

Biodiversité en environnement marin

Philippe Gouletquer, Philippe Gros,
Gilles Boeuf, Jacques Weber
Coordinateurs

éditions
Quæ

Biodiversité

en environnement marin

Philippe Gouletquer, Philippe Gros,
Gilles Boeuf, Jacques Weber
Coordinateurs

Éditions Quæ

Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex, France

©Éditions Quæ 2013

ISBN : 978-2-7592-1763-2

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction même partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Remerciements

Les auteurs ont grand plaisir à remercier monsieur Jean-Yves Perrot, président-directeur général de l'Ifremer, qui a initialisé cette expertise collective sur les besoins de recherche en sciences environnementales et sociales dans le domaine de la biodiversité marine, et qui l'a soutenue et concrétisée dans la stratégie scientifique de l'Ifremer, de concert avec madame Marie-Hélène Tusseau-Vuillemin et monsieur Patrick Vincent, respectivement directrice scientifique et directeur général délégué de l'Ifremer.

La présente synthèse est le fruit de riches et fructueux échanges entre scientifiques de différents instituts de recherche français et internationaux et de la Fondation de coopération scientifique pour la recherche sur la biodiversité (FRB). Plusieurs experts ont croisé les questions soulevées dans leurs champs disciplinaires (sciences exactes et naturelles, sciences humaines et sociales) pour identifier des priorités de recherche en biodiversité marine, que toutes et tous soient ici chaleureusement remerciés, et tout particulièrement Christophe Béné, Gary Carvalho, Philippe Cury, Bruno David, Daniel Desbryères, Luc Doyen, Susan Hanna, Simon Jennings, Harold Levrel, Olivier Thébaud.

Les remarquables planches anciennes qui rehaussent la présentation des chapitres proviennent du fonds documentaire de la bibliothèque du centre Atlantique Ifremer (Nantes). Un grand merci à Marielle Bouildé et Valérie Thomé pour leur disponibilité et leur aide dans la recherche et la découverte de livres du XVIII^e et XIX^e siècles !

Les photographies nous ont été gracieusement offertes par des chercheurs et collègues passionnés que nous remercions très sincèrement : Marc Taquet, Nicolas Chomérat, Lionel Loubersac, Hugues Lemonnier, Sophie Arnaud, Fabian Blanchard, Stéphane Robert, Daniel Desbryères et Olivier Dugornay. Plusieurs photographies sont extraites de la riche photothèque de l'Ifremer. Nous exprimons notre gratitude à la direction de la Communication et des Relations institutionnelles de l'Ifremer, et tout spécialement à Aurélie Desaint, Danièle Lemercier et Pascale Pessey-Martineau.

La réalisation de l'ouvrage a procédé de choix partagés avec l'éditeur Quæ. Un grand merci à Nelly Courtay pour sa patience et ses précieux conseils, ainsi qu'à Clarisse Robert pour la mise en pages et en images de ce livre.

Enfin, la réalisation de cette synthèse n'aurait pas été possible sans le soutien et la confiance du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.



Photo 1. Pêcheries en océan Indien © Ifremer, Marc Taquet.

Préface

Les océans et les mers recouvrent plus de 70 % de notre planète et abritent une biodiversité d'une extraordinaire richesse, jusque dans les grandes profondeurs, où une vie foisonnante prospère à proximité des dorsales océaniques. La biodiversité marine reste néanmoins peu connue et de nombreuses menaces pèsent sur elle. Elle est mise en péril par des pressions croissantes d'origine humaine et est également sensible aux perturbations d'origine climatique qui ont notamment des conséquences sur l'acidification des océans.

Il est donc essentiel de mieux connaître la biodiversité marine et de la préserver. Elle est en effet primordiale dans le fonctionnement des écosystèmes et fournit à l'homme une multitude de ressources et de services. Le maintien de la biodiversité marine est ainsi devenu une priorité mondiale, identifiée comme telle dans plusieurs conventions internationales (Convention sur la Diversité biologique) et inscrite corrélativement dans des politiques européennes et des stratégies nationales (Stratégie nationale Biodiversité, Grenelle de l'environnement et Grenelle de la mer).

La France a dans ce domaine une responsabilité particulière. Avec près de 11 millions de kilomètres carrés, elle possède en effet la deuxième zone économique exclusive (ZEE) du monde et abrite, notamment dans les zones maritimes d'outre-mer, une grande part de la biodiversité mondiale (récifs coralliens, mangroves...).

L'Ifremer est l'un des établissements de recherche marine dont la gamme de compétences est la plus étendue : halieutique et aquaculture, environnement littoral, biotechnologies, géosciences, ressources minérales et énergétiques, océanographie opérationnelle, technologies sous-marines, opération de la flotte hauturière et côtière. Fort de cette large pluridisciplinarité et de l'approche intégrée qu'elle permet, l'Institut s'est donc naturellement engagé dans de nombreux projets et actions liés à la biodiversité. « Connaître et caractériser la biodiversité marine pour mieux la préserver » constitue d'ailleurs l'un des dix axes, que nous avons inscrits dans notre plan stratégique.

Véritable défi scientifique, la biodiversité marine nécessite la définition d'une stratégie de recherche appropriée. C'est pourquoi j'ai souhaité la réalisation d'une expertise collective associant des chercheurs et spécialistes reconnus, français et étrangers, afin de répondre à cette question : quelles priorités de recherche en biodiversité marine pour l'Ifremer ?

Présidé par Gilles Boeuf, professeur à l'université Pierre et Marie Curie et président du Muséum national d'Histoire naturelle, le groupe de quatorze experts internationaux constitué à cet effet a entrepris une analyse de la littérature existante et confronté les résultats de cette analyse aux spécificités de l'Ifremer. Élaboré durant le premier semestre 2010, ce rapport circonstancié de réflexion sur l'état des connaissances en matière de biodiversité marine est le fruit direct de cette expertise. Il définit cinq axes prioritaires de recherche en biodiversité

marine et propose la mise en œuvre d'un programme partenarial de recherches. Ses recommandations vont permettre le développement d'une programmation cohérente, qui offrira à l'Ifremer, en lien avec tous ses partenaires, un cadre pour renforcer sa capacité à fournir des avis et expertises, en relation avec les décideurs en charge de la gestion et de protection de la biodiversité.

Cette expertise collective a bénéficié du soutien du ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL). Elle s'inscrit bien sûr aussi dans l'exercice de prospective scientifique sur la recherche française en biodiversité élaboré à la demande du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche pour le compte de la Stratégie nationale Recherche et Innovation (SNRI), par le conseil scientifique de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité, dont l'Ifremer est membre fondateur.

Jean-Yves Perrot
Président-directeur général de l'Ifremer

Sommaire

Remerciements.....	5
Préface	7
Sommaire	9
Introduction.....	11
Importance de la biodiversité marine	15
Les principales caractéristiques.....	16
Les composantes hiérarchiques	20
Impacts anthropiques sur la biodiversité marine	29
Les valeurs stratégiques de la recherche.....	32
État et tendances.....	35
Combien y a-t-il d'espèces marines?.....	35
Recensements taxinomiques.....	37
Les espèces cryptiques	40
Le code-barre moléculaire ADN	40
Dynamique d'identification de nouvelles espèces	42
Le « handicap taxinomique »	43
Les espèces sous pression.....	44
Espèces disparues	45
Espèces en danger.....	47
Écosystèmes sous pression : l'environnement profond	49
Variations spatiales des caractéristiques	67
Caractéristiques temporelles	81
Conceptualisation de la biodiversité	95
Représentations conceptuelles des relations entre biodiversité et sociétés humaines	95
Choix d'un modèle structurant.....	102
Mesurer la biodiversité.....	105
La biodiversité, descripteur macroscopique de la Directive cadre européenne	
« Stratégie pour le milieu marin » (DCSMM)	105

Déterminants des changements de la biodiversité et de ses usages.....	121
Les moteurs des changements environnementaux: un cadre de travail	121
Scénarios intégrés et réglementations	137
Réglementations et soutien à la décision	137
Développement de scénarios	138
Méthodes quantitatives, modèles et évaluations intégrés.....	142
Besoins de recherche.....	153
Le cadre : une recherche environnementale	153
Dimensions naturalistes	158
Dimensions humaines de la recherche	162
Développer la modélisation : une forme de synthèse	165
Sources	169
Bibliographie	169
Bases de données.....	189
Sigles et acronymes	195
Groupe des experts.....	201

Introduction

Le terme « biodiversité » fut utilisé pour la première fois par l'écologue américain W. Rosen en 1985, et par la suite, largement disséminé par l'entomologiste américain E.O. Wilson. Que signifie-t-il ? Des chapitres entiers ont été consacrés à la présentation et à l'explication de ce concept. *De façon simple, la biodiversité désigne la variété, la quantité et la répartition de la vie sur terre : c'est la fraction vivante de la nature.* Bien au-delà d'un simple inventaire des espèces qui peuplent des écosystèmes, c'est la mise en évidence des relations établies entre les espèces elles-mêmes et leur environnement. C'est le résultat des processus évolutifs et écologiques modulés par les impacts anthropiques et environnementaux. La biodiversité est étroitement liée aux fonctionnalités des écosystèmes et à la fourniture des services écologiques (produits et processus fournis par l'environnement) dont l'humain bénéficie. Les efforts qui visent à garantir les usages durables et la conservation de la biodiversité sont guidés par des considérations socio-économiques et éthiques, développées à partir de l'expertise scientifique. Les nombreux engagements internationaux en matière d'utilisation durable de la biodiversité soulignent l'importance fondamentale de celle-ci pour le « bien-être » humain, et ils fixent des objectifs d'arrêt des pertes de biodiversité (MEA, 2005 ; Barbault, 2006 ; CSPNB, 2007, 2008).

Les besoins de connaissance scientifique nécessaires à la description de la variabilité du monde vivant et au développement d'une gestion rationnelle et durable de la biodiversité peuvent être répartis en cinq catégories.

- Inventorier la biodiversité là où elle se situe (variété, abondance, distribution des gènes, individus, populations, communautés et écosystèmes) et développer les outils et moyens nécessaires à sa description.
- Comprendre les processus évolutifs et écologiques responsables de la variété, de l'abondance, de la distribution spatio-temporelle des gènes, individus, populations, communautés et écosystèmes (comment la nature a-t-elle pu engendrer plus de 1,5 milliard d'espèces en moins de 4 milliards d'années ?), et évaluer les réponses de la biodiversité aux pressions environnementales et anthropiques à partir d'une analyse des événements passés, présents et de scénarios pour le futur.
- Appréhender le rôle des patrons de biodiversité dans le fonctionnement des populations, des communautés et écosystèmes, dans la fourniture de services écosystémiques, incluant les grands cycles biogéochimiques et l'ensemble des relations avec le monde non-vivant, et évaluer les bénéfices socio-économiques résultants.
- Comprendre les facteurs de changement dans l'utilisation par l'humain de la biodiversité marine, à différentes échelles en incluant les dimensions économique, sociale, culturelle, institutionnelle et politique, ainsi que la capacité adaptative des individus et sociétés en réponse aux changements de statut de la biodiversité marine.
- Mettre en œuvre des systèmes de gestion qui permettront d'atteindre les objectifs de conservation de la biodiversité en s'appuyant sur la conception d'approches innovantes et

d'outils d'aides à la décision. Sont concernés les modèles et indicateurs de changement de biodiversité et d'évaluation de performance des outils de gestion, renseignés par les points (1) à (4) *supra*, et adossés à la compréhension à différentes échelles des conséquences socio-économiques des modalités de gestion.

Les tendances futures des impacts anthropiques et environnementaux sur la biodiversité restent incertaines, et la planification actuelle de la gestion doit intégrer ces changements potentiels. Le recours aux scénarios est largement répandu ; c'est une démarche par nature probabiliste qui tient compte des facteurs d'incertitude attachés à l'état de la meilleure connaissance disponible. Un axe-clé de progrès est la recherche d'une meilleure approche d'intégration de la connaissance scientifique dans les processus d'élaboration de la décision, y compris l'innovation et la capacité d'apprentissage dans les processus de réglementation des activités qui impactent la biodiversité marine.

L'objectif de cet ouvrage est d'expliquer en quoi la recherche sur la biodiversité marine est d'un intérêt hautement stratégique pour la société et la communauté scientifique.

Pour la société, la recherche en biodiversité marine offre une nouvelle vision de la vie marine et doit permettre d'apporter les connaissances nécessaires à la hiérarchisation des priorités pour sa protection, tout en contribuant à préparer les futures « méthodes alternatives » de gestion. Pour la communauté scientifique, un recentrage stratégique sur la recherche en biodiversité créera une vision partagée de cette thématique et apportera un éclairage particulier à même d'attirer des compétences variées et stimuler l'émergence de nouvelles connaissances. Une telle stratégie facilitera l'interdisciplinarité, une meilleure coordination entre scientifiques, et notamment, l'intégration de différentes actions de recherche actuellement dispersées dans un contexte où l'approche écosystémique devient la norme de gestion des ressources marines. Cette inflexion répond à un besoin essentiel, celui du renforcement de la capacité d'expertise scientifique, en lien avec les décideurs en charge de la gestion de la biodiversité et de sa protection, comme l'atteste le développement de la plate-forme intergouvernementale science-politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*)¹.

1. <http://www.ipbes.net/>



Photo 2. Paysage des Tuamotu (Polynésie française), atoll © Ifremer, Olivier Dugornay.



Planche 1. Illustrations de bivalves. Extrait de Tryon G.W., 1879, *Manual of conchology, structural systematics*, vol. III, planche 131.

Importance de la biodiversité marine

Les recherches en biodiversité marine sont d'actualité, car fondamentales pour de nombreuses raisons (CDB, 2010). La biodiversité marine joue un rôle-clé au travers des services écosystémiques (d'approvisionnement, de régulation, entre autres). Ils fournissent ainsi des richesses économiques englobant des ressources allant des substances actives en pharmacologie et dans le domaine médical jusqu'aux produits de la pêche et de l'aquaculture, sans omettre le domaine du bien-être culturel ni la disponibilité de « modèles biologiques » pertinents pour la recherche fondamentale et appliquée. Le rôle et la dynamique de la biodiversité sont des thèmes centraux lorsque l'on aborde le changement climatique, les sciences de l'univers, ou encore l'exploitation durable des ressources marines. Ainsi les problématiques appliquées portent-elles sur les réglementations et les modalités de gestion à l'échelle globale dans les domaines de l'énergie et de la sécurité alimentaire.

Aujourd'hui, nous disposons d'une panoplie d'outils diversifiés et d'indicateurs sensibles pour explorer la biodiversité marine et ses usages dans des domaines d'investigation jusqu'à présent confinés aux habitats terrestres et difficiles d'application, depuis l'approche du code-barre moléculaire permettant l'exploration de communautés entières jusqu'aux capteurs en temps réel, intégrant des matériels innovants photosensibles et des technologies *Lab-on-a-Chip* (LOAC, laboratoire sur puce). S'y ajoutent les données satellitaires et les puissances de calcul de l'ordre du pétaFLOP (10^{15} *F*loating *p*oint *O*perations *p*er *S*econd) pour l'analyse des bases de données.

L'environnement marin est particulièrement sensible aux perturbations de nature variée qu'il subit, dont celles d'origine climatique, comme les changements de la circulation thermohaline en Atlantique Nord, les modifications des glaces aux pôles, le renforcement de la stratification des eaux de surface et leur acidification, avec pour conséquence des changements d'ores et déjà observés de phénologie et d'aires de répartition d'espèces. Il est désormais de première importance d'évaluer quantitativement et de façon robuste les effets des scénarios climatiques sur les écosystèmes (et sur les services écosystémiques) marins, et aussi de jauger la portée, la nature et l'efficacité des actions de gestion dans ce contexte évolutif.

Il existe, par conséquent, un besoin croissant de mieux comprendre les réponses globales des écosystèmes marins, notamment aux grands projets comme le développement offshore des énergies renouvelables (*e. g.*, éoliennes, hydroliennes), les exploitations pétrolières de plus en plus profondes et les modifications afférentes des habitats, ou encore la demande croissante en ressources marines (vivantes, minières) dans un contexte où les objectifs réglementaires ambitionnent d'implémenter, selon une approche holistique, des modalités de gestion intégrées conformément aux principes d'une approche écosystémique.

La population humaine a atteint 7 milliards d'individus en 2011, les prévisions annoncent 8 milliards en 2024 (Palumbi *et al.*, 2009 ; UN, 2011) puis 9,3 milliards en 2050 (plus précisément entre 8,1 et 10,6 milliards) accompagnés de déplacements de populations vers les zones d'urbanisation côtière, accroissant les pressions sur les services écosystémiques marins. On estime qu'aujourd'hui 60 % des habitants de la planète vivent à moins de 100 kilomètres du littoral et qu'ils utilisent le domaine marin pour ses espaces, ses ressources alimentaires, l'habitation, les activités récréatives mais également pour le stockage de déchets. La plupart des mégapoles de plus de 15 millions d'habitants sont et seront localisées à proximité des rivages. En milieu continental, la majorité des populations est localisée à proximité des rivières et des voies navigables, et impacte indirectement la biodiversité marine (Kay et Alder, 2005).

Estimer l'empreinte écologique globale et les impacts sur la biodiversité que de tels changements entraîneront sur la topologie de la société humaine est une question majeure. Les synergies entre les pressions anthropiques, la temporalité et la localisation des seuils, les trajectoires et la vitesse d'adaptation au changement climatique de la biodiversité marine, ainsi que sa résistance et sa résilience face aux perturbations d'origine anthropique, ne sont que partiellement comprises. Ce sont des priorités-clés pour le maintien des services écosystémiques. De façon similaire, il est urgent de mieux comprendre et d'anticiper les conséquences des changements de la biodiversité sur les individus et sur les sociétés humaines, en particulier au plan des capacités adaptatives de ces dernières.

L'élaboration de méthodes de protection et d'utilisation durable de la biodiversité marine est un problème complexe de choix collectifs qui nécessite de considérer à la fois les dimensions géographique (interfaces terre-mer), politique (la protection, l'exploitation), économique (entre pêcheries, tourisme, propriété intellectuelle, etc.). Par conséquent, il devient de plus en plus important de clarifier, quantifier et de communiquer vers les différents secteurs académique, social et industriel, sur les enjeux, valeurs, priorités et demandes conflictuelles.

Les principales caractéristiques

La biodiversité marine présente plusieurs traits saillants : les niveaux exceptionnels de biodiversité dans les océans, son importance dans le fonctionnement des écosystèmes et la croissance accélérée de l'emprise des menaces auxquelles les *taxa* marins sont exposés. Les océans couvrent près de 72 % de la surface planétaire, plus de 90 % du volume de l'habitat disponible pour le monde vivant. Les océans offrent une diversité d'habitats qui abritent 31 *phyla* d'animaux dont 12 sont endémiques au milieu marin, comparés aux 19 *phyla* d'habitats terrestres (Angel, 1992 ; Boeuf, 2007 ; Boeuf et Kornprobst, 2009 ; Boeuf, 2010a ; Boeuf, 2011).

La forte diversité spécifique et phylogénique est à la mesure de la pléthorique diversité de modes de vie, depuis les espèces flottantes, nageuses jusqu'à celles qui supportent une exposition aérienne partielle en zone intertidale, ou bien encore celles qui peuplent les sources hydrothermales à plus de 2 800 mètres de profondeur. En ce qui concerne le nombre d'espèces, la diversité marine est plus réduite, estimée à ce jour à moins de 240 000 espèces équivalentes à 13 % des espèces actuellement recensées (1,9 million, Census of Marine Life, 2010 ; Boeuf, 2011).

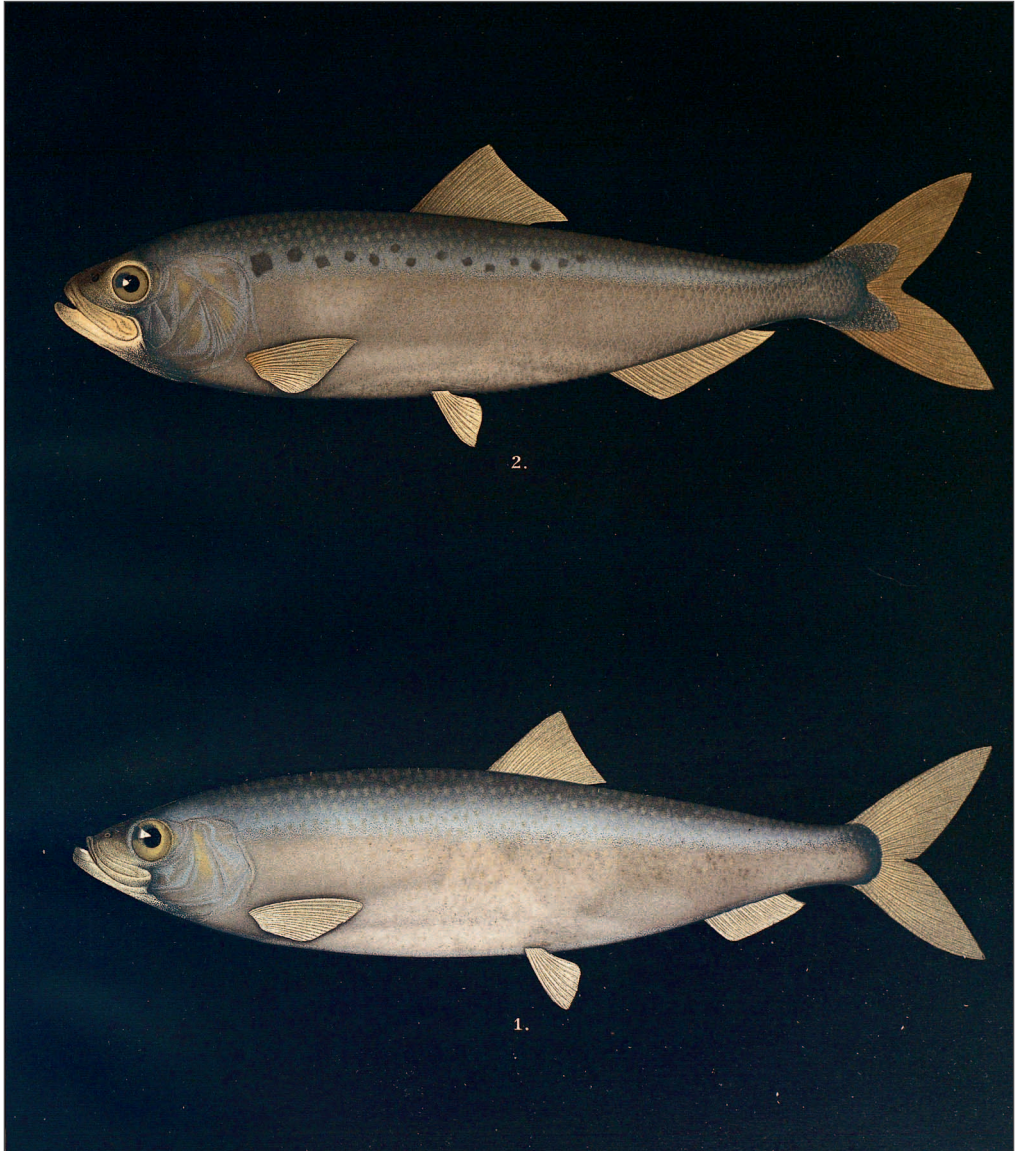


Planche 2. *Pisces Scandinavae* : *Clupea harengus* (1), *Clupea Alosa* (2). Extrait de *Pisces Scandinavae*, Tab XI III.

Comme la vie est apparue en milieu marin, les *taxa* marins possèdent une évolution beaucoup plus ancienne (plus de 3 milliards d'années) que ceux d'origine terrestre. Ainsi, des groupes archaïques d'intérêts peuplent-ils le milieu marin. Ils représentent des modèles biologiques particulièrement importants pour la recherche fondamentale ainsi que pour leur exploitation à des fins pharmacologiques (Bœuf, 2007, 2011).

La quasi-totalité des *phyla* est représentée dans le milieu marin, *versus* un peu moins des deux tiers en milieu terrestre (Ray, 1991). Au fur et à mesure que des méthodes modernes deviennent plus disponibles pour les taxinomistes (Savolainen, 2005) et que de nouvelles technologies facilitent l'exploration d'habitats à ce jour inaccessibles, on découvre régulièrement de nombreuses nouvelles espèces marines (*e.g.*, Santelli *et al.*, 2008). Cela concerne à la fois les *taxa* microscopiques et microbiologiques (Venter *et al.*, 2004 ; Gómez *et al.*, 2007) mais également des organismes plus familiers de la macrofaune (poissons, crustacés, coraux et mollusques ; Bouchet, 2005). À titre d'exemple, suite à l'utilisation du code-barre moléculaire et de tests de croisements reproductifs, le bryozoaire marin *Celleporella hyalina*, initialement considéré comme une seule espèce cosmopolite, s'est révélé être un groupe de plus de 20 lignées génétiques profondes pour la plupart d'origine allopatrique (Gómez *et al.*, 2007). Ces lignées, qui présentent un isolement reproductif, partagent une morphologie très similaire indiquant une spéciation cryptique rampante.

L'existence d'une telle diversité spécifique insoupçonnée est confortée par les récentes découvertes dans les eaux australiennes de plus de 270 nouvelles espèces de poissons, coraux anciens, mollusques, crustacés et éponges sur des monts sous-marins et dans des canyons au large des côtes de Tasmanie². Au cours de l'expédition de Lifou (îles de la Loyauté) en 2002, plus de 4 000 espèces furent identifiées sur un peu plus de 300 hectares (Bouchet, 2005). En 2007, autour de l'atoll de Clipperton (océan Pacifique), outre une micro-biodiversité jusque-là inconnue, des invertébrés et quatre nouvelles espèces de mérrou furent décrites.

Le même phénomène est observé dans les zones marines de transition entre provinces biogéographiques (*e.g.*, entre les provinces lusitanienne et boréale, Maggs *et al.*, 2008). On estime que le taux de découverte et de description de nouvelles espèces atteint aujourd'hui 16 000 à 18 000 par an, dont 1 600 espèces marines (Bouchet, 2009). L'ensemble des espèces de diatomées métropolitaines étudiées à ce jour (sauf une) est composé de multiples espèces cryptiques (voir synthèse dans Medlin, 2007). Ainsi, même pour des groupes taxinomiques particulièrement bien étudiés, notre compréhension globale du statut de la biodiversité reste faible. Environ 60 % des espèces connues de poissons vivent de façon permanente en mer, et parmi celles-ci 11 300 sont trouvées en zone côtière jusqu'à 200 mètres de profondeur (Nelson, 1993). Au plan de la conservation, Reynolds *et al.* (2005) ont établi qu'à l'échelle mondiale, on ne connaît le statut que de moins de 5 % des espèces de poissons marins.

Ce constat est à rapprocher de la formulation d'avis sur les mesures de protection de la biodiversité. Ainsi estime-t-on que 98 populations de poissons marins de l'Atlantique Nord et du Pacifique Nord-Est ont vu leur biomasse de reproducteurs décliner d'en moyenne 65 % par rapport à leurs niveaux « historiques », et 28 populations de plus de 80 %.

2. <http://www.csiro.au/science/SeamountBiodiversity.html>