

L'homme et la biodiversité marine : les liaisons dangereuses

Rachid Amara

*Université du Littoral – Laboratoire d'Océanologie et Géosciences CNRS, UMR 8187,
F-62930 Wimereux, France*

Article invité

Résumé

La biodiversité est une dimension essentielle du vivant et fournit les éléments essentiels à la vie et la prospérité de l'ensemble de l'humanité. Elle s'exprime par la diversité génétique, la diversité des espèces et la diversité des écosystèmes. L'Organisation des Nations Unies a proclamé 2010, année internationale de la biodiversité pour alerter l'opinion publique sur l'état et les conséquences du déclin de la biodiversité dans le monde. En effet, partout dans le monde, les densités de populations humaines ne cessent d'augmenter sur la frange littorale (plus de 60%). Cela se traduit par une accélération continue et rapide de l'utilisation de l'espace littoral et un accroissement des pressions sur les écosystèmes et les espèces qu'ils renferment. La pollution de la mer, dont 80 % provient des activités humaines d'origine tellurique, la navigation, l'introduction d'espèces invasives, la surexploitation des ressources halieutiques, la dégradation, la fragmentation et les pertes d'habitats sont autant de facteurs responsables de l'érosion de la biodiversité marine. Exacerbée par le changement climatique, cette anthropisation menace de détruire l'équilibre fragile des écosystèmes marins et de la biodiversité qu'ils renferment. Cet article fait le point sur les connaissances actuelles sur la biodiversité marine, son importance et les pressions qu'elle subit.

INTRODUCTION

La biodiversité constitue la richesse naturelle de la terre et fournit les éléments essentiels à la vie et la prospérité de l'ensemble de l'humanité. L'Organisation des Nations Unies a proclamé 2010, année internationale de la biodiversité pour alerter l'opinion publique sur l'état et les conséquences du déclin de la biodiversité dans le monde. Les mers et les océans couvrent 70 % de la surface du globe et présentent des habitats qui sont, au point de vue biologique, riches et extrêmement variés, allant des eaux côtières peu profondes aux fosses abyssales représentant ainsi un important réservoir de biodiversité. Toutefois, la difficulté et la rareté des inventaires qualitatifs et quantitatifs font que les connaissances sur la biodiversité marine sont encore incomplètes et même inexistantes dans certaines zones et en particulier dans les

grandes profondeurs de l'océan. Cela résulte de la spécificité du milieu marin : monde secret (difficile à observer) et mystérieux où les atteintes à la biodiversité peuvent passer inaperçues. Milieu en trois dimensions (vs 2 D en terrestre) et qui se caractérise par l'absence de barrières et la facilité de dispersion des organismes. Ainsi, de nouvelles espèces sont découvertes au fur et à mesure que l'exploration des océans se poursuit. C'est le cas par exemple pour douze espèces nouvelles de requins, raies et chimères récemment découvertes entre la Nouvelle-Zélande et la Nouvelle-Calédonie en seulement un mois de prospection [1]. La biodiversité désigne la quantité et la variabilité au sein des organismes vivants d'une même espèce (diversité génétique), d'espèces différentes ou d'écosystèmes différents. Face à des pressions (naturelles ou anthropiques), la perte de diversité génétique affaiblit la capacité d'une espèce à s'adapter, la perte de la diversité des

Auteur correspondant : Rachid.Amara@univ-littoral.fr

espèces affaiblit la capacité d'une communauté biologique à s'adapter, la perte de la diversité fonctionnelle affaiblit la capacité d'un écosystème à s'adapter, et la perte de la diversité des écosystèmes affaiblit la capacité de la biosphère tout entière à s'adapter.

Aujourd'hui, environ 275 000 espèces ont été recensées dans les mers et les océans soit 15 % de la biodiversité totale de la planète. Cette biodiversité, qui est le produit de plusieurs milliers d'années d'évolution, constitue un patrimoine naturel et une ressource vitale dont l'humanité dépend. Beaucoup de ces espèces sont indispensables au bien-être des humains, soit directement comme ressources renouvelables à valeur marchande, soit indirectement pour maintenir le fonctionnement et la viabilité des écosystèmes marins. Les poissons et les invertébrés marins sont parmi les dernières sources de nourriture sauvage sur la planète, couvrant actuellement près de 15 % de l'apport en protéines animales de la population mondiale et en sont les principales (voire les seules) sources pour un milliard d'hommes [2]. La biodiversité joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes marins et contribue fortement à la valeur économique des services rendus par les écosystèmes marins. La richesse locale des espèces peut améliorer la productivité des écosystèmes et leur stabilité (capacité à supporter des perturbations récurrentes) [3]. À partir d'une métaanalyse d'un grand nombre d'études publiées, Worm *et al.* [3] concluent que les écosystèmes les plus diversifiés sont aussi les moins susceptibles de connaître l'effondrement ou la disparition d'espèces commerciales importantes car les mieux à même à résister aux variations naturelles ou aux agressions anthropiques. De ce fait, la perte de biodiversité pourrait ainsi avoir de graves conséquences sur l'approvisionnement des populations humaines en produits de la mer ainsi que sur l'économie. La biodiversité ne constitue pas en elle-même un service

rendu par un écosystème, mais se trouve à la base de l'approvisionnement de services [4]. La valeur de la biodiversité est l'importance qu'accordent les sociétés humaines à la diversité des formes de vie ainsi qu'aux services rendus par la biodiversité. Ceci inclut des considérations morales ayant conduit à une volonté de protection de la biodiversité, et des tentatives pour quantifier de façon monétaire à la fois les formes de vie et les fonctions et services qu'elles assurent pour les activités et les sociétés humaines. Selon Costanza *et al.* [5], 63 % de la valeur mondiale totale des services d'écosystème est apportée par les écosystèmes marins (20.9 billions \$. an⁻¹) dont plus de la moitié par les écosystèmes côtiers.

L'érosion de la biodiversité

La perte de biodiversité est devenue l'une des plus grandes préoccupations environnementales du siècle dernier. Les tendances observées actuellement sur la terre et dans les océans montrent les graves dangers que représente la perte de biodiversité pour la santé et le bien-être de l'humanité. Le changement climatique ne fait qu'exacerber ce problème. L'accroissement des pressions anthropiques sur le littoral mais aussi l'exploitation des océans a sérieusement dégradé la biodiversité marine. Plus de la moitié de la population mondiale vit aujourd'hui à moins de 60 km le long des 1,6 million de kilomètres de côtes qui bordent les mers et les océans, et ce chiffre pourrait atteindre 75 % en 2020. En Europe, les régions littorales sont le siège d'une activité économique importante (40% du PIB européen). Elles dépendent à la fois directement et indirectement de l'économie maritime, et connaissent une croissance plus rapide que la moyenne de l'économie européenne. La longueur importante de la côte européenne (68 000 km) est un atout économique et écologique, et un facteur d'attractivité pour l'Europe [6]. Dans ce contexte, les atteintes à l'environnement marin croissent : artificialisation des côtes,

littoralisation des activités et des implantations urbaines, résidentielles et touristiques, augmentation des rejets de polluants et de macro déchets non dégradables.

Cette menace sur les habitats et la biodiversité peut avoir des conséquences importantes au niveau social, économique et biologique. Malgré ces atteintes à l'environnement, il est encore difficile aujourd'hui de quantifier précisément l'érosion de la biodiversité. Cela tient à la difficulté d'observation et de détection des extinctions en milieu marin. Selon le document de prospective scientifique sur la biodiversité réalisée par Silvain *et al.* [7], des questions clés restent en suspens : quelle est l'importance de la crise actuelle de la biodiversité ? Selon Roberts et Hawkins [8], les espèces marines présentent un risque d'extinction beaucoup plus élevé que nous l'avions supposé. Comment se traduit la crise actuelle en termes de disparitions d'espèces, de déplacements de populations et d'espèces ou encore de changements dans la composition des communautés fauniques ou floristiques ? Avec quels indicateurs peut-on mesurer l'amplitude de cette crise ? Quels sont les facteurs responsables de cette érosion de la biodiversité et quelle est la part des facteurs naturels et des activités humaines dans l'origine de ces changements ? Quelles seront les conséquences de cette érosion pour le fonctionnement des écosystèmes, pour les services écosystémiques et pour les populations humaines ?

Dulvy *et al.* [9] ont produit le travail le plus abouti qui permet aujourd'hui de dresser un panorama des espèces marines éteintes à un niveau local, régional ou bien global. L'exploitation (pêche) apparaît comme étant la principale cause des extinctions (55 %) à toutes les échelles d'analyse, suivie par la perte ou la dégradation des habitats (37 %), le reste étant attribué aux espèces invasives, au changement climatique, aux pollutions ou aux maladies.

La biodiversité marine fortement marquée par l'empreinte humaine

La biodiversité marine est fragilisée par les activités humaines (Fig. 1). Les atteintes à la biodiversité marine sont la résultante d'une démographie humaine croissante et d'une activité humaine en pleine expansion économique dont les besoins en ressources renouvelables (pêche) et non renouvelables (minérales, énergétiques) ne cessent de s'accroître. Il est toutefois difficile de différencier les modifications qui résultent des contraintes naturelles (facteurs climatiques) de celles qui sont induites par les activités humaines. Plusieurs causes ont une incidence sur la biodiversité marine, aux niveaux génétique, spécifique et écosystémique ; il est admis d'en reconnaître cinq principales :

- la pêche
- la pollution chimique et l'eutrophisation
- la dégradation physique des habitats
- l'invasion d'espèces exotiques
- le changement climatique

Il est difficile d'imputer l'extinction d'espèces, de races ou de variétés, ainsi que la dégradation d'écosystèmes ou de services écosystémiques, à une seule de ces causes, car toutes agissent simultanément, parfois même en interaction avec des effets synergiques. Ces atteintes à la biodiversité peuvent entraîner localement l'extinction d'espèces, mais la perte d'espèces à l'échelle globale est encore rare en milieu marin [9]. C'est le cas par exemple de l'Esturgeon européen, *Acipenser sturio*, le plus grand poisson migrateur de France, qui passe la majeure partie de sa vie en mer et rejoint les eaux douces pour se reproduire. Autrefois présente dans tous les grands fleuves d'Europe occidentale, cette espèce amphihaline a progressivement disparu au cours du XXème siècle de la majeure partie de son aire de répartition. La dégradation de la qualité de l'eau (Rhin, Seine...), la destruction des frayères par extraction de granulats (Garonne, Dordogne), les entraves aux migrations (Rhin, Rhône...) et une pêche intensive

incontrôlée qui a capturé aussi bien les juvéniles que les géniteurs ont conduit à la quasi-extinction de l'espèce. Elle ne compte plus désormais qu'une seule population de quelques milliers d'individus, dont les derniers sites de reproduction sont limités au bassin versant

Gironde-Garonne-Dordogne. C'est l'espèce de poisson européen la plus menacée. L'espèce est classée "En danger critique d'extinction" en France tout comme au niveau mondial.

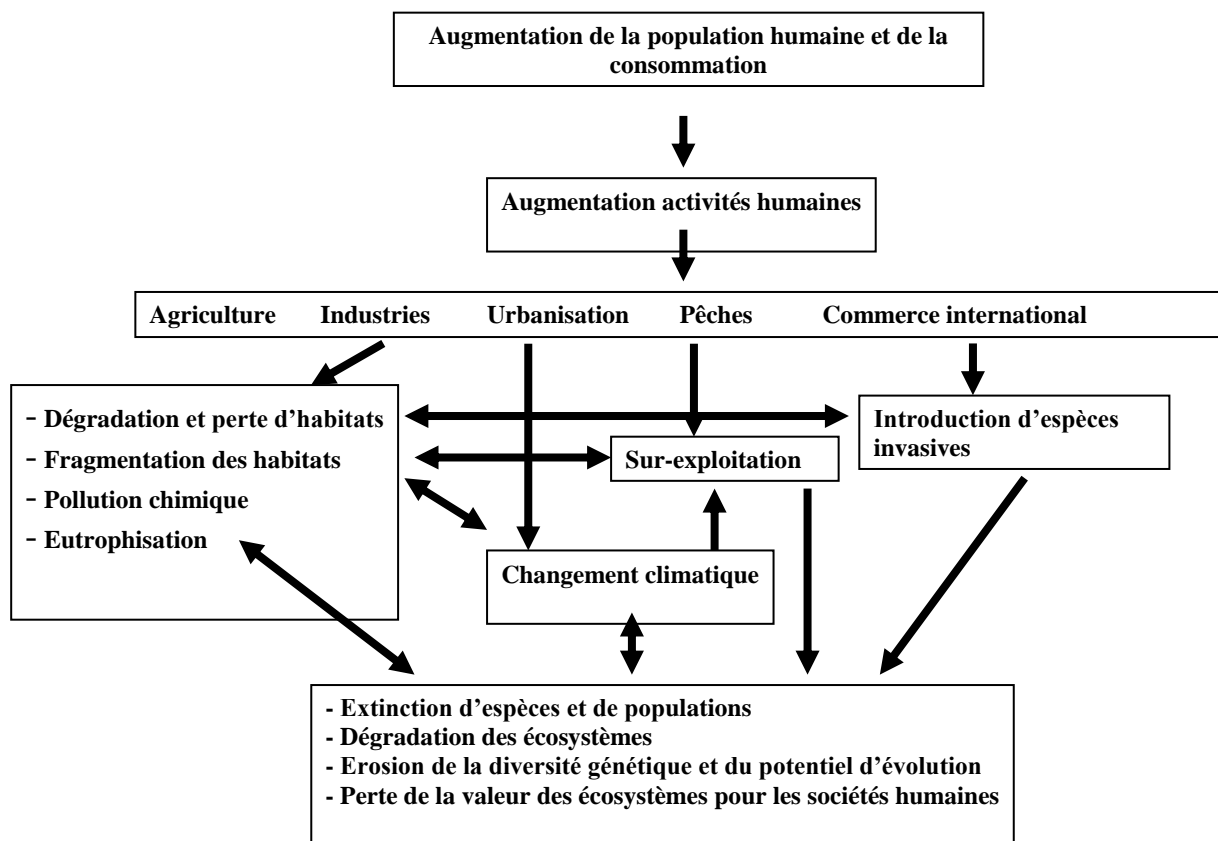


Figure 1. Principales causes ayant une incidence sur la biodiversité marine (modifié d'après Groom *et al.*, [10])

Une multitude de pressions sur le milieu marin et sur la biodiversité

Effets de la pêche.

La pêche est le principal facteur qui menace la biodiversité des poissons marins [11]. Par exemple, dans le monde plus de 40 populations locales de poissons marins ont disparu en raison de la surexploitation [9]. Les effets de la pêche sur la biodiversité ont été largement étudiés et décrits et concernent les effets sur les espèces ciblées par la pêche, les effets sur la structure génétique, les effets sur les captures accessoires, les effets sur les communautés et les réseaux trophiques et les effets sur l'habitat.

Plus des trois quarts des stocks de poissons pêchés sont aujourd'hui considérés comme pleinement exploités ou surexploités. La raréfaction de nombreuses ressources marines met en danger la diversité constitutive des écosystèmes marins et parfois leur fonctionnement. La surexploitation a entraîné des extinctions locales ou régionales de quelques espèces de poissons ou de mollusques comme c'est le cas pour la population de hareng islandais [12]. Aujourd'hui la liste rouge des animaux menacés de l'IUCN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) comporte plus de 100 espèces de poissons marins qui ont connu un important déclin de leur abondance ou dont les populations locales se sont éteintes.

De récentes études ont montré que la surpêche entraînait une diminution de la taille, de l'âge des poissons, de la diversité des classes d'âges et de l'âge à la maturité sexuelle. En outre, la pêche affecte non seulement les biomasses mais aussi la composition des peuplements. Selon Pauly *et al.* [13], la surpêche est en train de réduire le niveau trophique marin. L'abondance des populations des grandes espèces prédatrices à croissance lente et à maturité sexuelle tardive tend à diminuer au profit des espèces à croissances et renouvellement rapides comme l'anchois

ou la sardine [14]. Ainsi, la raréfaction des gros poissons prédateurs modifie profondément et durablement le fonctionnement des écosystèmes marins. Dominés par des espèces de petites tailles et à courte durée de vie, les écosystèmes deviennent plus instables car tributaires des variations environnementales. En outre, la pêche d'espèces de niveau trophique de plus en plus bas a des conséquences variées sur la biodiversité des océans. On estime que la croissance rapide des essaims de méduses dans le monde au cours des dix dernières années résulte en partie de cette situation. Les méduses ont remplacé les poissons en tant que planctivores dominants dans plusieurs régions, et des inquiétudes ont été exprimées sur le fait que ces changements communautaires ne seront peut-être pas facilement réversibles, dans la mesure où les méduses mangent aussi les oeufs des poissons qui leur font concurrence [15].

La Pêche modifie aussi les flux d'énergie et les interactions entre espèces dans les réseaux trophiques marins tout simplement parce que toutes les espèces pêchées sont des composants de la chaîne alimentaire. Ainsi toute modification de la biomasse d'un stock peut affecter l'équilibre du réseau trophique, l'abondance des autres espèces présentes dans le milieu et modifier le fonctionnement de l'écosystème. Par exemple, la surexploitation et la diminution de la biomasse de morue ont affecté directement et positivement sa principale proie, le sprat (*Sprattus sprattus*), espèce zooplanctivore, et indirectement et négativement les biomasses de zooplancton et de phytoplancton [16]. Cette régulation des niveaux trophiques par les prédateurs (top-down control pour les Anglo-Saxons) bien que longtemps sous-estimée par les spécialistes est aujourd'hui de plus en plus souvent mise en évidence (ex. [17] ; [18]). Dans certains cas la modification de l'écosystème est telle que des mesures de réduction, voire de cessation totale de l'exploitation de certains stocks comme c'est le cas pour la morue du Golfe du

Saint-Laurent ne se traduisent pas par une restauration des populations [19].

La Manche et la mer du Nord offrent des conditions propices à une productivité élevée des stocks halieutiques. La pêche est la principale utilisation des ressources de cette région. La plupart des stocks sont en déclin en raison de la surpêche. 30-40% de la biomasse des espèces exploitées est capturée chaque année ! Les contraintes dues à d'autres facteurs comme le changement climatique, la perte d'habitat, les espèces envahissantes, l'eutrophisation et la pollution peuvent accentuer la baisse de la pêche et inhiber le recouvrement des stocks [11]. Par exemple, le déclin de la morue en mer du Nord est dû aux fortes pressions de pêche combinées avec une modification des conditions océanographiques qui ont affecté les zooplanctons qui constituent les proies de cette espèce [20].

Le gaspillage de la pêche

Malgré les 25 000 espèces de poissons connues, l'homme n'en consomme qu'un nombre très limité. Ce phénomène accentue le problème des prises accessoires. En effet, dans de nombreux lieux de pêche, les poissons capturés ne sont pas ceux qui sont ciblés (espèces sans intérêt commercial, ou non commercialisables pour des raisons de taille (immatures, juvéniles) ou d'interdiction de pêche) et, dans de nombreux cas, ils sont simplement rejetés à la mer, morts ou en train de mourir. Les estimations concernant la gravité du problème des prises accessoires varient. Les dernières études suggèrent qu'environ 8 % de la prise totale au niveau mondial est remis à la mer mais des estimations antérieures indiquaient qu'environ un quart de celle-ci pouvait être repassée par-dessus bord [14]. Dans certaines pêcheries de chalutage de crevette, le rejet peut représenter 90 % de la prise. Selon une étude anglaise, pour 3 poissons pêchés par les chalutiers en mer du Nord, deux sont rejetés sans vie en mer [21].

D'après Cury et Misery [14], en mer du Nord 576 000 tonnes de poissons seraient ainsi annuellement rejetées par les pêcheurs (3 % de la biomasse totale de l'ichtyofaune et 22% des quantités de poissons débarquées). À tous ces poissons rejetés, il faut encore ajouter 150 000 tonnes d'invertébrés benthiques. Un seul passage de chalut récolte jusqu'à 20 % de la faune et de la flore du plancher océanique. Les filets danois captureraient entre 5000 et 7000 marsouins par an en mer du Nord, ce qui représente 5 % de la population totale de ce mammifère marin. De nombreux autres organismes marins comme les requins, tortues et oiseaux marins sont victimes de cette pêche non sélective. Dans le monde, 300 000 cétacés, 100 000 albatros et environ 40 000 tortues marines en danger ou menacées d'extinction meurent chaque année du fait des activités de pêche, ce qui fait que de nombreuses espèces sont désormais en voie de disparition.

La perte et la dégradation physique des habitats

Les zones côtières à travers le monde ont subi d'importantes altérations physiques au cours des dernières décennies. Les surfaces d'habitats perdus en mer sont comparables avec celles des écosystèmes terrestres. Avec les mangroves, les récifs coralliens font aujourd'hui partie des habitats marins les plus menacés. On estime que 40 % des récifs coralliens sont significativement endommagés, que 30% à 60% des mangroves ont été perdus en Asie du Sud, et que plus de la moitié des marais salants de la planète ont disparus [9]. La perte d'habitat peut concerner un habitat essentiel à une espèce nécessaire pour boucler son cycle de vie. Les mangroves, les zones humides, les estuaires et de nombreux autres habitats côtiers peu profonds jouent un rôle important dans le déroulement du cycle de vie de nombreuses espèces marines. Ce sont des zones de nourriceries, des frayères et des voies de migration [22]. Sur les côtes de la Manche, la zone intertidale et les estuaires

sont fréquentés par les juvéniles de 19 et 29 espèces de poissons respectivement, dont un grand nombre est représenté par des espèces commercialement exploitées en mer ([23];[24]). Ces zones sont indispensables pour le maintien de la biodiversité et le renouvellement des populations marines. Par exemple, la dégradation d'habitat dans l'estuaire de la Seine a entraîné une perte de 25 % de la population totale de juvénile de sole, *Solea solea* en Manche Est entre 1850 et aujourd'hui [25]. La pêche, notamment les chaluts de fond et les dragues à mollusques, est l'une des causes principales de destruction de l'habitat benthique. Annuellement les surfaces couvertes par le chalutage sont estimées à la moitié de la surface du plateau continental mondial [26]. Cette surface représente 150 fois la surface de déforestation annuelle en milieu terrestre. L'activité de pêche peut parfois avoir une intensité préoccupante. Certaines zones de pêche productives en mer du Nord sont chalutées en moyenne 8 fois par an et entre 25 à 141 fois dans certains estuaires [27]. Ces destructions d'habitats affectent de nombreuses espèces sédentaires, la composition, la structure et la productivité des peuplements benthiques [28]. Bien qu'à l'échelle locale les impacts des activités de pêche sont clairement négatives pour les habitats et les populations benthiques, il est difficile de savoir les impacts à plus grande échelle et les conséquences sur les extinctions d'espèces.

Pollution marine

Les activités humaines sont responsables de l'introduction dans le milieu marin d'un grand nombre de substances. Selon le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), 80 % des pollutions marines sont d'origine terrestre et anthropique. Aux sources industrielles s'ajoutent les effluents domestiques et urbains ainsi que les apports diffus dus aux usages agricoles. L'impact de la pollution des eaux marines est mal mesuré, mais il

serait responsable d'importants effets létaux et sublétaux sur les organismes marins. La pollution a des répercussions à tous les niveaux trophiques, des producteurs primaires aux consommateurs supérieurs et, par conséquent, affecte le fonctionnement des écosystèmes. Notre compréhension générale de la façon dont la pollution et les différents contaminants influencent la biodiversité marine est limitée. Du point de vue de gestion, les principales questions sont de savoir quels habitats marins sont plus vulnérables aux contaminants et quelles classes de contaminants sont plus susceptibles de causer des impacts négatifs sur la biodiversité.

La forme de pollution la plus commune et la plus visible est la pollution pétrolière causée par les accidents de navires pétroliers et le nettoyage des soutes en mer. Le pétrole déversé en mer constitue une pollution importante et préoccupante à l'échelle globale. On estime à six millions de tonnes par an la quantité d'hydrocarbures introduite dans les océans par l'activité humaine ce qui constitue par conséquent une cause fondamentale de la pollution des océans. Lors de la pollution de l'Amoco Cadiz sur les côtes nord de Bretagne, plusieurs dizaines d'espèces ont été affectées, cependant alors que les crustacés et les mollusques ont montré une forte mortalité, les polychètes se sont avérées beaucoup plus résistantes même dans des sédiments fortement pollués [29]. Les atteintes chroniques à l'environnement, moins spectaculaires, sont tout aussi nocives pour le milieu marin. Il existe aujourd'hui plus de 100000 molécules chimiques et il est difficile de savoir quelles en sont les conséquences sur les organismes vivants. Certains de ces contaminants entraînent chez les organismes marins des perturbations endocriniennes, des modifications du comportement, des perturbations du métabolisme énergétique et des réponses génétiques. L'augmentation des matières en suspension colmate les organes de filtration ou de récolte de la nourriture. La

Manche et le sud de la mer du Nord comprennent une grande diversité d'habitats côtiers (baies, estuaires, larges zones intertidales) présentant différents niveaux de contamination chimique en relation avec le degré d'anthropisation. Un état des lieux récemment réalisé a montré des différences d'imprégnation par les métaux chez les poissons le long de ce littoral [30], combinées à l'apparition de pathologies [31] et à des performances biologiques moindres (moindre croissance et indices de condition, faible accumulation de réserves énergétiques chez les juvéniles) pour les sites les plus anthropisés, i.e. l'estuaire de la Seine et les secteurs des ports de Calais et Dunkerque ([32];[33]).

Au-delà des substances surveillées classiquement (métaux, organochlorés, pesticides, hydrocarbures), une préoccupation majeure se fait sur les éventuels effets de nombreuses autres substances chimiques que l'on retrouve pour les usages domestiques ou comme produits cosmétiques ou pharmaceutiques (antibiotiques, hormones, stéroïdes). Ces substances sont qualifiées de contaminants émergents. En 2002, la consommation d'antibiotiques était de 8 500 T par l'homme et de 4 700 T par les animaux dans l'UE (800 T par l'homme, 1 300 T par les animaux en France). Ces substances se retrouvent en grande partie dans le milieu marin car les stations d'épuration, bien qu'elles se soient énormément améliorées sur le plan technique, n'ont pas été conçues pour éliminer ces molécules.

La question des perturbations endocriniennes en milieu aquatique a émergé à partir des effets d'un composé, le tributylétain (TBT), un agent biocide antifouling utilisé sur les bateaux [34]. Chez une espèce marine commune sur nos côtes, la pourpe *Nucella lapillus*, on a observé de nombreux cas d'imposex, c'est-à-dire l'apparition d'un pénis chez les femelles. Obstruant les voies génitales, le spermiducte correspondant à ce pénis empêchait la libération des ovocytes,

rendant l'individu impropre à la reproduction. Cette stérilisation des femelles peut conduire à la disparition de la population. En France, depuis septembre 2003 le TBT est strictement interdit à la seule exception de son usage par la marine nationale. Des perturbations endocriniennes ont également été mises en évidence chez des poissons telles que la maturité précoce des femelles, l'intersexualité et l'induction de la vitellogénine. Dans l'estuaire de la Seine, diverses espèces de poissons présentent des signes de féminisation et montrent un déséquilibre net du sex-ratio en défaveur des mâles. Les perturbations résultant de la féminisation semblent pouvoir conduire à la réduction ou la disparition de population de poissons [35]. Aujourd'hui, environ 550 molécules sont suspectées d'agir comme perturbateurs endocriniens [36].

La pollution par les macrodéchets est un problème de pollution généralisé qui affecte tous les océans du monde. Sa menace pour le milieu marin a été ignorée pendant longtemps et, ce n'est que récemment que sa gravité a été reconnue [37]. Les macrodéchets sont la cause de lésions et de décès de nombreuses espèces marines (tortues, albatros, phoques, baleines ou poissons), soit parce que ceux-ci y restent emprisonnés soit parce qu'ils les prennent pour des proies et les avalent. Ils constituent des pièges physiques et des leurres pour la biodiversité marine. Dans le monde, 10 % des 260 millions de tonnes de matières plastiques produites annuellement se retrouvent en mer. Selon les estimations de l'Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer), en mer du Nord, il y aurait 150 millions de débris entre la surface et 200 m de profondeur.

L'eutrophisation des océans

L'eutrophisation est un phénomène courant dans les eaux marines côtières. Il s'agit d'une fertilisation excessive des eaux due à un apport massif de composés azotés et phosphorés provenant de l'activité agricole et des rejets domestiques et

industriels. Ces composés favorisent le développement des micro-algues (phytoplanctons) et des macroalgues qui constituent le premier maillon de la quasi-totalité des chaînes alimentaires maritimes. Ce phénomène est à l'origine de l'augmentation du nombre de marées vertes, rouges ou brunes et des poussées planctoniques sur les côtes européennes. L'exemple le plus préoccupant en matière d'atteinte au patrimoine naturel côtier, est fourni par les « marées vertes » à ulves affectant depuis les années 70 de nombreux sites de la cote de Bretagne. L'eutrophisation peut avoir pour conséquence un éventail de perturbations indésirables pour l'écosystème marin, y compris une variation de la composition de la flore et de la faune qui affecte les habitats et la biodiversité, et l'épuisement de la quantité d'oxygène entraînant la mort des poissons et d'autres espèces. En baie de Somme, des mortalités massives de toute la faune benthique et notamment de *Cerastoderma edule* (la coque, espèce exploitée) ont été observées suite à une eutrophisation du milieu [38].

Depuis plusieurs décennies, une évolution sensible des populations phytoplanctoniques a été observée en Manche et en mer du Nord et certaines ont eu des répercussions économiques et écologiques néfastes. C'est le cas de *Phaeocystis pouchetii* qui est à l'origine de blooms planctoniques très importants qui se manifestent en mer par l'apparition d'un épais mucilage dans l'eau et sur la côte par l'apparition d'une épaisse couche d'écume ou mousse (de couleur blanc-gris à brunâtre ou blanc jaunâtre). Les pêcheurs de la manche occidentale française nomment ces blooms « *vert de mai* », « *crasse* » (synonyme d'écume), ou parlent du « *gluant* », ou du « *limon* ». Sur la zone intertidale, les dépôts de mousse et leur dégradation entraînent des mortalités de la macrofaune benthique [39].

Changement climatique

Le réchauffement des eaux

Tous les scientifiques reconnaissent la réalité du changement climatique que nous vivons actuellement. La température des eaux de surface a augmenté d'environ 1,5°C depuis les années 60. En mer du Nord la température a augmenté de 1,1°C au cours des 30 dernières années. Des recherches récentes ont permis de constater un réchauffement marin jusqu'à 3 000 mètres de profondeur. Les conséquences sur le milieu marin se font déjà sentir : le niveau de la mer s'élève, les courants marins se modifient, les océans deviennent plus acides, les aires de répartition des espèces se déplacent...

Les espèces marines sont moins contraintes que sont les espèces terrestres par des barrières physiques de transport et de migration ; leur aire de répartition est principalement fixée par les facteurs environnementaux (température, oxygène, lumière, salinité, etc.). Il existe de nombreux exemples de plancton [40] et d'espèces de poissons [41] étendant rapidement leur aire de répartition lorsque leur environnement change. L'impact du changement climatique sur les océans et la biodiversité est multiple [42]. La manifestation la plus visible dès aujourd'hui du changement climatique est le déplacement d'espèces. Des poissons, des mollusques, des crustacés remontent vers le Nord à la recherche d'eaux plus froides [43]. Un nombre croissant d'espèces venues des zones subtropicales ou des eaux chaudes voit leur abondance augmenter dans nos eaux.

Beaucoup d'organismes marins sont poïkilothermes et la température affecte leur physiologie et métabolisme. Chaque espèce a des tolérances spécifiques en termes de températures. Parce que de nombreux organismes marins vivent déjà près de leur limite de tolérance thermique,

les augmentations de température peuvent influencer négativement sur leur performance et leur survie. C'est le cas des coraux bâtisseurs de récifs vivants très proches de leur limite supérieure de tolérance thermique, et chez qui des épisodes chauds ont entraîné le blanchissement des coraux et une importante mortalité. Le suivi à long terme de l'abondance du phytoplancton, zooplancton et poissons montrent que le changement climatique a bouleversé l'ensemble des communautés vivantes.

Le réchauffement climatique affecte les espèces exploitées. Les pêcheurs le constatent de plus en plus, le contenu de leurs filets évolue sous l'impact du réchauffement. Ces changements ne sont pas en eux-mêmes négatifs, puisqu'ils débouchent parfois sur de nouvelles possibilités d'activités de pêche. Le cas le plus emblématique de ce phénomène est le rouget de roche, *Mullus surmuletus*, désormais très présent en Manche et même en mer du Nord : de 10 tonnes en 1985, ses captures sont passées à 700 tonnes en 2005. À l'inverse, le changement climatique paraît avoir un effet amplificateur des conséquences de la surpêche. Le réchauffement semble jouer un rôle dans la diminution des stocks de morue en mer du Nord. Cette diminution est causée par les déplacements de populations de planctons. Le copépode *Calanus finmarchicus*, l'espèce dominante dont se nourrissent les larves de morue, s'est déplacé de la mer du Nord vers l'océan Arctique, à la recherche d'eaux plus froides. Sa biomasse en mer du Nord a baissé de 70 % depuis les années 1960. Les espèces de planctons venues du Sud, qui la remplacent, sont moins abondantes et ne semblent pas convenir au stade larvaire de la morue. La diminution de la proie favorite de leurs larves expliquerait donc partiellement les problèmes du cabillaud en mer du Nord [44]. D'une manière générale, les effets indirects du changement climatique sur l'équilibre fragile des écosystèmes marins, et sur les espèces actuelles qui y vivent, ne sont pas encore bien connus.

L'acidification des eaux de surface

Du fait de l'accroissement du CO₂ de l'atmosphère et de la faculté qu'ont les océans à d'absorber le CO₂, la quantité absorbée a augmenté également, ce qui entraîne l'acidification de l'eau. Le pH océanique est passé de 8,2 à 8,1 depuis le milieu du XIX^e siècle. Ce sont les organismes marins à squelette calcaire qui en subiront les conséquences. Ainsi, une partie du zooplancton à coquille, comme les ptéropodes, pourrait disparaître dans certaines zones de l'océan, car l'eau sera devenue trop acide. Les coraux sont particulièrement touchés, car ils emploient la calcification pour construire leur structure squelettique, qui constitue les récifs coralliens. Ces récifs coralliens sont les écosystèmes qui offrent la biodiversité la plus riche au monde et forment l'habitat de quelque deux millions d'espèces marines et la source d'un quart des prises mondiales de poissons dans tous les pays en voie de développement. Les conséquences de l'acidification dépassent largement ses effets directs sur la calcification des organismes marins.

Espèces introduites

Les habitats marins sont peuplés de différentes espèces d'animaux, de plantes et de microorganismes qui ont évolué séparément, isolés par des frontières naturelles. Mais les hommes ont franchi ces barrières, que ce soit en bateau, en avion ou avec d'autres moyens de transport. Par conséquent, les espèces se déplacent aujourd'hui vers de nouvelles zones situées bien au-delà de leur aire de répartition naturelle. Les espèces qui, suite à des activités humaines, qu'elles soient intentionnelles ou pas, ont été déplacées vers des régions où elles ne vivent pas naturellement, sont dites « espèces introduites » ou « espèces exotiques ».

Les introductions d'espèces animales et végétales dans le milieu marin sont en constante augmentation. Même si cela peut paraître *à priori* paradoxal, elles sont

considérées comme la deuxième cause d'appauvrissement de la biodiversité marine, juste après la destruction et la fragmentation des habitats. Contrairement à une pollution accidentelle (ex. marée noire) dont les effets diminuent non seulement avec le temps mais aussi avec la distance du point d'impact, les espèces introduites se propagent de proche en proche, jusqu'à occuper la totalité des habitats et la totalité de l'aire géographique qui leur sont accessibles.

En milieu marin, les causes d'introduction d'espèces sont principalement les eaux de ballast, le fouling, l'évasion d'espèces aquacoles et les introductions accidentelles d'espèces accompagnatrices d'espèces aquacoles mais aussi les aquariums (cas de l'algue *Caulerpa taxifolia* est bien connu en Méditerranée). Avec l'accroissement du trafic maritime, les eaux de ballast sont de loin la principale cause d'introduction des espèces dans le milieu marin. On estime que 7 000 espèces sont transportées dans le monde entier chaque jour dans l'eau de ballast et que 10 milliards de tonnes d'eau de ballast sont transportées chaque année de par le monde. Une étude réalisée sur les eaux de ballast de 186 bateaux en mer du Nord a permis d'identifier 257 espèces (allant des foraminifères aux poissons) et dont 57 % des espèces n'étaient pas native de la mer du Nord [45]. Dans bien des cas, ces espèces non indigènes s'adaptent mal à leur nouvel environnement et disparaissent rapidement. Il peut cependant arriver qu'elles survivent, se reproduisent et s'implantent. L'étude de Gollasch [45] indique que parmi les 257 espèces contenues dans les eaux de ballast seules 19 ont la faculté de pouvoir s'implanter en mer du Nord.

Les impacts des espèces introduites sur la biodiversité peuvent être nombreux.

- Prédation sur les espèces natives
- Diminution de la disponibilité de l'habitat pour les espèces natives
- Compétition supplémentaire
- Parasites et maladies
- Etouffement et envahissement

– Hybridations causant une dilution génétique

L'impact d'une espèce introduite peut ne pas seulement réduire la diversité des espèces, mais aussi la diversité des écosystèmes (écodiversité). En Méditerranée nord-occidentale, les remplacent plus d'une dizaine peuplements à *Caulerpa taxifolia* d'écosystèmes, entre le voisinage de la surface de la mer et 20-30 m de profondeur [46]. On aboutit ainsi à une uniformisation du paysage sous-marin.

Une des pires invasions marines a eu lieu au début des années 1980 lorsque le cténophore nord-américain *Mnemiopsis* (*Mnemiopsis leidyi*) fut introduit en mer Noire et en mer d'Azov. L'espèce est arrivée dans les eaux de ballast et s'est rapidement établie dans les eaux riches de la mer Noire où elle n'avait aucun prédateur au point que, en 1989, on estimait qu'il s'y trouvait un million de tonnes d'individus de cette espèce exotique. Les Cténaires ont mangé de grandes quantités d'oeufs de poissons et de larves ainsi que du zooplancton dont les poissons commercialement importants se nourrissent, ce qui a entraîné l'effondrement des stocks de poisson en mer Noire. En 1994, la pêche à l'anchois avait pratiquement disparu. La méduse exotique a complètement modifié le réseau alimentaire de la mer Noire. C'est un exemple qui nous fait comprendre l'ampleur de l'impact qu'une petite espèce apparemment inoffensive peut exercer sur le milieu. En Manche et en mer du Nord, il y aurait un peu plus de 80 espèces introduites [47]. Ce nombre est cependant certainement inférieur à la réalité du fait du manque d'inventaires et d'observations dans le milieu marin. Certaines espèces connaissent un développement important au point qu'elles forment une partie dominante de notre faune et flore marines. C'est notamment le cas du couteau de l'atlantique (*Ensis directus*), qui a été observé pour la première fois dans la région en 1978. Ces coquillages se comptent aujourd'hui par millions sur nos

plages. En Manche et en mer du Nord, on ne connaît cependant pas encore d'exemples d'espèces ayant disparu en conséquence de l'introduction d'une espèce exotique.

Le problème des espèces introduites devrait s'aggraver au cours du prochain siècle à cause du changement climatique et de l'intensification du commerce et du tourisme. La nécessité d'une action coordonnée pour faire face au problème des espèces introduites a été exprimée aux échelons politiques les plus élevés. Le Conseil «Environnement», le Parlement européen, le Comité des régions et le Comité économique et social européen ont tous souligné la nécessité d'adopter une stratégie communautaire relative aux espèces introduites et de mettre en place un véritable système d'alerte rapide et des mécanismes d'intervention efficaces au niveau de l'UE [48]. Les instruments internationaux comprennent la convention internationale pour le contrôle et la gestion des eaux et des sédiments de ballast, développée par l'Organisation maritime internationale (OMI). Celle-ci présente des procédures pour minimiser les introductions d'espèces exotiques lors du déversement des eaux de ballast tout en protégeant la sécurité des bateaux et elle va fournir un régime uniforme et standardisé pour la gestion des eaux de ballast.

CONCLUSION

La population humaine devrait augmenter à environ 7,5 milliards en 2020, avec pour conséquence un accroissement des pressions sur le littoral et sur les écosystèmes marins. Quel sera l'impact sur la biodiversité ? La biodiversité pourra-t-elle s'adapter à cette nouvelle configuration ? Conservation de la biodiversité et développement économique peuvent-ils coexister ? Face à des perturbations anthropiques croissantes exacerbées par le changement climatique force est de constater les nombreuses lacunes de notre compréhension des capacités de réponses et d'adaptation de la

biodiversité. Jackson *et al.* [49] notent qu'aujourd'hui seules quelques espèces de la mégafaune marine sont complètement éteintes. Seulement 12 extinctions globales d'espèces marines ont été documentées : 3 mammifères, 5 oiseaux et 4 invertébrés [50]. Même si nos connaissances sur les extinctions d'espèces marines demeurent lacunaires, il existe un consensus global quant à la nécessité de préserver la biodiversité marine. La perte de biodiversité fait peser un grave danger pour l'équilibre écologique du milieu marin et le bien-être de l'humanité. Il est indispensable aujourd'hui de prendre en compte la biodiversité dans la conduite des activités humaines, qu'elles soient économiques ou autres. La conservation de la biodiversité ne s'oppose pas au développement économique à long terme. Accord-cadre signé le 5 juin 1992 par 186 Etats, la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) constitue la première manifestation en droit international de la volonté des Etats de considérer la biodiversité de manière globale. En Europe, cet intérêt se traduit par exemple par la mise en place du réseau d'excellence MarBEF (Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning EU Network of Excellence, www.marbef.org) et l'organisation récemment de la première conférence sur la biodiversité marine (Espagne, 2008). En France, la préservation de la biodiversité est l'un des thèmes phares du Grenelle Environnement. De nombreux engagements ont été pris afin d'informer l'opinion et d'agir pour stopper l'érosion de la biodiversité. Le livre bleu insiste sur la protection des écosystèmes et de la biodiversité comme étant une priorité de la politique nationale. Le Grenelle de la mer est censé aboutir à la mise en place d'une vraie politique de préservation des espèces marines.

REFERENCES

- [1] Séret B., 2008. Interview de Bernard Séret (chercheur de l'Institut de recherche pour le développement) par Paul Molga, *Journal Les Echos*, 2008 02 06, page 13.
- [2] FAO., 2009. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Rapport FAO.
- [3] Worm B. & 13 coauteurs, 2006. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science* 3 Vol. 314 (5800), 787-790.
- [4] Commission européenne, 2008a. L'économie des écosystèmes et de la biodiversité. http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/pdf/teeb_report_fr.pdf. Document consulté le 5 avril 2010.
- [5] Costanza R. & 12 coauteurs, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.
- [6] Secrétariat général de la mer, 2006. Rapport du Groupe POSÉIDON "Politique maritime de la France" 159 p. www.sgmer.gouv.fr.
- [7] Silvain J.F. & 18 coauteurs, 2009. Prospective pour la recherche française en biodiversité, Fondation pour la recherche sur la biodiversité, 96 p.
- [8] Roberts C.M., Hawkins J.P., 1999. Extinction risk in the sea. *Tree* vol. 14 (6), 241-246.
- [9] Dulvy K.N., Sadovy Y. & Reynolds J.D., 2003. Extinction vulnerability in marine populations. *Fish and Fisheries* 4, 25-64.
- [10] Groom M.J., Meffe G. K. & Carroll C. R., 2006. Principles of conservation biology Ed. Sinauer Associates. 779p . ISBN0878935185, 9780878935185.
- [11] Garcia, S. & 16 coauteurs, 2006. Workshop 10, Paris Conference: Biodiversity, Science and Governance, January 24-28, 2005 (report of the debates and proposed priority actions), Ministry of Foreign Affairs, Government of France, Paris (2006).
- [12] Beverton R.J.H., 1992. The State of the World's Fisheries Resources, Proceedings of the World Fisheries Congress, Plenary Sessions, Athens, 1992/edited by C.W. Voigtlander.
- [13] Pauly D., Christensen V., Dalsgaard J. & Torres F.R., 1998. Fishing down marine food webs. *Science* 279: 860-863.
- [14] Cury P. & Miserey Y., 2008. Une mer sans poissons. Ed. Calmann-Lévy. 257p.
- [15] Duffy, J.E., 2007. Marine biodiversity and food security, Encyclopaedia of Earth. www.eoearth.org/article/Marine_biodiversity_and_food_security.
- [16] Casini M., Lövgren J., Hjelm J., Cardinale M., Molinero C. & Kornilov G., 2008. Multi-level trophic cascades in a heavily exploited open marine ecosystem. *Proceedings of the royal Society B*, 7, 275 (1644), 1793-1801.
- [17] Scheffer M., Carpenter S. & de Young B., 2005. Cascading effects of overfishing marine systems. *Trends in Ecology and Evolution* 20 (11), 579-581.
- [18] Frank K. T., Petrie B., Choi J. S. & Leggett W. C., 2005. Trophic ascades in a Formerly Cod-Dominated Ecosystem. *Science* 10 Vol. 308

- (5728), 1621-623 DOI: 10.1126/science.1113075.
- [19] Swain D.P. & Chouinard G.A., 2008. Predicted extirpation of the dominant demersal fish in a large marine ecosystem : Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the southern Gulf of St. Lawrence. *Canadian journal of Fish and Aquatic Sciences* 65, 2315-2319.
- [20] Beaugrand G., Brander K. M., Lindley J.A., Souissi S. & Reid P.C., 2004. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea, *Nature* 426, 661–664.
- [21] Enever R., Revill A. & Grant A., 2007. Discarding in the English Channel, western approaches Celtic and Irish seas (ICES subarea VII). *Fisheries Research* 86, 143-152.
- [22] Amara R., 2003. Localisation et diagnostic de l'état de santé des nurseries d'espèces d'intérêt halieutique en Manche Orientale et sur le littoral atlantique. Rapport de contrat final Liteau du MEDD, 90 p.
- [23] Amara R. & Paul C., 2003. Seasonal patterns in the fish and epibenthic crustaceans community of an intertidal zone with particular reference to the population dynamics of plaice and brown shrimp. *Estuarine Coastal and Shelf Sciences* 56, 809-820.
- [24] Selleslagh J., Amara R., Laffargue P., Lesourd S., Lepage M. & Girardin M., 2009. Composition and functioning of three fish estuarine assemblages of the eastern English Channel: a comparison with French estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81, 149-159.
- [25] Rochette S., Rivot E., Morin J., Mackinson S., Riou P., & Le Pape O., 2009. Effect of nursery habitat degradation on flatfish population: Application to *Solea solea* in the Eastern Channel (Western Europe). *Journal of Sea Research* (in press).
- [26] Safina C., 1998. Scorched-earth fishing. *Issues Sciences and Technology* 14, 33-36.
- [27] Cury P. & Morand S., 2004. Biodiversité marine et changements globaux : une dynamique d'interactions où l'humain est partie prenante. In *Biodiversité et changements globaux. Enjeux de société et défis pour la recherche*. Chevassus-au-Louis B., Barbault R. (eds). Paris : éditions ADPF, ministère des Affaires étrangères, 2004. www.adpf.asso.fr/adpf-publi/folio/textes/biodiversite.pdf.
- [28] Kaiser M.J. & de Groot S.J., 2000. The effects of fishing on non-target species and habitats: biological, conservation and socio-economic issues. Fishing News Books. Blackwell Science: Oxford, UK. ISBN 0-632-05355-0. XVI, 399 p.
- [29] Dauvin J.C., 1997. Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et mer du Nord. Synthèse, menaces et perspectives. *Patrimoines Naturels* 28, 1-359.
- [30] Henry F., Amara R., Courcot L., Lacouture D. & Bertho M.L., 2004. Spatial comparison of heavy metals in fish from the French coast of the Eastern English Channel and Southern bight of the North Sea. *Environment International* 30, 675-683.
- [31] Amara R., 2002. Localisation et diagnostic de l'état de santé des nurseries d'espèces d'intérêt halieutique en Manche Orientale et sur le littoral atlantique. Rapport de contrat final Liteau du MEDD, 90 p.

- [32] Amara, R., Meziane T., Gilliers C., Hermel G. & Laffargue P., 2007. Growth and condition indices in juvenile sole (*Solea solea* L.) measured to assess the quality of essential fish habitat. *Marine Ecology Progress Series* 351, 209-220.
- [33] Amara R., Selleslagh J., Billon G. & Minier C., 2009. Growth and condition of 0-group European flounder, *Platichthys flesus* as indicator of estuarine habitat quality. *Hydrobiologia* 67, 87-98.
- [34] Amiard-Triquet C. & Amiard J.C., 2008. Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques. Tec & Doc (Eds).
- [35] Kidd K.A., Blanchfield P.J., Mills K.H., Palace V.P., Evans R.E., Lazorchak J.M. & Flick R.W., 2007. Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen. *Proceedings of National Academy of Sciences US* vol. 104, 8897-8901.
- [36] Commission européenne, 2001. Communication de la commission au conseil et au parlement européen sur la mise en œuvre de la stratégie communautaire concernant les perturbateurs endocriniens. COM (2001) 262 final.
- [37] Derraik J.G.B., 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44, 842-852.
- [38] Rybarczyk H., Elkaim B., Wilson J.G. & Loquet N., 1996. L'eutrophisation en Baie de Somme : mortalités des peuplements benthiques par anoxie. *Oceanologica acta*. vol. 19 (2), 131-140.
- [39] Desroy N. & Denis L., 2004. Influence of spring phytodetritus sedimentation on intertidal macrozoobenthos in the Eastern English Channel. *Marine Ecology Progress Series* 270, 41-53.
- [40] Beaugrand G., Reid P.C., Ibanez F., Lindley J.A. & Edwards M., 2002. Reorganization of North Atlantic Marine Copepod Biodiversity and Climate. *Science* 296, 1692-1694.
- [41] Brander K.M., Blom G., Borges M.F., Erzini K, Henderson G., MacKenzie B.R., Mendes H., Ribeiro J., Santos AMP. & Toresen R., 2003. Changes in fish distribution in the eastern North Atlantic: Are we seeing a coherent response to changing temperature? ICES Marine Science Symposia 219, 261-270.
- [42] Harley C.D.G. & 8 coauteurs, 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters* 9, 228-241.
- [43] Beare D.J., Burns F., Greig A., Jones E.G., Peach K., Kienzle M., McKenzie E. & Reid D.G., 2004. Long-term increases in prevalence of North Sea fishes having southern biogeographic affinities. *Marine ecology Progress Series* 284, 269-278.
- [44] Beaugrand G. & Kirby R.R., 2009. Climate, plankton and cod. *Global Change Biology* 16, 1268-1280.
- [45] Gollasch S., 2002. The importance of ship hull fouling as a vector of species introductions into the North Sea. *Biofouling* 18, 105-121.

- [46] Boudouresque C.F., Meinesz A., Ribera M.A. & Ballesteros E., 1995. Spread of the green alga *Caulerpa taxifolia* (*Caulerpales*, *Chlorophyta*) in the Mediterranean: possible consequences of a major ecological event. *Scientia marina* 59 (suppl. 1), 21-29.
- [47] Reise K., Gollasch S. & Wolff W.J., 1988. Introduced marine species of the North Sea coasts. *Helgoland Marine Research* 52 (3-4), 219-234.
- [48] Commission européenne, 2008b. Vers une stratégie de l'Union Européenne relative aux espèces envahissantes. Bruxelles, le 3.12.2008. COM(2008) 789 final.
- [49] Jackson J.B.C. & 17 coauteurs, 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293, 629-638.
- [50] Carlton J.T., Geller J.B., Reaka-Kudla M.L. & Norse E.A., 1999. Historical extinctions in the sea. *Annual review of ecology and systematic* 30, 515-538.