippocampe, nacre	Intégrité de l'écosystème
	Support pour soins de santé	Thalasso (boue, eau de mer, algue)	Principes actifs

Annexe 3 - les services écosystémiques en milieu marin méditerranéen
En italique, les services moins importants dans les petits fonds

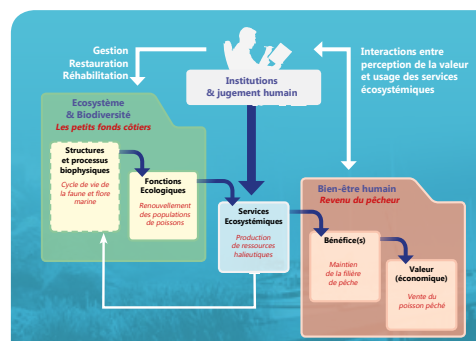
Annexe 3

Les services écosystémiques

Comme on peut le voir sur la figure en cascade de De Groot (p. 44), les services écosystémiques fournissent un grand nombre de biens et de services aux êtres humains, qui en retirent des bénéfices auxquels ils attribuent une (des) valeur(s).

Toujours en nous basant sur les services des petits fonds côtiers de Méditerranée, nous avons listé des exemples de bénéfices possibles pour chaque service, ainsi que leur(s) valeur(s) associée(s). De même que les bénéfices, ces valeurs peuvent être directes ou indirectes.

Ce tableau, même si nous avons essayé d'être les plus complets possible, est bien-sûr non exhaustif.



Bénéfices directs et indirects	Valeurs associées directes et indirectes	Intérêt de préserver ce service
Protéines Protéines <i>Protéines, molécules, principes actifs</i> <i>Matière première pour le BTP et le nourrissage des plages, sel</i>	Produits des ventes de la pêche (poissons, murex, etc) et des ventes et services de la filière Produits des ventes de la pêche (moules, huîtres, poissons...) et des ventes et services de la filière <i>Produit de la vente (moule, huître, poisson ...)</i> <i>Vente de gravier, sable, sel / création de routes, immeubles...</i>	Maintien des activités de la pêche et sa filière Maintien des activités d'aquaculture et de la filière pêche <i>Maintien des activités d'algoculture et de sa filière</i> <i>Support aux activités BTP, maintien des activités de tourisme et qualité de vie</i>
Santé préservée Intégrité des écosystèmes, biodiversité Intégrité des écosystèmes, biodiversité Protection des biens et des personnes et maintien des activités économiques et des paysages Protection des biens et des personnes et maintien des activités économiques et des paysages Intégrité des écosystèmes, biodiversité Intégrité des écosystèmes, biodiversité <i>Bon fonctionnement des réseaux trophiques</i>	Bien-être Bien-être Bien-être Produits des activités économiques, foncier, économie sur travaux d'aménagement Produits des activités économiques, foncier, économie sur travaux d'aménagement Produits des ventes de la pêche et des ventes et services de la filière, produits et ventes des activités touristiques (restauration, loisirs) Bien-être <i>Produits des ventes de la pêche et des ventes et services de la filière</i>	Maintien de la qualité de vie et des activités de tourisme Maintien des activités de tourisme et de la qualité de vie Maintien des activités de tourisme et de la qualité de vie Maintien de la qualité de vie et des activités de tourisme Maintien de la qualité de vie et des activités de tourisme Maintien des activités de la pêche et de sa filière, des activités de tourisme et de la qualité de vie Maintien des activités de tourisme et de la qualité de vie <i>Maintien des activités de pêche</i>
Satisfaction personnelle ou individuelle Satisfaction personnelle ou individuelle Amélioration des connaissances, transfert des connaissances Sensibilisation à la nature/ éveil de l'esprit Protéines, satisfaction personnelle Intégrité des écosystèmes, biodiversité, satisfaction personnelle, sentiment d'appartenance Amélioration de la qualité de vie	Bien-être Bien-être Nombre de programme, nombre et rang des publications, brevets, projets innovants Meilleure empreinte écologique Bien-être Bien-être Soins et médicaments	Maintien des activités de tourisme Maintien des activités de tourisme et artistique Maintien d'une recherche scientifique à la pointe, changement des mentalités Changement des mentalités Maintien des activités de tourisme liées à la pratique de la pêche Maintien des activités de tourisme, sensibilisation, qualité de vie Amélioration de la qualité de vie

Annexe 4

Les pressions et impacts sur les petits fonds côtiers

Pour rappel, la liste des pressions définies dans le guide a été adaptée d'après les pressions définies dans la DCE et dans la DCSMM.

Ci-dessous ont été développés des exemples pour chaque pression, ainsi que les impacts physiques, chimiques et biologiques.

Développement des activités du BTP	Développement des activités arrière pays	Développement du tourisme balnéaire	Développement de la navigation de plaisance et fret	Augmentation de la population humaine		Forces motrices	Problèmes	Exemples	Type de cause	Physiques	Impacts sur les PFC	Chimiques	Biologiques	
				Au niveau côtier	Au niveau mondial									
extraction de granulats/minéraux et rechargement de plages	apports des bassins versants "locaux" - ruissellement	pollution sonore et électromagnétique	activités de loisirs	diageage /coulee portuaire et chenaux de navigation et immersion de ces sédiments	zone de mouillage surexposée	constructions dont polidérivation	changements globaux	étang de Thou, étang Sables Leucrite	unique	étouffement - modification sédimentaire - accumulation MO	rejets de matières organiques, substance toxique (antibiotiques, formol,...)	infrroduction des espèces non indigènes - destruction d'espèces - diminution de la quantité de phytoplancton		
													macrodéchets	déchets sur les plages
gravière	traitements des vignes, macrodéchets transportés par les fleuves	jêti-ski, locations bateau	pêche du bord, pêche embarquée, compétition de pêche sous-marine	sports nautiques, bodinades, plongée, activité de glisse	corps mort fixe, mouillage forain, ancres, rejet de déchet ménager par plaisanciers et hydrocarbures/huile	bises (arnes)/épis	changement de températures, forces, direction, nombres de jours de vent	chalutage	unique	abrasion - forte dégradation / destruction d'habitats	concentration de contaminants (hydrocarbures, huiles,...)	extraction non sélective d'individus - réduction de la biomasse - dégradation du cycle de vie - destruction de population - modification de la chaîne trophique		
													macrodéchets	déchets sur les plages
unique	multiple	multiple	multiple	multiple	unique	unique	multiple	émission	multiple	augmentation de la turbidité - changement de substrat - modification des températures	apport permanent de contaminants - apports bactériologiques	perturbation du cycle de vie - destruction de populations - modification de la répartition spatiale des herbiers - modification des communautés		
													unique	multiple
cointage - étouffement - augmentation de la turbidité - destruction d'habitats (nurseries)	augmentation de la turbidité et granulométrie - changement de substrat - modification des températures	étouffement - modification d'habitats - diminution de luminosité	dégradaion d'habitats	abrasion - dégradation des habitats (pêlement des petits fonds, arrachement, prélèvement)	sédimenitaire - augmentation de la turbidité - destruction d'habitats	modification transi et granulométrie sédimentaire - augmentation de la turbidité - destruction d'habitats (nurseries) - température	modification de la courbologie	modification de la courbologie	unique	abrasion - forte dégradation / destruction d'habitats	concentration de contaminants (hydrocarbures, MO,...), crème solaire	remise en suspension de contaminants toxiques	destruction de populations	
														unique
concentration de contaminants (hydrocarbures, huiles,...)	réduction ou apport d'eau douce, transport de contaminants, macrodéchets, eutrophication, matière oxydable - apports bactériologiques	relargage de contaminants et de portiques	concentration de contaminants (hydrocarbures, huiles,...)	crème solaire	concentration de contaminants (hydrocarbures, MO,...), crème solaire	concentration de contaminants (hydrocarbures, MO,...), crème solaire	changement de cinétique biochimique	changement de cinétique biochimique	unique	abrasion - forte dégradation / destruction d'habitats	concentration de contaminants (hydrocarbures, huiles,...)	remise en suspension de contaminants toxiques	destruction de populations	
														unique
perturbation du cycle de vie - destruction de populations	perturbation du cycle de vie - destruction de populations - modification de la répartition spatiale des herbiers - modification des communautés	perturbation du cycle de vie - destruction de populations	modification du cycle de vie - stress - modification du comportement - modification du cycle de vie - plus grande vulnérabilité aux prédateurs - sélection de population	stress - modification du comportement - modification du cycle de vie - plus grande vulnérabilité aux prédateurs - sélection de population	extraction d'individus - réduction de la biomasse - figosification du cycle de vie (pêche sous la maille) - modification de la dynamique des populations	destruction de populations	destruction de populations	destruction de populations	destruction de populations	destruction de populations	destruction de populations	destruction de populations	destruction de populations	
														destruction de populations

Glossaire

Algues photophiles : Algues exigeant ou tolérant un éclaircissement important.

Auto-régénéré ou auto-entretenu : Se dit d'un écosystème auto-organisé qui persiste indéfiniment, avec des transformations en réponse à sa dynamique interne, aux flux environnementaux et aux changements à plus long-terme des conditions environnementales internes (Clewell et Aronson, 2010, p.293).

Bénéfices : Augmentation du bien-être humain induite par la satisfaction d'un besoin ou d'un désir; dans notre contexte, c'est ce que les humains perçoivent des Services Écosystémiques, en termes de réponses à leurs besoins et envies.

Benthique : Se réfère à l'ensemble des organismes aquatiques (marins ou dulcicoles) vivant à proximité du fond des mers et océans, des lacs et cours d'eau (par opposition à pélagique).

Biocénose : Ensemble des êtres vivants coexistant dans un espace, ainsi que leur organisation et leur richesse spécifique.

Biodiversité : Diversité de la vie à tous les niveaux d'organisation (gène, individu, population, communauté, écosystème,...) et tous les rangs taxonomiques (par exemple, espèce, genre, famille) à un endroit donné ou en général, dans la biosphère.

Bon état écologique : Le « bon état écologique » du milieu marin est défini dans la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin comme étant « l'état écologique des eaux marines tel que celles-ci conservent la diversité écologique et le dynamisme d'océans et de mers qui soient propres, en bon état sanitaire et productifs dans le cadre de leurs conditions intrinsèques, et que l'utilisation du milieu marin soit durable, sauvegardant ainsi le potentiel de celui-ci aux fins des utilisations et activités des générations actuelles et à venir ».

Capital naturel : Métaphore économique pour les stocks limités des ressources naturelles physiques et biologiques que l'on trouve sur Terre, d'où proviennent les flux de biens et services naturels. Selon Rees (1995) et l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (MEA, 2005), il en existe 4 catégories : le capital naturel renouvelable (les espèces vivantes et écosystèmes), non renouvelable (le pétrole, le charbon, les diamants, etc.), réapprovisionnementnable (l'atmosphère, l'eau potable, les sols fertiles, etc.) et cultivé (les cultures, les plantations forestières, etc.) (Clewell & Aronson, 2010).

Chaîne trophique (ou chaîne alimentaire) : Ensemble des relations qui s'établissent entre des organismes en fonction de la façon dont ceux-ci se nourrissent. Comprend des producteurs (algues, par exemple), des consommateurs primaires (herbivores, phytophages), des consommateurs secondaires (carnivores) et des décomposeurs (ou détritivores). Les polluants qui ne se dégradent pas ou peu (métaux lourds) vont se concentrer au sommet de la chaîne trophique, chez les prédateurs.

CICES – Common International Classification of Ecosystem Services : Programme développé à partir du travail sur la comptabilité environnementale menée par l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE). Il prend en charge leur contribution à la révision du Système de Comptabilité Économique et Environnementale (SCEE), qui est actuellement dirigée par la Division de Statistique des Nations Unies (DSNU).

Colonisation : Phase durant laquelle les larves « compétentes » (c'est-à-dire capables de nager) retournent à la côte pour y continuer leur développement.

Connectivité : En écologie, est définie comme le transfert de matériaux par le vent, l'eau, les humains et les animaux entre différents endroits. Désigne les degrés de mouvements et d'interactions possibles entre les individus ou propagules de population d'une espèce qui occupent différentes portions de l'habitat sur l'étendu d'un paysage. Elle dépend également de la capacité de dispersion des espèces en question (Van Andel & Aronson, 2012)

Contraintes : Obligations créées par les règles en usage dans un milieu, par les lois propres à un domaine, par une nécessité.

Coralligène : Écosystème sous-marin caractérisé par l'abondance d'algues calcaires, dites algues coralligènes, capables de construire, par superposition d'encroûtements ou par accumulation de dépôts, des massifs comparables aux massifs coralliens. L'analogie avec les coraux est à l'origine du nom « coralligène », qui signifie « producteur de corail ». Diverses espèces animales à squelette calcaire : éponges, gorgones, etc., peuvent également être associées à ces constructions biogéniques.

Corridor écologique : Un corridor est un élément linéaire du paysage reliant des habitats – les taches – et favorisant les flux entre ces habitats, au sein d'un environnement plutôt défavorable – la matrice (Beier et Noss, 1998).

- Décapodes** : Ordre comprenant les crustacés supérieurs ayant cinq paires de grandes pattes thoraciques tels que les écrevisses, les crevettes, les crabes et les bernard-l'hermite, ainsi que les mollusques céphalopodes possédant cinq paires de tentacules, dont une paire plus longue, tel que les seiches, les calmars, les bélemnites fossiles.
- Dégradation** : Action d'endommager un écosystème sévèrement, ou le processus selon lequel l'écosystème est gravement abîmé, de façon que sa biodiversité chute, et sa capacité de fournir des biens et services est altérée et diminuée.
- Eaux intérieures** : Eaux situées en deçà de la ligne de base (SHOM)
- Ecosystème** : Système formé des relations et interactions entre les organismes vivants (plantes, animaux et micro-organismes) et leur environnement abiotique à un endroit précis. Les écosystèmes se retrouvent à différentes échelles, de l'herbier de Posidonie par exemple, à l'estuaire ou la zone de balancement des marées. En principe, la biosphère est aussi considérée comme un seul écosystème.
- Ecotone** : Zone de transition écologique entre plusieurs écosystèmes.
- Emersion** : Exondation du fond marin par abaissement du niveau de l'eau ou retrait de la mer.
- Estran** : Partie du littoral alternativement couverte et découverte par la mer.
- Etat** : Voir **Situation**. Attention à l'utilisation du mot Etat en français (Chapitre 3.1 - modèle DPSIR) : « La directive cadre européenne sur l'eau définit le terme de « State » comme la qualité actuelle pour un paramètre donné (ex : la concentration en polluant, la densité de poissons, ...) et le terme de « Status » comme « l'état » en référence aux objectifs écologiques, chimiques ou quantitatifs (« bon état écologique »). Il est donc préférable, dans la traduction française du modèle DPSIR, d'utiliser le terme de Situation à celui d'Etat.
- Euphotique** ou **photique** : Zone de surface des océans où la lumière pénètre dans les eaux et permet la photosynthèse des algues et autres végétaux photosynthétiques.
- Fonction écologique** : Potentiel d'un écosystème à fournir des biens ou procurer un service aux sociétés humaines (et aux autres espèces) comme résultat des processus écologiques. Ex. : le renouvellement continu ou annuel d'une population viable de poissons permet de procurer de l'alimentation (service) aux humains.
- Force motrice** : Traduit le changement du système social, économique et/ou institutionnel qui engendre des changements d'états directs ou indirects sur son environnement (Modifié d'après l'Agence Européenne de l'Environnement, 2000).
- Génie écologique** : Ensemble des connaissances techniques et scientifiques permettant d'assister la régénération d'un écosystème (restauration écologique, ou réhabilitation écologique), ou procéder à la création d'un écosystème.
- Habitat essentiel** : Type précis d'endroit aquatique et substrat nécessaire aux poissons ou autres organismes pour se nourrir, croître jusqu'à maturité et se reproduire (Benaka, 1999).
- Habitat** : L'espace vital d'un organisme ou population d'une espèce, reconnaissable par l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques et géographiques du milieu ou lieu précis en question.
- Impact** : Traduit la conséquence du changement d'état sur la faune et la flore de l'écosystème : une perte ou un gain selon les effets (Modifié d'après l'Agence Européenne de l'Environnement, 2000).
- Ingénierie écologique** : Processus d'assistance à la régénération d'un écosystème endommagé par des interventions dirigées par l'Homme. Manipulation et usage d'organismes vivants ou d'autres matériels d'origine biologique, voire de l'eau et de la terre, pour résoudre des problèmes socio-économiques. Comme dans toute activité d'ingénierie, une attention toute particulière est apportée à l'efficacité du travail réalisé, en termes économiques.
- Installation** : Transition immédiate entre le stade larvaire pélagique et le stade juvénile benthique (Andrews et Anderson, 2004).
- Juvénile** : Individu qui n'est pas encore capable de se reproduire.
- Laisse de mer** : Lieu d'accumulation de débris naturels déposée à la limite supérieure du flot.
- Ligne de base** : Limite à partir de laquelle est calculée la limite de la mer territoriale. La ligne de base normale est la laisse de basse mer, « telle qu'elle est indiquée sur les cartes marines à grande échelle reconnues officiellement par l'État côtier » (c'est à dire les cartes du Service Hydrographique et Océanique de la Marine (SHOM) pour la France). Dans certains cas (côtes profondément découpées ou bordées d'îlots, deltas, baies suffisamment profondes), des lignes de base droites sont dessinées sans s'écarter de la direction générale de la côte (avec comme conséquence d'augmenter la surface des eaux intérieures de l'État côtier) (SHOM).
- Macrophytes** : Ensemble des plantes aquatiques visibles à l'œil nu (Lamy environnement).
- Magnoliophytes** : Herbiers marins. Correspond à ce que l'on appelait autrefois phanérogames.
- Maximisation** : Action de porter quelque chose, par exemple, le fonctionnement d'un système, à son maximum, au plus haut degré possible.

Glossaire

- MEA - Millennium Ecosystem Assessment** : Programme scientifique international qui, en 2005, a fourni la première synthèse de l'état environnemental de la planète. Les conséquences de la dégradation des écosystèmes y sont évaluées en relation au bien-être des hommes, et ce programme propose des scénarii possibles pour faire face à ces changements.
- Mer territoriale** : La souveraineté d'un État côtier s'étend au-delà de son territoire et de ses eaux intérieures (et dans le cas d'un État archipel, de ses eaux archipélagiques), à une zone de mer adjacente désignée sous le nom de mer territoriale. La largeur de la mer territoriale est fixée par l'État côtier et « ne dépasse pas 12 milles marins, mesurés à partir des lignes de base établies conformément à la convention ». En pratique, la largeur de la mer territoriale de la France et de celle de la majorité des pays est fixée à 12 milles (sous réserve d'accords avec les Etats voisins dont les côtes sont distantes de moins de 24 milles) (SHOM).
- Milieu** : Partie d'un territoire perçue par des populations et dont les caractéristiques résultent de facteurs naturels ou humains et de leurs interactions. Souvent confondu avec paysage et, dans le langage non-scientifique, avec écosystème ou habitat.
- Necto-bentique/démersal** : Se dit d'une espèce vivant près du fond ou sur le fond des mers.
- Nurserie** : L'habitat nurserie présente un certain nombre de caractéristiques spécifiques à la morphologie et aux besoins des espèces (Beck *et al.*, 2001) : (1) une nutrition adaptée, (2) un habitat favorable à l'installation des post-larves et qui les protège des prédateurs et des pressions pendant toute leur période juvénile jusqu'à la taille refuge, (3) un environnement dans lequel les juvéniles grandissent plus vite et ont un meilleur taux de survie que dans tous les autres habitats, (4) une localisation qui permet un déplacement vers les habitats adultes.
- Objectifs** : Résultats que l'on se propose d'atteindre. Un objectif est généralement caractérisé par sa finalité, sa méthode, les moyens escomptés. Définition des conditions à remplir ou à créer en réponse à un problème, sans tenir compte des financements disponibles (Ducrottoy, 2010)
- Optimisation** : Désigne la démarche consistant à rendre optimal le fonctionnement d'un système. Voir aussi maximisation.
- Organogénique** : Géol. [En parlant de sédiments] Qui est formé de débris animaux ou végétaux. Les apports organogènes, comme leur nom l'indique, sont constitués de débris, de squelettes de végétaux ou d'animaux, le plus souvent de nature calcaire, plus rarement siliceux (Pérès, 1966).
- Paysage** : Pour les écologues, il s'agit d'une mosaïque d'écosystèmes qui échangent des organismes et des matériaux (Forman & Godron 1986). En sciences sociales et en histoire de l'art, le terme se réfère à une étendue spatiale, naturelle ou transformée par l'homme, qui présente une certaine identité visuelle ou fonctionnelle.
- Pélagique** : Se réfère à l'ensemble des organismes aquatiques qui occupent la tranche d'eau supérieure, du fond à la surface.
- Phanérogames** : Plantes vasculaires ayant des organes de reproduction apparents dans le cône ou dans la fleur et dont la dissémination est assurée par des graines.
- Phase larvaire** : Premier stade de vie des poissons. La larve n'est pas capable de se déplacer par elle-même, vit en pleine eau et se laisse porter au gré des courants.
- Poissons côtiers** : Poissons dont une partie au moins du cycle de vie est localisé dans les écosystèmes côtiers.
- Post-larve (ou larve compétente)** : Dernier stade larvaire. Stade à partir duquel le poisson va retourner vers le littoral.
- Prédation intra-spécifique** : Se dit de la prédation au sein d'une même espèce.
- Pression exercée** : Événement ponctuel ou prolongé qui induit le changement d'état d'un écosystème. Action directe de la force motrice sous forme de flux (Modifié d'après l'Agence Européenne de l'Environnement, 2000).
- Pressions anthropiques** : Qualifie les pressions provoquées directement ou indirectement par l'action de l'homme.
- Processus écologiques** : Phénomènes fondamentaux d'un ou plusieurs écosystèmes, tels que le transfert d'énergie, d'eau et nutriments, la production primaire, ..., dont la dynamique est étroitement liée à la structure biophysique (habitats, communautés, et interactions - compétition, parasitisme,...) des écosystèmes.
- Réaffectation** : Reconversion d'un écosystème vers de nouveaux usages de type économique, autres que la transformation d'un écosystème vers un stade alternatif (Clewel et Aronson, 2010).
- Recrutement** : En écologie, l'intégration des poissons juvéniles dans les populations adultes. Différent de la notion halieutique : individus intégrant le stock halieutique, c'est à dire capturables.
- Réhabilitation** : Processus d'assistance au rétablissement des fonctions et fonctionnalités d'un écosystème endommagé, dégradé, ou détruit, en tenant moins compte de l'inventaire précis ou présumé d'espèces indigènes, présentes sur le site par le passé ou dans le modèle de référence, que dans le cas de projets de restauration écologique. Le but est généralement de rétablir la productivité ou plus généralement, la capacité de fournir un ou plusieurs des services écosystémiques que l'écosystème historique fournissait (Clewel et Aronson, 2010).

- Réponse** : Désigne la mesure mise en place par une société pour diminuer l'impact écologique de sa propre activité (Modifié d'après l'Agence Européenne de l'Environnement, 2000). C'est par exemple la création d'un mouillage fixe dans une baie impactée par l'ancrage.
- Résilience** : Capacité d'un écosystème à faire face à une perturbation ponctuelle ou répétée et à se réorganiser sans l'action de l'homme, en gardant les mêmes fonctions, la même structure, la même identité et les mêmes processus de régulation (d'après Walker *et al.*, 2004, Walker & Pearson, 2007, Bouvron *et al.*, 2010).
- Résistance** : Capacité d'un écosystème à s'autoentretenir face aux perturbations diverses auxquelles il peut être confronté (Clewell & Aronson, 2010).
- Restauration écologique** : Processus d'assister le rétablissement ou l'autorégénération d'un écosystème endommagé, dégradé ou détruit (SER, 2004).
- Risque** : Événement dont l'arrivée, aléatoire, est susceptible de causer un dommage (d'après Serge Braudo).
- Services Ecosystémiques (SE)** – Raccourci de Biens et Services Ecosystémiques (BSE): Matériaux et produits (= biens) à valeur économique ou culturelle fournis, ainsi que les différents services directs et indirects à valeur économique ou culturelle (mise à disposition de poissons d'intérêt économique, patrimoine paysager, etc.) que les écosystèmes fournissent aux humains – le tout sans coût direct de production ou de maintien. Mesurés en termes de flux, et non pas de « stocks », comme c'est le cas pour le capital naturel, il est également important d'évaluer la capacité des écosystèmes, et leur potentiel à long terme de procurer des SE (Schroter *et al.*, 2014).
- Seuil** : Limite, point, niveau de perturbation au-delà desquels un écosystème bascule dans un nouvel état ou commence une nouvelle trajectoire. S'il s'avère que l'écosystème n'est pas en mesure – faute de résilience - de traverser ce seuil dépassé dans le sens inverse, sans l'aide des humains, on dit parfois qu'il s'agit d'un seuil d'irréversibilité.
- Situation** (parfois aussi appelée **Etat**) : Apparence, expression ou manifestation d'un écosystème ou d'un paysage, déterminé par sa composition spécifique, les formes de vie et les tailles des individus et la structure communautaire (Clewell & Aronson, 2010).
- Spongiaires** (ou **éponges**) : Embranchement d'animaux aquatiques (métazoaires), presque tous marins, vivants fixés, constitués par une paroi entourant une cavité centrale digestive bordée de cellules flagellées à collerette, dont le battement assure la circulation de l'eau, des aliments et des déchets depuis de très nombreux orifices d'entrée jusqu'à un petit nombre d'orifices de sortie.
- Structure d'un écosystème** : Organisation des parties d'un système, qui lui donne sa cohérence et en est la caractéristique permanente.
- Taille refuge** : Se réfère à une taille supérieure à l'ouverture de bouche du prédateur d'un poisson situé directement au-dessus dans la chaîne alimentaire.
- Taux d'occupation des petits fonds** : Rapport entre la surface gagnée sur la mer et la surface initiale des petits fonds. Il permet d'évaluer l'impact écologique des aménagements par recouvrement et destruction des habitats littoraux sous-marins.
- TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity** : L'Économie des écosystèmes et de la biodiversité (TEEB, de l'anglais) est une étude mondiale lancée par le G8 et les Nations Unies, axée sur « le bienfait économique mondial de la diversité biologique, les coûts de la perte de biodiversité et l'échec à prendre des mesures de protection par rapport aux coûts de conservation efficace ». La TEEB fait la promotion de l'intégration des valeurs économiques de la biodiversité et des services rendus par les écosystèmes dans le processus de prise de décision.
- Trait de côte** : Le trait de côte est une ligne qui marque la limite jusqu'à laquelle peuvent parvenir les eaux marines; c'est-à-dire la limite la plus extrême que puissent atteindre les eaux marines, c'est à dire l'extrémité du jet de rive lors des fortes tempêtes survenant aux plus hautes mers de vives eaux. Elle est définie par le bord de l'eau calme lors des plus hautes mers possibles.
- Trajectoire** : Séquence d'expressions biotiques d'un écosystème du passé, à partir de laquelle les expressions futures peuvent être prédites (SER, 2004 ; Clewell & Aronson, 2010). Se dit de l'évolution probable d'un écosystème ou d'un socio-écosystème (Ducrottoy, 2010).
- Transformation** : Passage d'une forme ou type d'écosystème à une autre, souvent pour introduire un nouvel usage. Ex. Assécher une zone humide afin de créer un nouvel espace agricole.
- Upwelling (Remontée d'eau en français)** : Phénomène océanographique qui se produit lorsque de forts vents marins (généralement des vents saisonniers) poussent l'eau de surface des océans laissant ainsi un vide où peuvent remonter les eaux de fond et avec elles une quantité importante de nutriments.
- Valeurs** : Les mesures et indicateurs que l'on peut utiliser pour évaluer l'importance relative des bénéfices perçus des SE. Elles peuvent être monétaires ou non-monétaires. Elles peuvent aussi servir à planifier les réponses d'une société en termes de gestion modifiée ou restauration, réhabilitation ou réaffectation d'écosystèmes dégradés.
- YOY (Young Of the Year, de l'anglais)** : Juvénile de l'année (âge inférieur à 12 mois)

Bibliographie

Publications

- ANDREWS K. S. et ANDERSON T. W. (2004). Habitat-dependent recruitment of two temperate reef fishes at multiple spatial scales. *Marine Ecology-Progress Series*, 277: 231-244.
- Agence Européenne Pour L'environnement (AEE) (2000). Le milieu marin et littoral méditerranéen. Etat et pressions. Office des publications officielles des communautés européennes, Luxembourg.
- Agence de l'eau RMC (2013). Synthèse des réseaux de surveillance soutenus par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse - eaux côtières de Méditerranée - juin 2013
- ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H E., OVALLE C., PONTANIER R. (1993a). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems. I. A view from the South. *Restoration Ecology* 1: 8-17.
- ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H E., OVALLE C., PONTANIER R. (1993b). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems. II. Case studies in Chile, Tunisia and Cameroon. *Restoration Ecology* 1: 168-187.
- ARONSON J., DHILLON S., LE FLOC'H E. (1995). On the need to select an ecosystem of reference, however imperfect: A reply to Pickett & Parker. *Restoration Ecology* 3: 1-3.
- ARONSON J., MILTON S.J., BLIGNAUT J. Editeurs (2007). *Restoring Natural Capital: Science, Business and Practice*. Island Press, Washington, DC.
- ARONSON J., CLAEYS F., WESTERBERG V., PICON P., BERNARD G., BOCOGNANO J.M., DE GROOT, R. (2012). Steps Towards Sustainability and Tools for Restoring Natural Capital: Etang de Berre (southern France) case study. In M. Weinstein & E. Turner, eds. *Sustainability Science: Balancing Ecology and Economy*. Springer, New York. Pp. 111-138.
- ARONSON J., CLEWELL A., MORENO-MATEOS D. (2016). Ecological restoration and ecological engineering: Complementary or indivisible? *Ecological Engineering*.
- BALMFORD, A. et BOND, W. (2005). Trends in the state of nature and implications for human well-being. *Ecology Letters*. 8: 1218-1234.
- BLANCHER P., CATALON E., MENARD M., WALLIS C., MORDRET X., FONDRINIER F. (2013). ESAWADI - Approche par les services écosystémiques pour la mise en œuvre de la Directive Cadre Eau. Rapport de l'étude de cas de la Dordogne moyenne. 121p.
- BECK M. W., HECK K. L., ABLE K. W., CHILDERS D. L., EGGLESTON D. B., GILLANDERS B. M., HALPERN B., HAYS C. G., HOSHINO K., MINELLO T. J., ORTH R. J., SHERIDAN P. F., WEINSTEIN M. R. (2001). The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience*, 51 (8) : 633-641.
- BEIER P. et NOSS R.F. (1998). Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation biology*, vol. 12, n° 6, p. 1241-1252.
- BENAKA L.R., (1999). *Fish habitat: essential fish habitat and rehabilitation*, American Fisheries Society, Bethesda, 400 p.
- BOISSERY (2014). Restauration du milieu marin méditerranéen, état des travaux en cours et perspectives. Rapport Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 60 pages + annexes
- BOUCHOUCHA M., BATTUT J., LAUGIER T., DEROLEZ V. (2010). Définition d'une base de données des pressions sur les lagunes méditerranéennes françaises. Convention ONEMA, IFREMER.
- BOUCHOUCHA M., DARNAUDE A. M., GUDEFIN A., NEVEU R., VERDOIT-JARRAYA M., BOISSERY P., LENFANT P. (2016). Potential Use of Marinas as Nursery Grounds by Rocky Fishes: Insights from Four *Diplodus* Species in the Mediterranean." *Marine Ecology Progress Series* 547: 193-209. doi:10.3354/meps11641.
- BOUVRON M., TEILLAC-DESCHAMPS P., COREAU A., HERNANDEZ S., MEIGNIEN P., MORANDEAU D., NUZZO V. (2010). Projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France. Etudes et documents n°20, Commissariat Général au Développement Durable.
- BULLOCK J., ARONSON J., REY BENAYAS J.M., PYWELL R., NEWTON A. (2011). Restoration of ecosystem services and biodiversity. *Trends in Ecology and the Environment* 26:541-549.
- CHEMINEE A., FEUTEUN E., CLERICI S., COUSIN B., FRANCOUR P. (2014). Management of infralittoral habitats : towards a seascape scale approach. In "Underwater Seascapes", O. Musard *et al.*, 161-183.
- CHEVASSUS-AU-LOUIS B., SALLES J.-M., PUJOL J.-L. (2009). Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes : contribution à la décision publique, rapport du Centre d'analyse stratégique, 399 p.
- CLEWELL, A. et ARONSON, J. (2010). *La Restauration Ecologique: Principes, Valeurs, et Structure d'une Profession Emergente*. Actes Sud. Arles
- COLL M., PIRODDI C., STEENBEEK J., KASCHNER K., BEN RAIS LASRAM F., *et al.* (2010). The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. *PLoS ONE* 5(8): e11842. doi:10.1371/journal.pone.0011842

Bibliographie

- CREDOC, Biotope, Asconit Consultants (2009). Etude exploratoire pour une évaluation des services rendus par les écosystèmes en France, application du Millennium Ecosystem Assessment à la France. Etude conduite à la demande du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat (MEEDDM).
- DE GROOT R.S. ALKEMADE R., BRAAT L., HEIN L., WILLEMEN L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity* 7, 260–272
- DOHERTY P.J., DUFOUR V., GALZIN R., HIXON M., MEEKAN M.G., PLANES S. (2004) High mortality during settlement is a population bottleneck for a tropical surgeonfish. *Ecology* 85: 2422-2428.
- DUCROTOY J.-P. (2010). La restauration écologique des estuaires. Lavoisier, Tec & Doc, Paris.
- FORMAN R.T.T. et GORDON M. (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, New York.
- GECMEDD (2015) - Appui à l'émergence de la filière du génie écologique côtier en Méditerranée dans une approche de Développement Durable - ANNUAIRE & CARTOGRAPHIE - Acteurs du Génie Écologique Côtier en Méditerranée.
- GILLANDERS B.M., ABLE K.W., BROWN J.A., EGGLESTON D.B., SHERIDAN P.F. (2003). Evidence of connectivity between juvenile and adult habitats for mobile marine fauna: an important component of nurseries. *Mar Ecol Prog Ser* 247:281–295
- FRB (2013). Les valeurs de la biodiversité. Des clés pour comprendre la biodiversité n°3, mai 2013, frb, paris
- HARDEN JONES F.R. (1968). *Fish Migration*. St. Martin Press, New York, 325 pp.
- JONES G.P., SRINIVASAN M., ALMANY G.R. (2007). Population connectivity and conservation of marine biodiversity. *Oceanography*, 20 (3) : 100-111.
- LECAILLON G., MURENU M., FELIX-HACKRADT F., LENFANT P. (2012). Guide d'identification des post larves de Méditerranée. Réalisé par Ecocean pour la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité. Edition 2012. 64 pages.
- LE FLOC'H E. et ARONSON J., (1995). Écologie de la restauration. Définition de quelques concepts de base. *Nat. Sci. Soc.*, 3, 29-35
- MEA (Millennium Ecological Assessment) (2005). *Ecosystem and human well-being : synthesis*. Island Press, Washington, DC et Covelo, CA.
- MEEDDM/MNHM (2010). *Projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France*.
- MORANDEAU D. et MEIGNIEN P. (2010). Vers des indicateurs de fonctions écologiques : lien entre biodiversité, fonctions et services. *Le Point Sur* n°51, Commissariat Général au Développement Durable.
- MORANDEAU D. et VILAYSACK D. (2012). Compenser les atteintes à la biodiversité : expériences internationales et enseignements pour la France. *Le Point Sur* n°133, Commissariat Général au Développement Durable.
- PASTOR, J. (2008). Rôle des enrochements côtiers artificiels dans la connectivité des populations, cas du sar commun (*Diplodus sargus*, Linné, 1758) en Méditerranée nord-occidentale. Thèse de doctorat Université de Perpignan Via Domitia / Ecole Pratique des Hautes Etudes, 180 p.
- PASTOR J., KOECK B., ASTRUCH P., LENFANT P., (2013). Coastal man-made habitats: Potential nurseries for an exploited fish species, *Diplodus sargus* (Linnaeus, 1758). *Fisheries Research* 148, 74-80.
- PLANES S., JOUVENEL J.Y., LENFANT P. (1998). Density dependence processes on juveniles of sparid fish in the littoral of the Mediterranean Sea. *Oikos*, 83, 293–300.
- PEH K.S.-H., BALMFORD A., FIELD R.H., LAMB S., BIRCH J.C., BRADBURY R.B., BROWN C., BUTCHART S.H.M., LESTER M., MORRISON R., SEDGEWICK I., SOANS C., STATTSFIELD A.J., STROH P.A., SWETNAM R., THOMAS D.H.L., WALPOLE M., WARRINGTON S. & HUGHES F.M.R. (2014). Benefits and costs of ecological restoration: rapid assessment of changing ecosystem service values at a UK wetland. *Ecology and Evolution*. doi: 10.1002/ece3.1248
- PERES J.M. (1961). *Océanographie biologique et Biologie marine*. Presses Universitaires de France, Paris, 541 pp.
- REES W.E. (1995). Cumulative environmental assessment and global change. *Environmental Impact Assessment Review* 15:295-309.
- SALLES J.M. (2013). Entre propriétés des écosystèmes et bénéfices pour la société : l'évaluation économique des services fournis par les écosystèmes prairiaux. Présentation lors du séminaire Réseau Prairies, campus VetAgro-Sup Lempdes.
- SCHRÖTER M., VAN DER ZANDEN E. H., VAN OUDENHOVEN A. P.E., REMME R. P., SERNA-CHAVEZ H. M., DE GROOT R. S. AND OPDAM P. (2014). Ecosystem Services as a Contested Concept: a Synthesis of Critique and Counter-Arguments. *Conservation Letters*, 7: 514–523. doi: 10.1111/conl.12091
- SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group) international primer on ecological restoration
- SER - Society of Ecological International Science & Policy Working Group (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*. SER & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- VAN ANDEL, J. & ARONSON J., Editeurs (2012). *Restoration Ecology: The New Frontier*. 2nd edition. Wiley- Blackwell, Oxford, UK.
- WALKER B.H., HOLLING C.S., CARPENTER S.R., KINZIG A. (2004). Resilience, Adaptability and Transformability in Social-Ecological Systems. *Ecology and Society*, 9 (2): 5
- WALKER B. H. et PEARSON L. (2007). A resilience Perspective of the SEEA, *Ecological Economics* 61, 708-715
- WHITE P.S. et WALKER J.L. (1997). Approximating Nature's Variation: Selecting and Using Reference Information in Restoration Ecology. *Restoration Ecology* 5:338–49.

Sites internet

	www.
Agence de l'Eau RMC	eurmc.fr
CICES	cices.eu
Conseil Départemental du Var	var.fr
Dictionnaire du droit privé de Serge Braudo	dictionnaire-juridique.com
DIRM Méditerranée	dir.mediterranee.developpement-durable.gouv.fr
Eau France, Rhône-Méditerranée	rhone-mediterranee.eaufrance.fr
eCATE	crem.univ-perp.fr
ECOCEAN	ecocean.fr
Graines de Mer	sm2solutionsmarines.com
IFREMER	ifremer.fr
Lamy Environnement	lamy-environnement.com
MEA	milleniumassessment.org
MEDAM	medam.org
MEDDE	developpement-durable.gouv.fr
MEDTRIX	medrix.fr
NAPPEX	nappex.fr
Observatoire marin	observatoire-marin.com
Pôle Mer Méditerranée	polemermediterranee.com
Préfecture maritime Atlantique	premar-atlantique.gouv.fr
SUBLIMO	life-sublimo.fr
TEEB	teebweb.org

Crédits photographiques

Adrien Cheminée/CREM, CEFREM, UPVD : couv (haut droite) / p. 6&7 / p. 8&9 / p. 28 (8 du haut) / p. 33 (milieu haut & milieu bas) / p.43 bas / p. 83
Agnès Cazejust/Association Labelbleu : p. 45 [réponse "bouée"]
Anaïs Gudefin/CREM, CEFREM, UPVD: p.10 / p. 28 (2 du haut) / p.29 / p.33 haut & bas / p.59 / p.61 haut
Andromède Océanologie : p. 74, 80
CEN-LR / programme Life-Nature : p. 43
Didier Fioramonti/association Esprit Nature Liberte : p. 65 bas
Fabrice Bernard/Conservatoire du Littoral : p. 62 bas
Fabrice Javel/SAFEGE : p. 73 haut
Gérard Carrodano : p.45 ["impact"]
Gilles Saragoni/CREM, CEFREM, CNRS : p. 28 (4 du haut) / p. 20 droite
Jean-François Planque/CG 66 Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls : p. 45 ["pression"]
Jean-Philippe Morin/Observatoire marin des Maures : p. 45 ["État"]
Jérémy Pastor/CREM, CEFREM, UPVD: couv photo principale / p. 25 haut / p. 28 (3 et 9 du haut) / p. 73 bas
Laure Hélène GARS/Plateforme Stella Mare, Bastia : p. 20 milieu
Lucas Bérenger : p. 28 (1, 6 et 7 du haut) / p. 60 droite / p. 61 droite / p. 81 cotés haut
Marion PEIRACHE/Parc National de Port-Cros : p. 20 gauche
Observatoire Medobs : p. 45 ["force motrice"] / p. 70 / p.72
Reda Neveu/CREM, CEFREM, UPVD: p.61 gauche
Rémy Dubas/Ecocean : toutes photos 4^{ème} de couv / filets de chapitres / p. 25 milieu / p. 57 / p. 68 & 69 / p. 81 bas
Sébastien Fonbonne/Association VERSeau : p. 62 haut
Stephano Guerrieri/ www.naturamediterraneo.com : p. 25 bas
Sven Michel Lourié/SM² Solutions Marines : p.28 (5 du haut et 1 du bas) / p. 40 / p.53 haut / p.60 gauche / p. 81 milieu haut

Crédits graphiques

Cyril Fédérico - www.tchi2.com - Maquettisme et Réalisation graphique de cet ouvrage
Illustrations scientifiques & techniques : figures 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 26, 27, 28.

Imprimé par
l'agence Osmoze Communication
tel. 04 84 25 08 84
- Avril 2015 -

*Les petits fonds côtiers
sont des zones à forts enjeux
aussi bien écologiques que socio-économiques.*

*Les nombreux habitats qui les composent
(petits fonds rocheux, sableux, herbiers...),
sont soumis - plus qu'ailleurs -
aux pressions anthropiques terrestres et marines.*

*Pourtant,
cette zone d'interface est cruciale dans le cycle de vie
d'une grande majorité d'espèces de poissons
(zones de nurseries) et offre également à l'Homme
de très nombreux services écosystémiques.*

*Depuis longtemps impactés par les divers aménagements
côtiers, il devient aujourd'hui nécessaire d'agir pour essayer
de restaurer, réhabiliter ou réaffecter ces milieux.*

*Des moyens techniques sont actuellement développés
et mis en œuvre, confortés par un intérêt politique
et une filière en développement.*

*Ce guide a pour objectif de donner les clés pour une
meilleure compréhension scientifique et socio-économique
de la restauration écologique en milieu côtier, illustrée par
des exemples d'actions menées en Méditerranée.*

