

Les aires marines protégées (AMP) méditerranéennes et le changement climatique

Guide dédié au suivi régional
et aux opportunités d'adaptation



La terminologie géographique employée dans cet ouvrage, de même que sa présentation, ne sont en aucune manière l'expression d'une opinion quelconque de la part de l'UICN sur le statut juridique ou l'autorité de quelque pays, territoire ou région que ce soit, ou sur la délimitation de ses frontières.

Les opinions exprimées dans cette publication ne reflètent pas nécessairement celles de l'UICN ou des autres organisations ci-mentionnées.

La reproduction de cette publication à des fins non commerciales, notamment éducatives, est permise sans autorisation écrite préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source soit dûment citée.

- Publié par :** Centre de Coopération pour la Méditerranée de l'UICN, PNUE/MAP-CAR/ASP
- Coordination :** Maria del Mar Otero, Centre de Coopération pour la Méditerranée de l'UICN
Daniel Cebrian, Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées (PNUE/MAP-CAR/ASP)
- Droits d'auteurs :** 2013 Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses Ressources
- Citation :** **Otero, M., Garrabou, J., Vargas, M.** 2013. *Les AMP méditerranéennes et le changement climatique : guide dédié au suivi régional et aux opportunités d'adaptation*. Malaga, Spain : UICN. 52 pages.
- Produit par :** UICN Gland, Suisse et Malaga, Espagne
- ISBN :** 979-10-92093-12-4
- Mise en page :** Nacho Gil / www.parentesis.net
- Traduit par :** Alexa Dubreuil-Storer (IDFP Translation Services)
- Imprimé par :** Solprint, Mijas (Malaga)
- Photo couverture :** J. Garrabou

Imprimé sur papier sans chlore.

Disponible auprès :

Centre de Coopération pour la Méditerranée de l'UICN
C/Marie Curie 22
29590 Campanillas, Malaga, Espagne
Tel : +34 952 028430 - Fax : +34 952 028145
www.uicn.org/mediterranee
www.uicn.org/publications

Association MedPAN
www.medpan.org



Les aires marines protégées (AMP) méditerranéennes et le changement climatique

**Guide dédié au suivi régional
et aux opportunités d'adaptation**

**Maria del Mar Otero
Joaquim Garrabou
Manuel Vargas**

Editeur

L'UICN, Union Internationale pour la Conservation de la Nature, aide à trouver des solutions pragmatiques pour les principaux défis environnementaux et de développement auxquels fait face la planète.

L'UICN est la plus ancienne et la plus importante organisation environnementale au monde, avec plus de 1200 membres, organisations gouvernementales et non gouvernementales, et près de 11.000 experts bénévoles dans quelque 160 pays.

Le Centre de Coopération pour la Méditerranée de l'UICN a ouvert en 2001 avec le soutien du Ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Environnement d'Espagne, du Gouvernement de l'Andalousie et de l'Agence Espagnole de Coopération Internationale pour le Développement (AECID).

Au cours de ses 12 années d'existence, la mission du Centre a été d'influencer, d'encourager et d'aider les sociétés méditerranéennes pour assurer la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles ainsi qu'un développement durable dans la région méditerranéenne.

www.uicn.org/mediterranee

Ce guide a été préparé par l'UICN-Med en collaboration avec le Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées (CAR/ASP), dans le cadre du projet MedPAN Nord financé par le Fonds européen de développement régional, l'Agence espagnole pour la coopération internationale au développement (AECID) et le programme biennal du CAR/ASP financé par le Fonds d'affectation spéciale pour la Méditerranée de la Convention de Barcelone.

MedPAN Nord est un projet de coopération transnational visant à améliorer l'Efficacité de la Gestion des Aires Marines Protégées dans le Nord de la Méditerranée, mis en œuvre dans le cadre du réseau MedPAN (www.medpannorth.org).

L'Agence pour la Coopération Internationale et le Développement de l'Espagne (AECID) a apporté une contribution financière dans le cadre du projet : " Préserver la biodiversité et l'utilisation durable des ressources marines et d'eau douce dans les zones de haute priorité de la Méditerranée ".



Remerciements

Membres du groupe de travail

Ce guide est le résultat des discussions du groupe d'experts sur les impacts du changement climatique ainsi qu'une évaluation de suivi menée par l'UICN-Med et le CAR/ASP. Nous remercions toutes ces personnes pour leurs conseils et orientations :

- Aybars Altiparmak**, Ministère des Forêts et de l'Eau, Turquie
Marilena Aplikioti, Ministère de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement, Chypre
Sami Ben Haj, Cabinet Thétis, Tunisie
Jose Carlos García Gómez, Université de Séville, Espagne
José Antonio García Charton, Université de Murcie, Espagne
Bella S. Galil, Institut National d'Océanographie (NIO), Israël Centre de recherche Océanographique & Limnologique (IOLR), Israël
M^a del Carmen García Martínez, Instituto Español de Oceanografía, Espagne
Giuseppe di Carlo, Programme méditerranéen du WWF (WWF MedPO), Italie
Joaquim Garrabou, Institut des Sciences de la Mer, Espagne
Dan Laffoley, Commission mondiale des aires protégées (CMAF) de l'UICN
Christophe Lejeusne, Station Biologique de Doñana-CSIC, Espagne
Piero Lionello, Université de Salento, Italie
Melina Marcou, Ministère de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement, Chypre
Paula Moschella, Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée (CIESM)
Petra Rodic Baranovic, Institut national pour la Protection de la Nature, Croatie
Maria Salomidi, Institut d'Océanographie (IO), Centre Hellénique de Recherche Marine (HCMR), Grèce
Nadia Suda Lanzon, Autorité pour l'Environnement et la Planification de Malte (MEPA), Malte
Leonardo Tunesi, ISPRA, Italie
Robert Turk, Institut de la Conservation de la nature de Slovénie, Slovénie
Manuel Vargas, Institut Espagnol d'Océanographie, Espagne
Marcello Vichi, Centre Euro-méditerranéen pour le Changement Climatique (CMCC), Italie

Nous remercions également Diego Kersting (Réserve marine des îles Columbretes), Dimitriadis Charalampos (Parc national marin de Zakynthos), Mark Walton (Université du Pays de Galles, Royaume-Uni), Boris Weitzmann (AMP des Îles Medes), Elena Diaz-Almela (Projet Life Posidonia Andalucía) et Jose Carlos García Gómez (Université de Séville) pour leur contribution dans le cadre de discussions et les documents fournis. Nous tenons à remercier tout particulièrement Dan Laffoley (UICN-CMAF), Alain Jeudy de Grissac (UICN-Med), Jose Antonio Charton (Université de Murcie), Sami Ben Haj (Thétis, Tunisie), Paula Moschella (CIESM) et les réserves marines d'Espagne pour leur disponibilité et leur soutien dans le cadre de ces travaux. Nous exprimons également notre gratitude à Sonsoles San Roman qui a participé à l'édition de ce guide.

Les AMP de Miramare et de Tavolara (Italie), de Zakynthos (Grèce), de Port-Cros et du site Natura 2000 des Posidonies du Cap d'Agde (France), du Cap de Creus et des AMP de la région andalouse orientale (Espagne) et les agences et organisations respectives chargées de leur gestion, nous ont également aidés à créer ce guide en nous faisant part d'exemples de travaux en cours localement, de résultats et d'idées.

Nous sommes tout particulièrement reconnaissants à l'association MedPAN et au WWF France (responsable du projet MedPAN Nord) pour leur soutien permanent.



Table des matières

Contexte et objectif de ce guide.....	6
Impact du changement climatique sur les écosystèmes côtiers et marins	8
Les changements climatiques au niveau planétaire.....	8
Les changements climatiques de la Méditerranée.....	9
Modélisation du changement	10
Projection des changements d'ici la fin du XXIe siècle	11
Impact du changement climatique sur la biodiversité marine	14
Changements concernant la répartition des espèces autochtones	14
Propagation d'espèces exotiques dans la Méditerranée	15
Mortalité à grande échelle des communautés macrobenthiques	17
Prolifération de certaines espèces	17
Effets de l'acidification	18
Effets de l'élévation du niveau de la mer	19
Effets cumulatifs et résilience naturelle.....	20
Évaluation de la vulnérabilité des AMP face au changement climatique	22
Élaboration d'un protocole de suivi et d'évaluation pour le réseau des AMP	26
Pourquoi réaliser un suivi des effets du changement climatique?.....	26
Conception d'un cadre de suivi	26
Proposition de catégories d'indicateurs et de procédures de suivi	30
1. Conditions physiques et biochimiques.....	30
2. Changements concernant les dates de reproduction et d'élevage des espèces clés.....	32
3. Phénomènes épisodiques.....	34
4. Modification de la répartition des espèces	37
5. Changements migratoires	39
Intégration du changement climatique dans le suivi des AMP	41
Opportunités d'adaptation climatique : vers une future stratégie commune pour les AMPs.....	42
Pour conclure	44
Lectures complémentaires.....	45
Réseaux d'observation environnementale et programmes régionaux relatifs au changement climatique	50

Contexte et objectif de ce guide

L'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre devrait engendrer à court terme un impact considérable sur le climat au niveau mondial. Dans le monde entier, l'atmosphère et les océans se réchauffent et les effets les plus immédiats de cela sur l'environnement marin sont notamment l'élévation du niveau de la mer, la hausse de l'acidification et des températures de l'eau de mer, la plus grande fréquence des phénomènes extrêmes, et les modifications de la teneur en oxygène ou des processus de désoxygénation [Quatrième Rapport d'évaluation du GIEC (IPCC en anglais), 2007]. En raison de ces pressions et des réactions des écosystèmes, le changement climatique est aujourd'hui considéré comme un vecteur de modification et de perte de biodiversité important. Son importance a été soulignée par plusieurs conventions et traités internationaux, dont la Convention sur la diversité biologique et le Protocole de Kyoto.

La dernière évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a révélé que la Méditerranée serait fortement affectée par le changement climatique tout au long du XXI^e siècle. Les aspects océanographiques et physiques du changement climatique en Méditerranée ont été décrits dans de nombreux rapports et études scientifiques, mais il subsiste des incertitudes quant à l'ampleur des changements physiques et chimiques attendus à l'échelle sous régionale et locale (Lionello, 2012).

Malgré l'importance de la conservation de la biodiversité, les connaissances restent minces quant à l'impact biologique du changement climatique sur la biodiversité marine et côtière méditerranéenne, quel que soit le niveau, car une grande partie de la compréhension actuelle repose sur des modèles, très peu d'études et des données discontinues provenant principalement du nord-ouest de la mer Méditerranée (CIESM, 2008 ; Lejeusne *et al.*, 2009 ; Coll *et al.*, 2010 ; UNEP-MAP-RAC/SPA, 2010). Le suivi et les informations à l'échelle du bassin concernant les espèces et les écosystèmes clés de la Méditerranée demeurent donc des éléments fondamentaux pour l'atténuation des effets du changement climatique et l'adaptation face à ces effets. En outre, les environnements marins et côtiers de la région sont de plus en plus menacés par les impacts d'une population grandissante et de l'accroissement de la demande en ressources naturelles. L'association de toutes ces pressions risque d'exacerber les conséquences du changement climatique.

Afin de lutter contre l'impact du changement climatique sur la biodiversité, le Programme d'Action Stratégique pour la Conservation de la Diversité Biologique en Méditerranée (PAS BIO) a été mis en place dans le cadre du Plan d'action pour la Méditerranée (PAM) de la Convention de Barcelone en 2003 et la Déclaration d'Almería a été adoptée lors de la 15^e réunion ordinaire des Parties contractantes à la Convention de Barcelone en 2008 pour fournir un cadre d'action pour les pays méditerranéens. D'un point de vue côtier, le Protocole GIZC méditerranéen¹ fournit également une plateforme permettant d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans les politiques et la gouvernance de la gestion côtière. Au niveau de l'UE, la Commission a adopté en avril 2013 une Stratégie relative à l'adaptation au changement climatique, afin de favo-

riser une plus grande coordination et un meilleur partage des informations entre les États membres, et garantir la prise en compte de la question de l'adaptation dans l'ensemble des politiques européennes concernées.

L'adaptation au changement climatique concerne les ajustements des systèmes naturels ou humains en réponse aux modifications ou aux effets du climat réels ou prévus, permettant de limiter leurs impacts ou d'exploiter les opportunités qu'ils présentent (mod. GIEC, 2007)

En soutien aux protocoles et aux stratégies ci-dessus, un suivi au niveau du bassin a été mis en place. Il est probablement plus facile d'observer les effets du changement climatique dans les aires protégées car en général elles sont davantage à l'abri des impacts anthropiques que les autres zones ; dans ces aires, les interférences dues à d'autres causes de changement devraient donc être moins importantes. Ainsi, les Aires marines protégées (AMP) en Méditerranée peuvent jouer un rôle important en tant que « sites sentinelles » où les effets du changement climatique peuvent être étudiés et des stratégies de gestion peuvent être élaborées pour s'adapter à ces effets négatifs, et si possible, les contrer. Les AMP individuelles et le réseau des AMP méditerranéennes ont donc un important rôle à jouer pour optimiser notre compréhension et favoriser le développement de stratégies en vue d'atténuer les effets du changement climatique.

Au fur et à mesure que le climat se modifie, la gestion des AMP devient de plus en plus complexe ; le suivi du changement climatique au sein des AMP dans l'ensemble de la Méditerranée est donc utile pour améliorer notre compréhension et la gestion de ses effets. Il existe actuellement 675 AMP en Méditerranée, couvrant une superficie totale de près de 114 600 km² soit environ 4,6% de la mer Méditerranée, ou 1,1% en excluant le Sanctuaire Pelagos (87 500 km²) qui a lui seul représente 3,5% (Gabrié *et al.*, 2012). Des manifestations directes des effets du changement climatique commencent déjà à être observées sur certains sites (Bensoussan *et al.*, 2010 ; Crisci *et al.*, 2011 ; Cebrian *et al.*, 2011). Néanmoins, le changement climatique n'est toujours pas explicitement intégré aux plans de gestion de la plupart des AMP, et les futures évaluations de la performance des AMP devront tenir compte de ces effets.

Globalement, au niveau régional méditerranéen, peu de programmes visent à évaluer les impacts du changement climatique sur la biodiversité marine ou à soutenir la planification de l'adaptation au sein des AMP et dans d'autres sites ayant de la valeur en terme de conservation. Dans le contexte mondial, les aires marines protégées contribuent à l'accroissement de la capacité d'adaptation des communautés marines et côtières et tempèrent les impacts potentiels du changement climatique. Le renforcement des capacités des AMP, grâce à la collecte d'informations, au suivi et au développement de la sensibilisation concernant le changement climatique, contribue aux efforts régionaux en vue d'améliorer les informations et de s'adapter au changement. De plus, les informations sur l'im-

¹ CAR/PAP. 2007. Protocole GIZC en Méditerranée (signé à Madrid le 21 janvier 2008)



Parc naturel de Cabo de Gata-Níjar, Espagne. Photo : A. Barrajón

Le pacte du changement climatique sur la biodiversité fournira les éléments requis pour justifier l'investissement dans des mesures d'atténuation et d'adaptation. Enfin, les programmes de suivi dédiés au changement climatique peuvent fournir de précieuses informations de base pour contribuer aux efforts déployés actuellement pour évaluer les impacts du changement climatique d'ici la fin de XXI^e siècle. Étant donné que le risque d'impact dépendra des zones étudiées, ces efforts permettront d'allouer les ressources aux zones qui devraient souffrir le plus de ces effets.

La mitigation du changement climatique se réfère aux stratégies développées pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ou améliorer leur séquestration, et de ce fait réduire la probabilité d'atteindre un niveau prévu de changement. La mitigation réduit la probabilité de dépasser la capacité d'adaptation des systèmes naturels et des sociétés humaines.

Le changement climatique doit être pris en compte dans les plans de gestion de toutes les AMP. L'intégration du changement climatique dans le suivi des AMP ne nécessite pas d'équipements coûteux ni de grandes capacités techniques. En outre, elle peut aider les gestionnaires à mieux comprendre les vulnérabilités et les diverses réactions de leurs communautés marines sur différents sites, et à revoir la gestion et le découpage des AMP. Il peut également exister des opportunités consistant à inclure des actions de suivi dans les plans de gestion des AMP et à les relier aux programmes de suivi climatique et océanographique actuellement en place dans la région méditerranéenne ou en Europe.

Dans le cadre de l'Association MedPAN et du projet MedPAN Nord, l'UICN-Med en collaboration avec le CAR/ASP aborde le sujet de l'impact du changement climatique sur les AMP méditerranéennes avec l'objectif à long terme de mettre en

place une stratégie pour l'évaluation et la réduction au minimum du risque posé par le changement climatique pour les écosystèmes marins et côtiers. Ce travail viendra étayer les objectifs à moyen terme du Programme PAS BIO au niveau méditerranéen (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009), visant notamment à améliorer les actions coordonnées au sein des AMP méditerranéennes, à éclairer les approches adaptatives du changement climatique pour une gestion efficace des AMP, à mettre en place un système d'alerte climatique à différentes échelles géographiques, et à réduire la vulnérabilité au sein des AMP.

L'identification des paramètres les mieux adaptés au suivi des impacts du changement climatique sur la biodiversité dans les AMP à l'échelle méditerranéenne est un objectif clé de ce programme. Ceci permettra d'améliorer notre compréhension des réactions des communautés marines et d'aider les gestionnaires à évaluer l'état de leurs sites et les changements environnementaux survenant sur ces sites.

Pour atteindre cet objectif, nous avons organisé plusieurs rencontres réunissant des chercheurs spécialisés dans le changement climatique, des scientifiques dans le domaine de la biodiversité et les parties prenantes des aires protégées, dans de nombreux domaines d'expertise. Les discussions qui ont découlé de ces réunions ainsi que les travaux menés depuis ont ensuite contribué à l'élaboration de ce guide destiné aux gestionnaires des AMP en Méditerranée. Son objectif est de fournir des orientations concernant la manière de mesurer l'impact du changement climatique sur la biodiversité marine des aires protégées, et les moyens permettant d'améliorer la planification en vue d'atténuer les impacts à venir. Il résume également les menaces et les effets les plus importants sur la biodiversité marine méditerranéenne observés à ce jour, et il présente les nombreuses incertitudes subsistant aujourd'hui en matière de compréhension des réactions écologiques face au changement climatique. Ce guide a donc pour vocation de fournir une aide et les gestionnaires pourront choisir d'utiliser les différents plans de suivi et les indicateurs présentés, en fonction de leur situation particulière et de leurs objectifs de gestion.

Impact du changement climatique sur les écosystèmes côtiers et marins

Les changements climatiques au niveau planétaire

Les changements climatiques que connaît notre planète aujourd'hui sont généralement admis au sein de la communauté scientifique (Trenberth *et al.*, 2007). Les causes de ce processus sont multiples : modifications dans l'utilisation des sols, émissions de gaz carbonique, altérations de l'ozone stratosphérique et troposphérique, émissions des aérosols, et autres facteurs. Toutefois, le facteur principal induisant le réchauffement planétaire semble être les émissions de gaz à effet de serre. Il existe de nombreux gaz appartenant à cette catégorie (protoxyde d'azote, méthane, CFC, etc.) mais les principaux responsables de la hausse de la température de notre planète sont les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) issues de la combustion des combustibles fossiles.

Réchauffement de la mer et du climat

Entre la moitié du XIX^e siècle et le début du XXI^e siècle, la température de l'air à la surface de la planète a connu une augmentation comprise entre 0,6 °C et 0,8 °C ; ce réchauffement devrait s'accroître tout au long du XXI^e siècle actuel si des mesures d'atténuation ne sont pas mises en place. La mer joue un rôle clé pour limiter ce processus car plus de 80% de la chaleur absorbée par la planète s'accumule dans les océans du monde entier (Bindoff *et al.*, 2007). En raison de la forte capacité thermique massique de l'eau de mer, les températures de la mer augmentent moins que celles de l'air. L'expansion thermique des océans (provoquée par la hausse des températures) et l'augmentation au niveau mondial de la masse de l'eau de mer (provoquée par la fonte des glaciers continentaux) entraînent l'élévation du niveau de la mer. Parallèlement, des modifications concernant les précipitations et les taux d'évaporation ont également été observées, ce qui altère la salinité de la mer.

CO₂ et acidification des océans

En outre, l'accroissement de cette absorption de CO₂ par les océans modifie la chimie de l'eau de mer, diminuant son pH (augmentant l'acidité ou la concentration d'ions d'hydrogène H⁺) et diminuant la concentration en ions carbonates par réduction de l'état de saturation en carbonate de calcium (CaCO₃) :



Par conséquent, ceci est susceptible de nuire gravement à la formation de la coquille et du squelette de nombreux organismes marins, y compris certaines espèces de coquillages d'importance commerciale.

Les mesures au niveau mondial indiquent que l'acidité moyenne de l'eau de mer a augmenté de 30% depuis le début de la révolution industrielle (équivalant à une acidification de 0,1 unité de pH) et, d'après les prévisions, les océans devraient progressivement devenir plus acides au fur et à mesure qu'ils continuent d'absorber davantage de dioxyde de carbone (Denman *et al.*, 2011). La cause principale de l'acidification des océans n'est pas la quantité totale de CO₂ pénétrant dans les océans mais le fait que la vitesse de modification du pH n'a jamais été aussi élevée.

Variabilité de la circulation des océans

Les éventuelles modifications de la circulation atmosphérique, la position des systèmes de haute et de basse pression ainsi que d'autres facteurs pourraient perturber les principaux modes de circulation des vents et affecter l'intensité et/ou la position des systèmes de remontée d'eau. Il s'agit des zones à partir desquelles l'action du vent fait remonter vers la surface de la mer (mieux éclairée) les nutriments nécessaires à la fertilisation de l'eau et à la production primaire, ce qui est à la base de la chaîne alimentaire marine.

La température et la salinité de l'eau de mer sont des variables contrôlant la densité des océans. Les variations naturelles de densité à différentes latitudes de la planète donnent lieu à la « circulation thermohaline », semblable à une courroie d'acheminement géante redistribuant le surplus de chaleur des latitudes équatoriales et tropicales. Ce mécanisme est l'un des principaux facteurs influençant le climat de la planète, réduisant la température des basses latitudes et réchauffant les régions situées à des latitudes plus hautes comme l'Europe du Nord. Il a également été suggéré que ce mécanisme de régulation de la chaleur pourrait à l'avenir changer radicalement voire s'effondrer en raison des modifications de la température et de la salinité dans les régions polaires.

Circulation thermohaline : Circulation des masses d'eaux océaniques liées aux différences de densité en relation avec les différences de température et de salinité.



Etoile de mer rouge (*Echinaster sepositus*) dans une prairie de *Posidonia oceanica*.
Photo : J. C. Calvin, OCEANA

Les changements climatiques de la Méditerranée

Les changements décrits brièvement ci-dessus ne sont pas homogènes partout dans le monde. Il est nécessaire de comprendre que les changements climatiques mondiaux sont des changements affectant la planète tout entière mais pas nécessairement de la même manière partout. De même, il ne faut pas confondre les « changements moyens », établis en moyenne pour les océans du monde entier, et les « changements spécifiques » survenant à des échelles spatiales plus petites, comme ceux observés ou attendus dans des régions comme la Méditerranée. C'est par exemple le cas des changements concernant la salinité. L'altération du cycle hydrologique de la Terre et la fonte des glaciers et des calottes glaciaires affectent la salinité des océans à l'échelle mondiale ; toutefois, bien qu'une baisse de la salinité soit attendue dans les hautes latitudes, elle progressera dans les basses latitudes avec la diminution des précipitations et l'accroissement de l'évaporation.

La mer Méditerranée fournit un bon exemple de région dans laquelle des réactions particulières et spécifiques face aux changements climatiques planétaires ont été observées. En raison de sa taille relativement petite, de sa grande biodiversité, de son climat tempéré et de sa nature semi-fermée, la Méditerranée est un lieu dans lequel les effets du changement climatique seront plus exacerbés. Sa nature semi-fermée empêche le renouvellement rapide de l'eau, rendant donc cette eau plus sensible aux variations de pH et de température. Ce fait, associé à la forte pression humaine exercée par des zones côtières très peuplées, fait de la mer Méditerranée un lieu particulièrement vulnérable.

Cette région a également été reconnue par la communauté océanographique en tant que laboratoire naturel pour l'étude et l'analyse du changement climatique, car certains des grands processus contrôlant la circulation des océans à l'échelle mondiale se retrouvent à une échelle beaucoup plus réduite dans la mer Méditerranée.

Réchauffement de la mer

Au cours du XX^e siècle et au début du XXI^e siècle, la température des eaux de surface en Méditerranée a augmenté de manière similaire à la température de l'air (Vargas-Yáñez *et al.*, 2010 ; Lionello, 2012) : les eaux peu profondes de la Méditerranée ont déjà enregistré un réchauffement de près de 1 °C depuis les années 1980. Les eaux intermédiaires, c'est-à-dire les eaux s'étendant en dessous de l'étage supérieur, à des profondeurs comprises entre 200 et 600 m, ont aussi connu une hausse de leur température.

Température de l'eau de surface :
Température de l'eau de mer entre le premier millimètre et plusieurs mètres sous la surface.

Changements de la salinité et de la circulation de la mer

La salinité des eaux intermédiaires et profondes a également augmenté, apparemment en raison d'un ensemble de facteurs : la diminution des précipitations, l'augmentation de l'évaporation et la construction de barrages sur les principaux fleuves se jetant dans la mer Méditerranée.

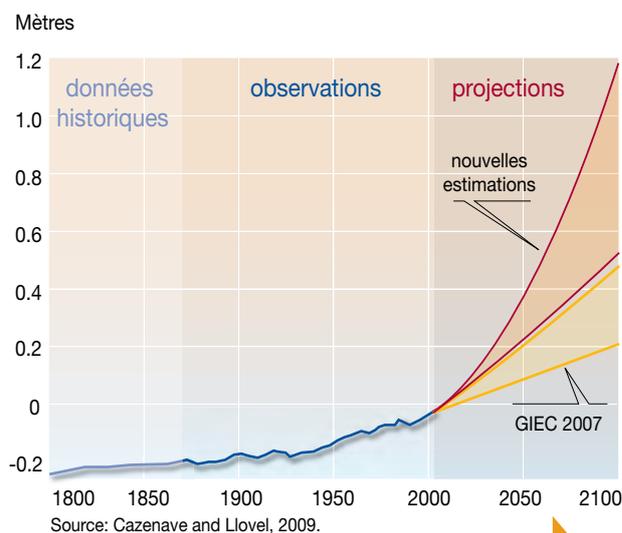
Les eaux remplissant les bassins les plus profonds de la Méditerranée sont renouvelées et ventilées pratiquement chaque année grâce à un processus appelé « formation d'eaux profondes ». Lors de ce processus qui, d'après les observations, a lieu dans le golfe du Lion, le nord de la mer Adriatique et la mer Égée, les eaux de surface et intermédiaires ayant une salinité élevée en raison des taux d'évaporation importants se refroidissent en hiver, ce qui accroît leur densité et les font plonger vers les niveaux les plus profonds de la mer où elles se mélangent et deviennent une partie intégrante des nouvelles masses d'eaux profondes.

Les changements de température et de salinité peuvent réduire la formation des masses d'eaux profondes, en affectant la durée, la fréquence et l'intensité de ce processus. En raison des changements climatiques locaux, cela pourrait finalement avoir un impact sur la biodiversité (Pusceddu *et al.*, 2010).

Élévation du niveau de la mer

L'élévation du niveau de la mer Méditerranée, qui était inférieure à celle du reste du monde à la fin du XX^e siècle (de la moitié des années 1960 à la moitié des années 1990) en raison de pressions atmosphériques anormales, a progressé depuis et semble s'accélérer à un rythme similaire à celui observé dans les océans du monde entier.

Réchauffement de la mer



Selon le rapport du GIEC de 2007, la valeur moyenne globale de l'élévation du niveau de la mer variera entre 18 et 59 cm en 2100. Les modèles du GIEC ne prennent pas en compte la fonte accélérée de la couverture de glace du Groënland et de l'Antarctique. Des recherches plus récentes estiment cependant que cette valeur pourrait atteindre en 2100 entre 0,60 et 1,20 mètres. Source : Riccardo Pravettoni, PNUE / GRID-Arendal.

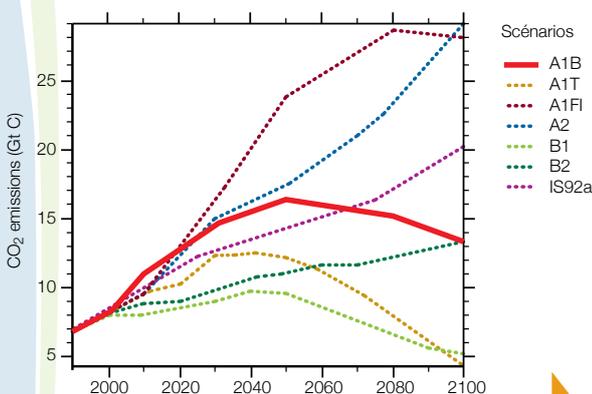
Modélisation du changement

En matière de changement climatique, il est préférable d'étudier des projections plutôt que des prévisions. Par exemple, des prévisions météorologiques ou portant sur l'état de la mer (vagues, courants) peuvent être faites avec un certain niveau de précision sur une courte période de quelques jours car ces éléments sont soumis à des lois physiques bien connues. Par contre, les projections indiquent que le résultat est conditionné à une hypothèse concernant l'avenir, comme le taux des émissions de CO₂ selon un scénario économique préconisé en externe.

L'évolution du climat dépend en partie des lois physiques mais aussi de variables qui ne peuvent pas être prévues avec certitude, comme le taux des futures émissions de gaz à effet de serre, le développement et l'utilisation des technologies énergétiques, ou la croissance de la population humaine. Par conséquent, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a établi différents scénarios plausibles pour l'évolution de ces facteurs, afin de faire une projection de l'état futur du climat.

Les rapports synthèse du GIEC sur les problèmes de changement climatique sont publiés tous les 5 ou 7 ans, le prochain devant paraître d'ici la fin de l'année 2013. Ces rapports concernent l'état de la connaissance sur le changement climatique et sont utilisés lors des discussions internationales sur le climat avec pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Des modèles générés par ordinateur ont été créés à partir de ces scénarios, de l'évolution du climat de notre planète au cours du siècle dernier et des observations disponibles, afin d'estimer la manière dont la température de l'air et de l'eau de mer, les précipitations, la salinité et les autres variables changeront en fonction des différents scénarios envisagés (Chris-



Les scientifiques utilisent un ensemble de scénarios reposant sur différentes hypothèses concernant les futures conditions économiques, sociales, technologiques et environnementales, et des voies de développement alternatives. « A1B » fait référence à l'un des scénarios décrits dans le Rapport spécial sur les scénarios d'émissions préparé par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 2000. Il s'agit d'un scénario dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population aura atteint son maximum et l'utilisation des sources d'énergie fossiles et non fossiles sera équilibrée.

Les émissions de dioxyde de carbone d'origine volcanique sont utilisées en Italie pour évaluer la réponse des communautés biologiques à une acidité croissante de l'eau de mer (échantillons transportés sur site et suivis).



Photo : J. Hall-Spencer

tensen *et al.*, 2007). Les scénarios peuvent fournir de bonnes estimations sur les futures émissions de gaz à effet de serre et renseigner sur les incertitudes associées à toute prévision d'un modèle climatique particulier.

Divers modèles ont été créés, allant des modèles d'équilibre énergétique unidimensionnels, en passant par les modèles de complexité intermédiaire jusqu'aux modèles de circulation générale couplés atmosphère/océan (MCGAO), décrivant l'atmosphère, les océans, la glace marine, les terres et éventuellement la chimie, les cycles du carbone et des nutriments, ainsi que les calottes glaciaires. Le niveau d'incertitude de chaque modèle varie lorsque les variables sont projetées dans l'avenir, produisant tout un ensemble de résultats possibles. Néanmoins, les modèles climatiques mondiaux fournissent rarement des solutions adaptées pour la gestion à l'échelle régionale telle que la Méditerranée. Pour cette raison, des modèles régionaux sont en cours de création pour que le climat puisse être prévu plus précisément et à des échelles spatiales plus petites s'appliquant à des régions géographiques spécifiques en Méditerranée (Lionello, 2012).

Les modèles climatiques régionaux peuvent actuellement faire des projections portant sur des zones spatiales plus petites que celles étudiées dans les modèles de circulation générale, à des résolutions spatiales inférieures ou égales à 25 km, mais cette résolution est encore trop faible pour la gestion des aires protégées. Étant donné que les données d'observation nécessaires pour créer ces modèles ne sont pas encore disponibles à haute résolution spatiale (Vargas-Yañez *et al.*, 2012), les informations actuellement fournies par ces modèles sur l'évolution des sites présentant un intérêt écologique spécial sont pour l'instant insuffisantes pour permettre l'élaboration de stratégies de conservation et d'adaptation des AMP méditerranéennes. À l'avenir, il est évident que les modèles régionaux climatiques devront être améliorés afin de fournir des projections adaptées à cet objectif.

Toutefois, les efforts de modélisation à haute résolution spatiale (moins de 1 km) peuvent peut-être permettre de faire face aux processus hydrodynamiques côtiers complexes qui existent dans certaines AMP et aider à faire des simulations de scénarios de changement climatique à des échelles plus petites. Ce type d'approche pourrait fournir aux gestionnaires une vue d'ensemble claire des changements attendus en matière de régimes thermiques, y compris concernant les variations de la stratification en été, dans les aires dont ils sont responsables. Néanmoins, davantage de recherches concernant les techniques de gestion ainsi que des efforts plus soutenus pour la collecte de données de suivi de base seront nécessaires pour développer une compréhension de la manière dont les environnements des AMP pourraient évoluer en réaction au changement climatique.

Projection des changements d'ici la fin du XXI^e siècle

La majorité des résultats produits par les modèles selon les différents scénarios comprennent une hausse de la température de l'air dans la région méditerranéenne d'ici la fin du XXI^e siècle. Les comparaisons entre les températures projetées et les moyennes pour la première moitié du XX^e siècle indiquent une hausse de 2 à 5 °C pour la Méditerranée, avec une moyenne de 3,2 °C, ce qui est plus élevé que la moyenne au niveau mondial (2,6 °C). Les projections climatiques sug-

gèrent aussi une augmentation du nombre, de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes (liés à l'eau et à l'air chaud) dans toute la région (voir étude de di Carlo et Otero, 2012).

Les précipitations (pluie et neige) devraient baisser en Méditerranée, en particulier l'été, lorsque le risque de sécheresse sera plus élevé. Dans le scénario A1B, les précipitations diminueront de 25% en été et de 10% en hiver d'ici 2100, avec de grandes variations entre les pays et les régions du sud de la Méditerranée comme la péninsule ibérique, les Balkans et l'Anatolie.

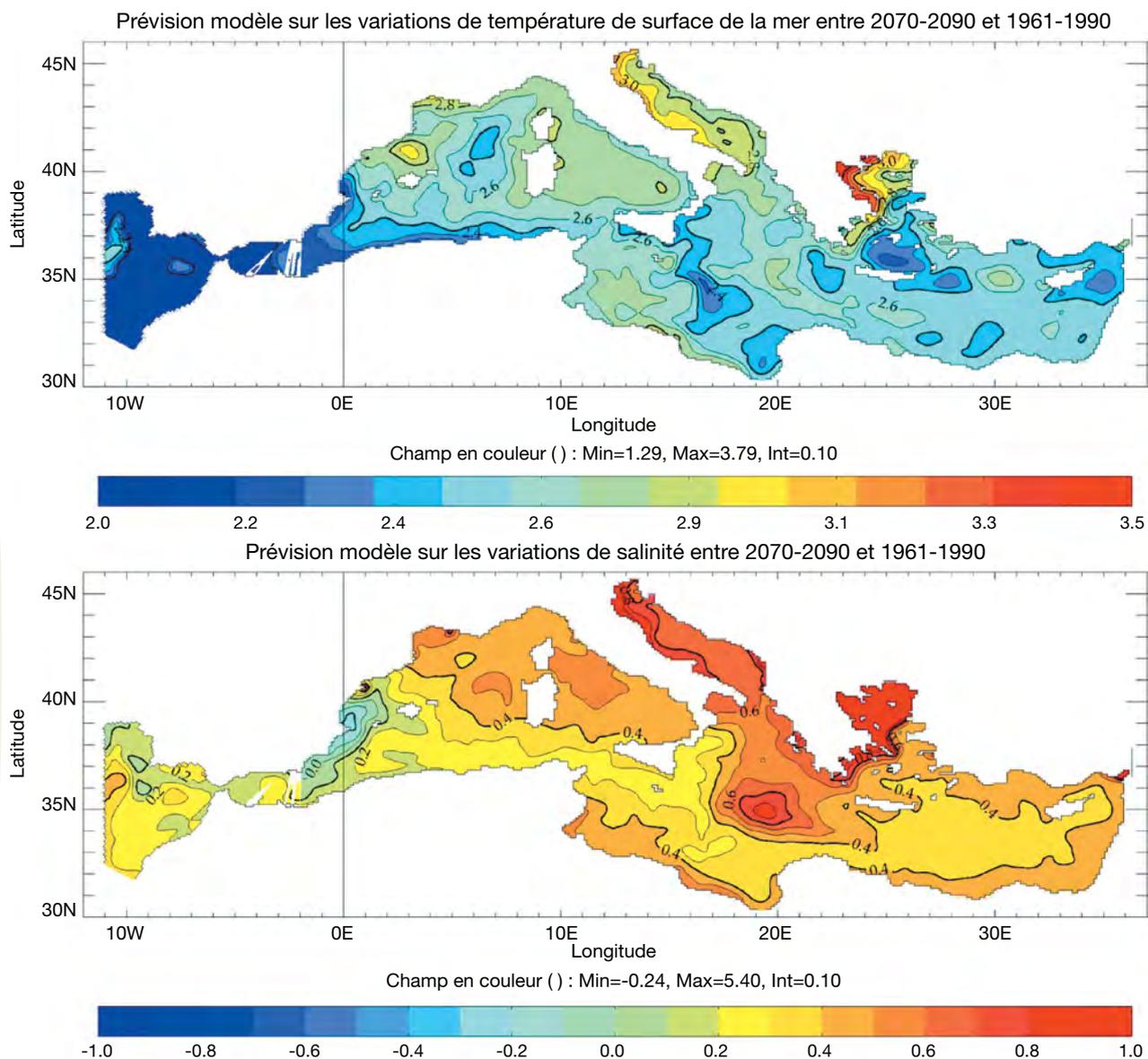
Tableau 1. Changements climatiques marins observés et attendus en Méditerranée, et niveau de confiance (élevé, moyen ou faible).

Mer Méditerranée	Ce qui se produit actuellement	Ce qui pourrait se produire d'ici la fin du XXI ^e siècle	Références
Température	Les températures de surface ont augmenté d'environ 1°C	Les températures de surface augmenteront encore de 2,5 °C en moyenne d'ici 2100, et les températures des étages intermédiaires et profonds augmenteront aussi (Niveau de confiance élevé)	Lionello, 2012
Salinité	A augmenté de 0,05 ppt dans les étages intermédiaires et profonds au cours du XX ^e siècle	Aura tendance à augmenter en surface et dans les étages intermédiaires et profonds ; la salinité de surface pourrait croître de 0,5 ppt d'ici 2100 en fonction des arrivées d'eau douce, de la circulation des océans et d'autres facteurs avec une augmentation plus prononcée dans la Mer Adriatique et la Mer Égée (Niveau de confiance moyen)	Vargas-Yáñez <i>et al.</i> , 2012
Niveau de la mer	Les niveaux de la mer Méditerranée ont augmenté de 1–3 mm/an	L'augmentation de la température entraînerait une élévation du niveau des océans de 3 à 61 cm au cours du XXI ^e siècle, tandis que la salinité accrue engendrerait une variation du niveau de la mer estimée entre -22 et +31 cm. (Niveau de confiance faible).	EEA Report No 12/2012
Acidification de la mer	Le pH des eaux de surface des océans a chuté de 0,1 unité de pH, ce qui équivaut à une hausse de 30 % de l'acidité	La mer Méditerranée continuera de s'acidifier avec l'augmentation des émissions de CO ₂ . Au niveau global, les projections prévoient une baisse de 0,3 à 0,4 unités d'ici 2100 (jusqu'à atteindre un pH inférieur à 7,8) (Niveau de confiance faible)	Denman <i>et al.</i> , 2011
Circulation de la Méditerranée	Aucun effet observé pour le moment	Affaiblissement et perturbations éventuels de la circulation thermohaline (Niveau de confiance moyen)	Li <i>et al.</i> , 2012 in Lionello, 2012
Érosion côtière	Impacts dans les zones côtières des deltas, les estuaires et les plages, avec une réduction des dépôts sédimentaires	Augmentation attendue à l'avenir en raison des effets de l'élévation du niveau de la mer et des tempêtes, surtout en automne et en hiver (Niveau de confiance faible)	Critto <i>et al.</i> , 2012 ; Sano <i>et al.</i> , 2010.
Remontées d'eau et intensité des courants	Aucun effet observé pour le moment	Intensité moindre (Niveau de confiance faible)	Lionello, 2012

La température et la salinité devraient augmenter dans l'ensemble de la colonne d'eau, c'est-à-dire dans les étages supérieurs, intermédiaires et profonds. Les températures de surface de la mer devraient être supérieures de 2,5 °C environ d'ici 2100. En conséquence de ce réchauffement général, la formation des eaux profondes et la ventilation (oxygénation) des bassins profonds pourraient être réduites. La circulation thermohaline de la Méditerranée, avec l'entrée des eaux atlantiques par le détroit de Gibraltar et la sortie des eaux méditerranéennes se jetant dans l'océan Atlantique, devrait également s'affaiblir. Parallèlement, la salinité de l'eau de mer augmentera progressivement d'environ 0,5 unité au cours des 100 prochaines années.

Pour l'instant, aucun scénario n'est accepté largement pour la répartition régionale à plus long terme de l'élévation du niveau de la mer projetée en Méditerranée. Le niveau de la mer pour une région particulière pourrait être très différent par rapport à la moyenne mondiale. La contribution de la fonte des glaces et des facteurs locaux comme les mouvements tectoniques locaux ou les ondes de tempête, ainsi que les changements de température et de salinité, affecteront l'élévation du niveau de la mer sur tout le littoral méditerranéen, allant de changements minimes à une hausse de plusieurs dizaines de centimètres.

Projection des changements de la température moyenne annuelle (°C) dans le climat futur (2070-2099) par rapport au climat passé (1961-1990), à la surface de la mer, à 100 m et à 1 000 m de profondeur, en fonction du scénario A1B sur les émissions. Source : Lionello, 2012.





Impact du changement climatique sur la biodiversité marine

La mer Méditerranée est considérée comme l'un des points névralgiques de la biodiversité mondiale, où l'impact du changement climatique, associé à d'autres pressions anthropiques, pourrait être le plus destructeur (Lejeusne *et al.*, 2009 ; Coll *et al.*, 2010).

Le changement climatique affecte déjà son environnement, ses écosystèmes et ses espèces de nombreuses manières, et les données suggèrent que la gravité de son impact s'accroîtra au fur et à mesure que le changement climatique se poursuivra. Les espèces pourront ne plus être adaptées à l'ensemble des conditions environnementales dans lesquelles elles vivent et elles auront besoin de réagir en s'adaptant suffisamment vite pour faire face à la rapidité du changement (Somero, 2012). Les individus, les populations ou les espèces pourraient être victimes de phénomènes de mortalité graves, ce qui pourrait finalement se traduire par leur extinction au niveau local, tandis que d'autres pourraient migrer vers des zones plus favorables ou modifier leur physiologie pour s'adapter aux nouvelles conditions. Ces effets entraîneront ensuite une perturbation des interactions entre les espèces (prédation, concurrence, etc.) et des réactions en chaîne, qui se multiplieront au niveau des communautés et des écosystèmes et pourront altérer considérablement la structure et la fonction des communautés marines méditerranéennes à l'avenir (Hughes *et al.*, 2003 ; Bruno *et al.*, 2003 ; Doney *et al.*, 2012).

De plus, les espèces doivent faire face à des menaces supplémentaires occasionnées par les activités humaines, dont certaines peuvent agir en synergie avec le changement climatique. La somme de ces perturbations importantes est connue sous le nom de « changement climatique planétaire ». Les effets que les différents facteurs stressants, et en particulier l'association de ces facteurs, ont sur les organismes marins sont actuellement mal compris.

Les effets directs des changements relatifs à la température et à la chimie des océans (principalement la hausse de l'acidité et de la température de la mer) peuvent altérer le fonctionnement physiologique et le comportement de ces organismes ainsi que la croissance de leurs populations, conduisant à des changements de taille, de structure, de répartition spatiale et d'abondance saisonnière des populations. D'autres facteurs stressants liés au climat, comme l'élévation du niveau de la mer, les modifications de la circulation et des mélanges au sein des océans, ou la désoxygénation océanique (la tendance à l'échelle mondiale de la baisse des niveaux d'oxygène résultant du réchauffement océanique et de l'accroissement de la stratification), peuvent également se produire au même moment et au même endroit, augmentant leur impact simultané sur les communautés marines.

Désoxygénation de l'océan : La tendance à l'échelle mondiale de la baisse des niveaux d'oxygène est le résultat du réchauffement de l'océan et de l'accroissement de la stratification.

De nombreuses études ont mis en lumière les impacts substantiels du changement climatique sur les écosystèmes marins et la mer Méditerranée en particulier (Hall-Spencer *et al.*, 2008 ; Coma *et al.*, 2009 ; Garrabou *et al.*, 2009 ; Azzurro *et al.*, 2011). La majorité de ces travaux ont été axés sur les effets de la température et la réaction des organismes soumis à des concentrations élevées de CO₂, tandis que la diminution de la concentration d'oxygène a été moins étudiée. Les informations disponibles actuellement reposent sur des observations sur le terrain et sur différents cadres expérimentaux *in situ* et *ex situ*. Dans les habitats côtiers, où la plupart des AMP méditerranéennes sont établies, les principaux facteurs stressants susceptibles d'avoir un impact sur le biote marin sont la hausse des températures, l'acidification des eaux et la baisse de la concentration d'oxygène.

Ce guide n'a pas pour vocation de décrire en détail l'ensemble des impacts connus sur la biodiversité marine, issus du changement climatique (voir études de Gambiani *et al.*, 2009 ; Lejeusne *et al.*, 2009 ; Calvo *et al.*, 2011 ; Di Carlo et Otero, 2013). En revanche, ce guide présente une étude générale étayée d'exemples portant sur les effets les plus importants, susceptibles de faire l'objet d'un suivi (ou au moins d'être signalés) dans les AMP.

Changements concernant la répartition des espèces autochtones

Les modifications concernant la répartition des populations marines sont les effets les plus fréquemment signalés en lien avec les conditions du changement climatique. En Méditerranée, il a été observé que la hausse des températures à long terme affecte les limites des régions biogéographiques, puisque certaines espèces préférant les eaux chaudes étendent leur aire de répartition et colonisent des zones dans lesquelles elles étaient jadis absentes ou rares (CIESM, 2008). Les poissons et les crustacés ainsi que les espèces sessiles comme les échinodermes, les cnidaires et les algues, modifient leur aire de répartition géographique à la fois en terme d'emplacement et de profondeur, ce qui semble être un phénomène largement répandu concernant déjà une centaine d'espèces autochtones, allant des producteurs primaires aux principaux prédateurs.



Thalassoma pavo. Photo : A. Can - www.alpcan.com

Les espèces autochtones les plus courantes se propageant vers le nord comprennent les poissons comme la girelle paon *Thalassoma pavo*, le mérrou brun *Epinephelus marginatus* et la macroalgue *Dasycladus vermicularis*.



Epinephelus marginatus. Photo : A. Can - www.alpcan.com



Dasycladus vermicularis. Photo : I. Rubio - marmenormarmayor.es

Les espèces préférant les eaux chaudes, plus abondantes dans le sud et l'est de la Méditerranée où les températures sont plus élevées, sont plus abondantes et étendent leur aire de répartition vers le nord. Par exemple, la densité de population de la girelle paon *Thalassoma pavo* a été multipliée par dix en moins de 5 ans depuis son arrivée dans la Réserve marine de Scandola (nord-ouest de la Corse, France) en 1988. De même, une augmentation des débarquements d'autres espèces préférant les eaux chaudes a été signalée dans l'ensemble de la région ; c'est le cas de la sardinelle ronde *Sardinella aurita* et de l'un de ses prédateurs, le tassergal *Pomatomus saltatrix*, une espèce pélagique côtière migratoire dont la limite septentrionale semblait se trouver au niveau de la côte catalane méridionale dans l'ouest de la Méditerranée. D'après les observations, les espèces sont de plus abondantes depuis ces dernières années et s'étendent vers le nord, jusqu'au nord-ouest de la Méditerranée (Sabates *et al.*, 2006). Il est présumé que ces changements sont associés à la hausse des températures printanières, ce qui est essentiel pour la migration et la reproduction de ces espèces. Les fluctuations cycliques annuelles liées aux variations thermiques naturelles pourraient toutefois avoir des conséquences importantes pour la physiologie, l'adéquation et l'abondance de ces espèces.

L'une des raisons expliquant le succès de cette expansion de l'aire de répartition de nombreuses espèces sensibles aux températures est leur capacité à se reproduire dans les nouvelles zones et à établir de nouvelles populations. Un exemple bien documenté illustrant cela est l'apparition récente de juvéniles de l'espèce *Epinephelus marginatus* (mérrou brun) dans le Parc national de Port-Cros (France) et dans d'autres zones le long de la côte continentale française. La croissance de la population du mérrou brun sur ces sites au cours des dix dernières années s'explique en partie par l'augmentation de la température de l'eau suite au changement climatique et en partie par le succès des mesures de protection fournissant les conditions adaptées à la reproduction et au recrutement dans le nord de la Méditerranée (Harmerlin *et al.*, 2007).

En revanche, il existe des éléments témoignant d'une baisse d'abondance de certaines espèces préférant les eaux froides des zones les plus septentrionales de la Méditerranée (nord-ouest de la Méditerranée et nord de l'Adriatique). Les habitats adaptés à ces espèces préférant les eaux froides peuvent également changer car ces dernières ne peuvent pas rivaliser, pour prendre possession des ressources limitées, avec les espèces méridionales se déplaçant vers le nord, ce qui peut conduire à une réduction importante de leurs populations et représenter une menace pour leur survie. Par exemple, une étude récente a révélé que les changements concernant l'abondance relative d'une espèce préférant les eaux chaudes,

la girelle paon (*Thalassoma pavo*), et d'une espèce préférant les eaux froides, la girelle commune (*Coris julis*), partageant le même habitat, peuvent faire fuir les espèces préférant les eaux froides vers des habitats moins adaptés afin d'échapper à la concurrence au sein du même environnement thermique (Milazzo *et al.*, 2013). Ainsi, en plus des changements concernant leur aire de répartition géographique, de nombreuses espèces pourraient aussi modifier leurs préférences en matière d'habitat au sein de leur aire de répartition actuelle.

Par exemple, concernant le gobie à joues poreuses (*Gobius geniporus*), une espèce actuellement présente dans l'ouest, le nord et le nord-est de la Méditerranée, une réduction de 80% de son aire de répartition en raison du changement climatique est prévue d'ici la moitié du XXI^e siècle, limitant ses populations au golfe du Lion, au sud de la Sardaigne, au nord de l'Adriatique et au nord de la mer Égée (Ben Rais Lasram *et al.*, 2010).

Un autre exemple concerne le sprat européen *Sprattus sprattus* ; cette petite espèce pélagique vivant en bancs et d'importance économique élevée, semble se reproduire uniquement dans le golfe du Lion et dans le nord de la mer Adriatique (Peck et Mölmann, 2008). La population présente dans la zone la plus septentrionale de la Méditerranée se situe à sa température physiologique limite ce qui, conjugué à la pêche intensive, rend cette population extrêmement vulnérable au changement climatique.

Propagation d'espèces exotiques dans la Méditerranée

La mer Méditerranée fait l'objet d'un afflux continu d'espèces exotiques ou non autochtones arrivant par le canal de Suez ou le détroit de Gibraltar, souvent en étant véhiculées dans le cadre du transport maritime international, entre autres vecteurs. La majorité de ces espèces exotiques sont thermo-

Les espèces exotiques, également appelées espèces étrangères, introduites, non indigènes ou non autochtones, sont des plantes ou des animaux, introduits intentionnellement ou non, dont les populations se sont établies dans leur région d'accueil et s'y répandent de façon incontrôlée (UICN, 2002).

philes (espèces préférant les eaux chaudes) et le réchauffement des eaux favorise leur propagation rapide vers le nord et l'ouest de la Méditerranée. D'après les observations, l'espèce la plus rapide parmi ces colonisateurs est le poisson-flûte *Fistularia commersonii*, qui a formé de larges populations dans les eaux chaudes orientales et a colonisé l'ensemble de la Méditerranée en moins de 10 ans (Azzurro *et al.*, 2012). D'autres espèces comme les deux poissons-lapins *Siganus luridus* et *S. rivulatus* ainsi que les ascidies *Phallusia nigra* et *Herdmania momus* sont maintenant très courantes dans la plupart des régions de la Méditerranée orientale et elles interagissent fortement avec les espèces autochtones.

Le cas de l'AMP de Kas-Kekova au large de la côte lycienne au sud-ouest de la Turquie est un exemple caractéristique de l'impact des espèces envahissantes. Sur ce site, deux espèces envahissantes de poissons-lapins originaires de la mer Rouge (*Siganus luridus* et *S. rivulatus*) sont à l'origine de la création et du maintien de sols sous-marins stériles, composés uniquement de rochers nus et d'algues corallines encroûtantes localisées. Ces espèces thermophiles étendent naturellement leur aire de répartition dans l'ensemble du bassin oriental en direction des zones de la Méditerranée situées au nord.

Photo : P. Bodilis - ECOMERS



Le siganidé *Siganus luridus* est devenu très commun dans la partie orientale de la Méditerranée et il est en compétition forte avec les espèces herbivores locales. Sa présence peut conduire à une réduction rapide des formations végétales sous marines.

Ainsi, le changement climatique permet non seulement à certaines espèces exotiques existantes de s'étendre vers d'autres zones, mais il est également susceptible de créer les conditions propices à l'arrivée de nouveaux envahisseurs ou de déclencher un comportement envahissant chez ces espèces exotiques. Le résultat du réajustement des interactions par les populations autochtones locales sera variable en fonction d'un certain nombre de facteurs. Globalement, cela pourrait se traduire par un profond impact à la fois sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes de la zone infralittorale méditerranéenne où sont établies la plupart des AMP.

Envahissant : Dit d'une espèce exotique qui s'établit dans un écosystème ou un habitat naturel ou semi-naturel et qui devient un facteur de changement, se multipliant abondamment et se répandant sur le territoire, menaçant la diversité biologique originelle (UICN, mod. 2012).

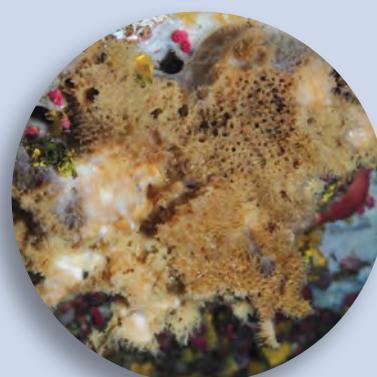
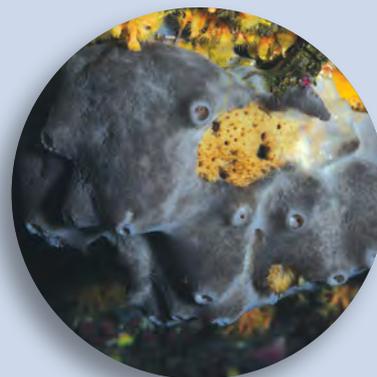


Photo : J. Garrabou

Un spécimen en bonne santé et différentes étapes de kératose sur les éponges de Méditerranée.

Mortalité à grande échelle des communautés macrobenthiques

Des phénomènes de mortalité à grande échelle sans précédent ainsi que des maladies liées au réchauffement climatique ont été observés en Méditerranée au cours des dernières décennies. Plus de 30 espèces parmi les communautés vivant sur les fonds durs de la Méditerranée ont été affectées par des phénomènes de mortalité à grande échelle associés à des hausses inhabituelles de la température de l'eau de mer sur des milliers de kilomètres de littoral, principalement au nord-ouest de la Méditerranée (Cerrano *et al.*, 2000 ; Garrabou *et al.*, 2009).

Les formations coralligènes, considérées comme les habitats les plus riches de la Méditerranée, ont été le plus gravement atteintes. Ces communautés, vivant surtout dans un environnement caractérisé essentiellement par des eaux froides en raison de la formation d'une thermocline saisonnière (couches temporaires entre lesquelles la température change de manière abrupte selon la profondeur), sont adaptées à un environnement en mutation résultant de processus intermittents et transitoires, comme les phénomènes de remontée d'eau, de plongée des eaux, de mélange vertical, d'advection horizontale et de vagues de chaleur. En revanche, d'autres espèces concernées, vivant dans des habitats côtiers moins profonds (tels que les grottes et les environnements rocheux dominés par les algues), sont adaptées à un environnement plus stable pendant la période estivale.

Thermocline saisonnière : Limite marquée entre des masses d'eau de températures très différentes à mesure que la profondeur augmente.

Les phénomènes de mortalité à grande échelle que connaissent ces communautés vivant sur les fonds durs ont surtout été observés le long de la côte nord-ouest de la Méditerranée, sur une zone allant du nord-est de l'Espagne et des Baléares jusqu'à la France et la côte ligurienne de l'Italie, et, dans une moindre mesure autour de la Corse. En 1999 et 2003, ces phénomènes ont été les plus graves jamais enregistrés dans la région et ont affecté une grande variété d'espèces et de taxons sur plus de 1 000 km de côtes, à une profondeur allant jusqu'à 50 m (Garrabou *et al.*, 2009). D'autres phénomènes similaires, bien que survenus à plus petite échelle, ont été observés dans d'autres parties de la Méditerranée et ont concerné d'autres organismes (par exemple, la maladie de « l'oursin chauve » (« bald sea-urchin disease ») affectant le *Paracentrotus lividus*). Parmi ces phénomènes de mortalité, beaucoup ont été liés à une stratification estivale de la colonne d'eau particulièrement importante et à une éventuelle réduction des ressources alimentaires (Coma *et al.*, 2009).

Les impacts de ces phénomènes de mortalité sur les populations ont été graves, surtout pour les gorgones méditerranéennes (*Paramuricea clavata*, *Eunicella singularis*, *E. cavolinii*, *Lophogorgia ceratophyta* et *Corallium rubrum*) et les éponges (*Ircinia fasciculata*, *Spongia officinalis* et *S. agaricina*). Par exemple, dans certaines zones touchées, jusqu'à 90% des colonies de gorgones pourpres *Paramuricea cla-*

vata connaissent une mortalité totale ou partielle. Toutefois, d'autres espèces, comme la gorgone jaune *Eunicella cavolinii*, semblent mieux résister à ces phénomènes de réchauffement, bien que les effets sur leur biologie reproductive, la vulnérabilité face aux maladies et la croissance puissent toujours être observés plusieurs années après la pression initiale, avec une absence de signes manifestes de rétablissement.

Étant donné que les espèces affectées sont généralement des organismes vivant depuis longtemps et caractérisés par une croissance lente de leur population, avec une faible dissémination larvaire, la capacité de rétablissement des populations affectées est probablement limitée. Les espèces créatrices d'habitats telles que ces gorgones fournissent de l'ombre et un abri à d'autres espèces grâce à leur structure squelettique. En cas de modification importante de leur niveau d'abondance, les effets sur l'organisation et le fonctionnement de la communauté peuvent être considérables.



Gorgone de Méditerranée *Paramuricea clavata* affectée par la hausse de température de l'eau

Prolifération de certaines espèces

Avec les changements de température et d'autres conditions, la prolifération de plusieurs types d'organismes est également observée de plus en plus souvent.

Plusieurs études ont démontré une augmentation importante de l'abondance des méduses dans différentes zones de l'hémisphère nord, probablement en raison du changement climatique et des modifications au sein de la chaîne alimentaire (comme la surpêche d'espèces prédatrices). La prolifération des espèces de méduses autochtones (*Pelagia noctiluca* et *Aurelia aurita*) et exotiques (*Rhopilema nomadica*) dans les zones côtières méditerranéennes engendre de graves interférences avec les activités humaines, dont le tourisme et la pêche. L'analyse d'une série de données à long terme portant sur plus de 200 ans a révélé que la conjugaison de certaines conditions (comme la température élevée de l'eau de mer, les conditions météorologiques stables pendant la reproduction et les chutes de pluie réduites) semble favoriser le développement et l'augmentation des cas de prolifération de la *P. noctiluca* en Méditerranée (Goy *et al.*, 1989). L'analyse d'autres séries de données provenant de la mer Adriatique et de paramètres expérimentaux a livré des conclusions similaires : la prolifération de la *P. noctiluca* et d'autres espèces de méduses est favorisée (du moins en partie) par le réchauffement de la mer. Les changements environnementaux, qu'ils soient naturels

ou résultant de l'influence humaine, pourraient conduire à des modifications de la saisonnalité des proliférations de méduses, de telle manière qu'elles pourraient se développer plus tôt ou plus longtemps, tandis que le changement climatique semble augmenter la capacité de ces organismes à prospérer.

Un autre type de prolifération, les agrégats mucilagineux, est provoqué par la multiplication de plusieurs espèces de phytoplancton qui se développent de manière saisonnière et à différentes profondeurs. Le mucilage marin flottant à la surface ou dans la colonne d'eau peut avoir une longue durée de vie (jusqu'à 2-3 mois) et lorsqu'il forme des tapis denses et épais se fixant sur le fond marin, ces derniers peuvent parfois recouvrir complètement des communautés benthiques entières, comme les prairies sous-marines (*Posidonia oceanica*) et les forêts de gorgones (*Paramuricea clavata* par exemple), engendrant des conditions hypoxiques et/ou anoxiques sur des zones sédimentaires de plusieurs kilomètres carrés (Danovaro *et al.*, 2009). À ce stade, ils peuvent nuire tout particulièrement aux populations de gorgones, et d'importants phénomènes de mortalité associés à cette prolifération ont été observés en Italie (Sicile) et en Espagne (Réserve marine des îles Columbretes) (Mistri et Ceccherelli, 1996). Néanmoins, dans d'autres cas, le mucilage disparaît après plusieurs semaines, ne laissant aucun signe visible d'impact sur les communautés. Une augmentation considérable de la fréquence de ces phénomènes de mucilage a été observée dans différentes parties du nord-ouest de la Méditerranée, autour de la Sicile et en particulier dans le nord de la mer Adriatique, cette dernière zone étant la plus gravement affectée par ces proliférations. Le moment où surviennent ces phénomènes et ces anomalies climatiques observées parallèlement (par exemple, la hausse des températures de surface de la mer) indique une corrélation manifeste avec le changement climatique (Danovaro *et al.*, 2009).

Le réchauffement des eaux côtières conjugué à l'eutrophisation peut aussi accroître l'intensité, la durée et l'ampleur des proliférations d'algues nocives, ce qui peut endommager les communautés marines et les industries côtières comme l'aquaculture. Ces phénomènes sont, pour la plupart, considérés comme l'une des conséquences du changement climatique. Le réchauffement peut également suggérer l'éventualité que de nouveaux parasites et de nouvelles maladies pénètrent dans les eaux méditerranéennes, et certaines études récentes évoquent une fréquence plus importante de ces proliférations d'invertébrés, augmentant la probabilité des phénomènes de mortalité à grande échelle (Lejeusne *et al.*, 2009 ; Calvo *et al.*, 2011). Toutefois, l'état actuel des connaissances ne permet pas de prévoir les conséquences de ces pathogènes et leur corrélation avec le changement climatique.



Décharges d'eaux usées par un émissaire sous-marin.
Photo : V. Tasso, OCEANSNELL

Eutrophisation : Processus pendant lequel une masse d'eau (souvent peu profonde) se charge en nutriment, en particulier des phosphates et des nitrates et voit son oxygène dissous diminuer, lors de processus naturel ou de pollution. L'eutrophisation s'accompagne souvent d'une croissance importante des algues.

Effets de l'acidification

L'absorption du CO₂ atmosphérique par l'eau de mer, conduisant à une baisse du pH (acidification), peut avoir un grave impact sur le comportement et la survie de nombreux organismes dotés de structures en carbonate de calcium, et par conséquent affecter la composition et la productivité des communautés marines.

Néanmoins, l'impact de cela sur la biodiversité marine est pour l'instant mal connu. L'acidification des océans a le potentiel d'affecter les niveaux de croissance, de reproduction et d'activité des individus. Certains animaux toléreront une plus forte acidité ; certains pourront même prospérer dans ces conditions, mais globalement les changements au sein des communautés seront différents d'une localité à l'autre. Les modifications relatives à la composition des espèces en fonction des gradients de pH suggèrent que les espèces calcifiées pourront ne pas survivre face au plus grand coût métabolique nécessaire pour résister aux environnements à pH faible, tout en entrant en concurrence avec d'autres organismes, non calcifiés, pour prendre possession des ressources.

Comprendre la manière dont les écosystèmes côtiers méditerranéens réagiront face à l'acidification de l'eau de mer est une priorité pour de nombreux groupes de recherche nationaux et internationaux car très peu d'études de terrain ont été menées sur ce sujet. En plus des expériences en laboratoire, les habitats marins peu profonds dotés de cheminées volcaniques émettant du CO₂ ont fourni aux chercheurs un environnement intéressant pour comprendre les effets de l'acidification au sein des écosystèmes benthiques méditerranéens. Les émissions naturelles de CO₂ provenant de ces cheminées fournissent un éventail de niveaux de pH pouvant être utilisé pour obtenir une représentation de ce que seront les écosystèmes benthiques dans un scénario caractérisé par des émissions de CO₂ élevées. Ces études ont indiqué que les communautés des côtes rocheuses, situées à proximité et exposées à des eaux à pH faible, connaissent une réduction du nombre d'espèces et une



Photo : J. Hall-Spencer

Prairie de *Posidonia oceanica* dans une zone d'émission de gaz volcaniques (CO₂) en Italie.



Marques de dissolution observées sur les polypes du corail endémique *Cladocora caespitosa* en raison de conditions de réduction du pH.

évolution de la structure des communautés, passant d'une structure dominée par des organismes calcaires à une structure dominée par des organismes non calcifiés (Hall-Spencer *et al.*, 2008). Par exemple, autour des cheminées volcaniques de Vulcano en Italie, une communauté dominée par les macroalgues a enregistré une baisse en termes de richesse, de couverture et de capacité de reproduction des espèces dans un environnement à pH faible. De même, l'abondance de divers organismes calcaires comme les coraux scléactiniaires (*Cladocora caespitosa* et *Balanophyllia europaea*), les macroalgues (*Lithophyllum incrustans*, *Corallina elongata*, *Pardina pavonica* et *Halimeda tuna*), les mollusques (*Osilinus turbinatus*, *Patella caerulea* et *Hexaplex trunculus*) et les oursins (*Paracentrotus lividus* et *Arbacia lixula*) était inférieure dans des conditions à pH faible dans des conditions plus acides (Hall-Spencer *et al.*, 2008; Rodolfo-Metalpa *et al.*, 2011).

Les expériences en aquarium et les transplantations sur le terrain dans des eaux naturellement acidifiées ont confirmé certains des effets négatifs de l'acidification déjà observés. Par exemple, concernant les coraux scléactiniaires *Cladocora caespitosa* et l'espèce exotique *Oculina patagonica*, les conditions de pH faible ont réduit les taux de calcification d'environ 30% (Movilla *et al.*, 2012). De même, d'autres espèces comme le corail rouge *Corallium rubrum* et l'algue coralline *Lithophyllum cabiochae* ont enregistré une réduction considérable (jusqu'à 60%) de la croissance du squelette et de l'activité alimentaire ou ont présenté davantage de nécroses, respectivement, dans un environnement à pH faible. Ces conclusions et d'autres observations suggèrent que les communautés coralligènes riches risquent d'être gravement affectées par l'acidification en cours. L'impact de l'acidification sur la croissance, la reproduction et la structure des coquillages a également été observé.

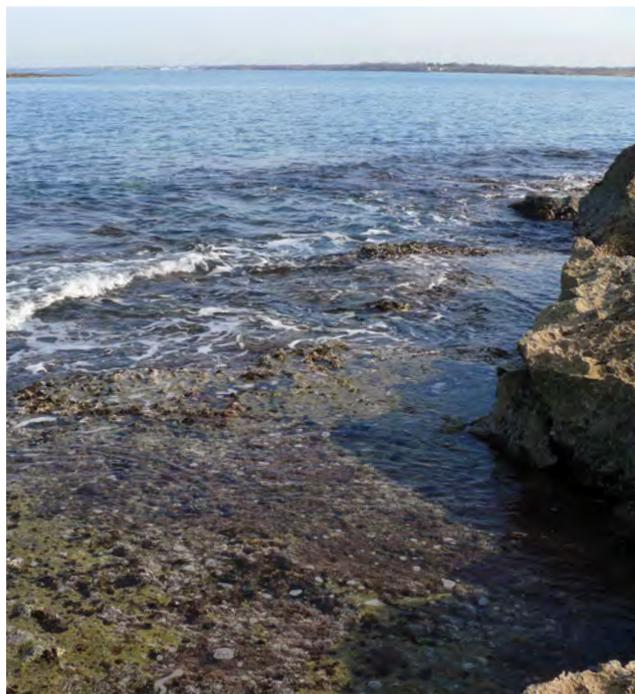
En revanche, un certain nombre d'espèces semblent résister cette acidification, voire en bénéficier. Par exemple, les herbiers de *Posidonia oceanica* semblent avoir une remarquable tolérance aux niveaux de pH faibles, et plusieurs espèces d'algues, dont certaines sont exotiques (*Caulerpa racemosa*, *Asparagopsis armata* et *Dictyota dichotoma*), ainsi que d'autres espèces comme l'anémone de mer *Anemonia viridis* peuvent croître en abondance et en productivité (Hall-Spencer *et al.*, 2008 ; Suggett *et al.*, 2012). L'espèce *P. oceanica* est par contre ultrasensible au réchauffement de l'eau de mer, et les populations naturelles devraient connaître des taux de mortalité élevés avec la hausse de la température annuelle de l'eau.

Effets de l'élévation du niveau de la mer

Comme évoqué plus haut, l'élévation du niveau de la mer est généralement considérée comme l'une des plus importantes conséquences du réchauffement climatique, mais ses effets sur la biodiversité sont mal connus.

L'élévation du niveau de la mer menace les marais côtiers, les grottes sous-marines et les plages, qui sont des habitats essentiels pour de nombreuses espèces comme les populations de phoques moines méditerranéens et de tortues marines classées « en danger », utilisant ces habitats pour leur reproduction (voir page 32). Les bioconstructions intertidales, comme les récifs créés par les vermetes (mollusques) et les algues corallines (comme le vermet *Dendropoma petraeum* et l'algue rouge *Neogoniolithon brassica-florida*) ou bien les affleurements formés juste au-dessus du niveau de la mer par l'algue coralline encroûtante *Lithophyllum byssoides*, sont extrêmement vulnérables face aux modifications du niveau de la mer et à l'érosion causée par les vagues lors des grades tempêtes (Boudouresque, 2004). Les récifs de vermetes sont surtout situés au centre et au sud de la Méditerranée, tandis que les affleurements sont largement présents dans l'ensemble de la Méditerranée (Chemello et Silenzi, 2011) et ont été utilisés pour repérer les changements passés concernant le niveau de la mer en Méditerranée. Ces habitats étant créés à partir du carbonate de calcium, l'acidification de la mer peut aussi affecter la calcification des algues et des vermetes, et avoir des effets néfastes sur le rythme de croissance de ces organismes, entraînant des phénomènes d'extinction au niveau local.

L'augmentation de la température et de l'acidité ainsi que l'élévation du niveau de la mer semblent donc corrélées aux changements affectant la biodiversité en Méditerranée (Rodolfo-Metalpa *et al.*, 2010). Les effets synergiques des différents facteurs stressants liés au changement climatique planétaire exacerberont probablement l'impact sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes côtiers.



Plateforme à vermetes dans l'AMP de Torre Guaceto, Italie. Photo : M. Otero

Effets cumulatifs et résilience naturelle



Une AMP à Malte, entre Rdum Majjiesa et Ras ir-Raheb. Photo : M. Otero

La majorité des AMP méditerranéennes ont été répertoriées en tant qu'AMP à usage multiple, cherchant à créer un équilibre entre la conservation de la biodiversité et un niveau d'utilisation humaine relativement durable. Moins de 0,1% de la superficie totale de la Méditerranée fait l'objet d'une protection stricte et/ou de zones de non-prélèvement, et les catégories de gestion des AMP les plus courantes sont les Catégories IV (aires de gestion des habitats et des espèces) et II (parcs nationaux), avec un certain niveau d'utilisation humaine (Day *et al.*, 2012 ; Gabrié *et al.*, 2012).

Même en étant gérées, de nombreuses AMP risquent d'être exposées à plusieurs facteurs stressants simultanés, tels que la pêche commerciale et récréative, la pollution, la dégradation des habitats et le changement climatique, intervenant souvent de manière synergique et amplifiant ainsi leurs impacts individuels sur les écosystèmes marins et leurs communautés (Harley et Rogers-Bennett, 2004). En outre, les AMP sont de plus en plus menacées par l'expansion du développement côtier et l'intensité des activités touristiques dans l'ensemble de la Méditerranée, surtout en été. Les impacts cumulatifs de ces différentes activités ne sont toutefois pas pris en compte si les activités sont évaluées et gérées de manière individuelle.

Cette accumulation de facteurs stressants peut donc réduire considérablement la résilience des écosystèmes des AMP à un facteur stressant supplémentaire tel que le changement climatique. En d'autres termes, cela peut diminuer leur capacité naturelle à absorber, à résister ou à se rétablir face aux perturbations, ou bien à s'adapter à ces changements sans provoquer de modifications relatives aux communautés ou l'extinction de populations locales.

Étant donné que la résilience naturelle des habitats marins risque de diminuer à l'avenir, il est essentiel de mettre en place des activités de gestion adaptées en vue de réduire ces impacts. Les mesures les plus efficaces consistent notamment à réduire le nombre et l'intensité des menaces, en particulier

Résilience naturelle : Le terme de résilience représente le niveau de dérangement ou de stress qu'un écosystème ou une espèce peut subir, tout en restant capable de retourner à son état initial lorsque le dérangement a cessé.

Refuges : Les environnements physiques relativement moins affectés par le changement climatique (en raison des courants locaux, de la situation géographique, etc.) sont qualifiés de « refuges » pour les organismes qui y habitent.

dans les zones où le risque projeté est élevé (zones vulnérables), et à intégrer les sites résilients (ou refuges) dans les méthodes de gestion afin de faciliter le rétablissement des aires moins résilientes. Le premier type de mesures nécessitera une collaboration avec les autres utilisateurs et planificateurs côtiers, et il sera aussi nécessaire de veiller à la collecte de bonnes informations de suivi afin de pouvoir agir et identifier les approches visant des pressions spécifiques. Le second type de mesures nécessitera l'identification des aires ayant fait preuve de résilience lors de précédents impacts

décolant du changement climatique, ainsi que la collecte d'informations sur les réactions des différentes communautés et des sites s'y trouvant.

Une illustration de cela peut être observée par exemple dans le nord-ouest de la Méditerranée où différentes conditions environnementales peuvent moduler l'impact d'un réchauffement régional anormal. Les conditions hydrologiques locales observées dans l'AMP des Îles Medes (nord-est de l'Espagne) se traduisent par l'absence de températures extrêmes (anomalies à court terme), même en été, et par une atténuation des variations thermiques pendant les périodes d'anomalies de longue durée. Ceci rend cette aire moins vulnérable aux phénomènes de mortalité à grande échelle que connaissent les communautés coralligènes, en comparaison avec des sites comme Marseille (à proximité du Parc national de Port-Cros) et la Corse (Réserve naturelle de Scandola) dans lesquels l'hydrodynamique ne peut pas atténuer les températures anormales, créant des conditions intolérables pour de nombreuses espèces (Crisci *et al.*, 2011).

Les puits de carbone bleu

Les dépôts organiques dans les marais salants et les prairies sous-marines (surtout de l'espèce *Posidonia oceanica*) en Méditerranée sont un exemple exceptionnel de puits de carbone naturel car ils réduisent considérablement les effets nocifs des émissions de carbone d'origine humaine grâce à cet écosystème qui capte et stocke une partie de l'excédent de dioxyde de carbone (CO₂). Ce carbone ainsi piégé, stocké et libéré à partir des écosystèmes côtiers, dont les marécages à mangroves, porte le nom de « carbone bleu ».

Les herbiers de *Posidonia oceanica* peuvent piéger et stocker de grandes quantités de carbone organique dans les sédiments et la biomasse : d'après plusieurs études récentes, il a été calculé que le taux moyen de stockage pour la Méditerranée est compris entre 0,15 et 8,75×10⁶ tC par an (Serrano, 2011). Globalement, les dépôts historiques de carbone dans les tapis situés en dessous des prairies sous-marines méditerranéennes pourraient atteindre jusqu'à 2,5 à 20,5×10⁹ tC. Grâce à leur grande capacité et à la durée extrêmement longue de séjour du carbone en leur sein, les herbiers de *Posidonia* représentent un puits de carbone très important par rapport à la quantité totale de carbone stockée dans les océans (Pergent *et al.*, 2012).

Toutefois, lorsque ces habitats sont dégradés ou perturbés (dragage, pollution ou autres facteurs stressants cumulatifs, etc.), ils peuvent libérer le dioxyde de carbone et le rejeter dans l'océan et l'atmosphère, occasionnant ainsi un effet néfaste en augmentant les émissions de gaz à effet de serre.



Posidonia oceanica. Photo : M.Otero

Bien représentées dans de nombreuses AMP méditerranéennes, ces prairies sous-marines sont des habitats présentant une forte biodiversité et dont la conservation aide à atténuer les effets du changement climatique, en plus d'accroître la résilience naturelle des AMP. Les gestionnaires des AMP peuvent apporter leur soutien en prévenant la perte du carbone actuellement stocké dans ces habitats et en améliorant la gestion en vue de permettre aux herbiers de retenir davantage de carbone, grâce à des programmes de restauration. Les marais salants et les prairies sous-marines de la Méditerranée pourraient jouer un rôle important dans le cadre des programmes nationaux de comptabilisation du carbone et représenter une source de financement futur pour les efforts de conservation.

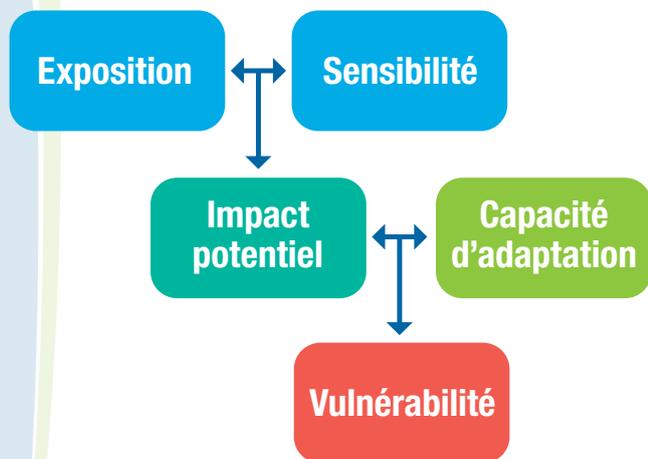
Évaluation de la vulnérabilité des AMP face au changement climatique

La **vulnérabilité** de l'environnement naturel est un concept à facettes multiples. Elle inclut l'**exposition** (la nature et le niveau d'exposition d'une espèce, d'un habitat ou d'un écosystème à des variations climatiques importantes, comme dans le cas d'une hausse des températures de l'eau de mer) et la **sensibilité** (l'ampleur de l'effet pouvant résulter d'un certain niveau d'exposition au changement climatique ; par exemple, les populations de gorgones sont sensibles à une hausse de la température de l'eau de mer) à un **impact potentiel**, ainsi que la **capacité d'adaptation**, ou la capacité de l'environnement à s'adapter au changement climatique avec un impact minimum grâce à des stratégies permettant d'y faire face et grâce à une adaptation à long terme (Füssel, 2007).

Les facteurs non climatiques : ce terme concerne les impacts actuels et futurs sur les espèces ou les systèmes naturels qui ne sont pas causés par le changement climatique, comme l'urbanisation et la pollution.

Comme expliqué précédemment, le changement climatique est le résultat d'une interaction entre le climat et des **facteurs non climatiques**, et il présente des variations régionales importantes. De toute évidence, certaines AMP méditerranéennes seront plus gravement touchées par le changement climatique que d'autres, mais elles risquent finalement de perdre leur résilience et en particulier leur capacité d'adaptation à ce climat en mutation, surtout en cas de population humaine dense à proximité ou si elles ressentent les effets du tourisme et d'autres pressions d'origine humaine.

La vulnérabilité au changement climatique dépend de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité à s'adapter (Allen Consulting, 2005, sur la base du GIEC, 2001).



Les habitats côtiers méditerranéens considérés comme les plus vulnérables, en raison de l'association entre une exposition potentiellement élevée et une sensibilité au changement climatique, comprennent les lagunes côtières, les plages

basses, les estuaires, les marais salants et les vasières, les habitats karstiques côtiers et sous-marins, les étangs et les zones humides salines, les sites de reproduction, les assemblages coralligènes, les « trottoirs » à vermetes, les herbiers de *Posidonia*, et les sites à forte densité d'espèces rares, en danger et endémiques (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009 ; Tableau 2). La capacité de ces habitats à s'adapter aux interactions entre ces vulnérabilités et les menaces et facteurs stressants non climatiques déterminera ensuite l'ampleur future des effets néfastes (GIEC, 2007b, p. 883).

La vulnérabilité d'une AMP face au changement climatique dépendra donc d'un ensemble de facteurs, comme la sensibilité du site, le niveau d'exposition et sa capacité d'adaptation. Ainsi, elle sera propre à un lieu, à une espèce ou à une communauté spécifique et elle dépendra de ses caractéristiques écologiques et socio-économiques.

La réalisation d'une évaluation de la vulnérabilité pour un site spécifique peut focaliser l'attention sur des activités de gestion particulières qui pourront servir aux gestionnaires des AMP et à d'autres utilisateurs. L'évaluation devra étudier les impacts causés par les facteurs climatiques et non climatiques, comme les modifications relatives au niveau de la mer, aux tempêtes, à la température et à la configuration de la sédimentation. L'approche à utiliser dépendra en fait de l'objectif de l'évaluation de vulnérabilité (AEE, rapport n° 12/2012). Par exemple, dans une AMP l'approche pourra commencer par l'identification des zones les plus vulnérables à l'élévation du niveau de la mer et des zones situées dans des endroits particulièrement critiques, et se poursuivre par l'examen des impacts conjugués potentiels d'autres facteurs stressants.

Différents outils peuvent être utilisés pour évaluer la vulnérabilité à différentes échelles spatiales et temporelles, dans différentes régions et pour des objectifs de gestion différents, à partir des informations et données disponibles (voir Étude de cas 1). Diverses méthodes (reposant notamment sur les indicateurs, les indices, les SIG et les modèles) utilisées pour l'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique sont présentées dans le Document technique 1/2011 (ETC/CCA) du Centre thématique européen (CTE) dédié à l'Adaptation, à la vulnérabilité et aux impacts du changement climatique (CCA, *Climate Change impacts, vulnerability and Adaptation*). Les méthodes reposant sur les indices et les indicateurs (y compris les applications SIG correspondantes) sont des méthodes simples permettant d'obtenir une première évaluation d'ensemble en vue d'identifier les zones côtières vulnérables prioritaires, et pouvant servir à informer les parties prenantes. Les systèmes d'aide à la décision (DSS, *Decision Support System*) s'appuyant sur les SIG peuvent être utilisés pour examiner les impacts multiples du changement climatique sur les zones côtières, en définissant les sites vulnérables prioritaires et en analysant les incertitudes des données ; tandis que les méthodes s'appuyant sur des modèles dynamiques informatisés sont des outils importants pour analyser et cartographier la probabilité de changement climatique et la vulnérabilité correspondante des systèmes côtiers. Les gestionnaires des AMP n'utilisent pas beaucoup ces outils ; c'est pourquoi une aide de la part d'instituts de recherche, de cabinets de conseil ou d'universités pourrait leur être bénéfique.

Tableau 2. Habitats vulnérables identifiés (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009) et impacts potentiels du changement climatique.

Habitats vulnérables identifiés	Impacts potentiels
 <p>Lagunes côtières, salines et mares</p>	<p>Inondation, submersion, salinisation.</p>
 <p>Estuaires, marais salants et zones intertidales de boues</p>	<p>Une remontée accélérée du niveau marin peut avoir un impact sur les marais salants : inondation, érosion, intrusion de sel et migration vers l'intérieur des terres des écosystèmes côtier Perte des communautés des zones humides. La remontée du niveau de la mer peut aussi causer une perte significative et rapide des zones intertidales et des communautés associées.</p>
 <p>Plages sableuses à faible pente</p>	<p>Les effets d'évènements météorologiques plus importants et plus fréquents sur les plages sableuses à faible pente peuvent submerger de grands espaces et détruire des plages de pontes pour les tortues marines. L'accroissement de l'érosion, en particulier vers le large, peut engendrer la perte totale du sable sur les plages peu développées. Mobilité des dunes de sable. Acidification et changements de la dynamique des courants peuvent modifier les communautés benthiques.</p>
 <p>Les habitats sous marins et les systèmes karstiques côtiers</p>	<p>La remontée du niveau marin et la réduction des précipitations peut engendrer des affaissements et des éboulements côtiers.</p>
 <p>Sites de croissance des juvéniles</p>	<p>La remontée du niveau de la mer peut affecter les habitats côtiers d'importance pour la reproduction ou la croissance des juvéniles et en particulier réduire leur superficie. L'augmentation de la température peut réduire les populations de poissons côtiers, affecter le cycle et le mouvements des espèces, y compris les espèces commerciales et provoquer des changements importants dans la distribution des espèces clés pour la pêche et dans l'effort de pêche.</p>
 <p>Les formations coralligènes</p>	<p>Une augmentation de la température et une acidification de l'eau pourrait menacer les organismes présentant du carbonate de calcium tels que les formations coralligènes (macro-invertébrés et algues calcaires) qui constituent la structure d'habitats importants. Les espèces exotiques pourraient trouver des conditions favorables pour leur installation et leur développement ou accroître la compétition avec les espèces déjà menacées de mortalité massive par les changements climatiques.</p>
 <p>Plateformes à vermet</p>	<p>Une remontés rapide du niveau marin pourrait submerger ces communautés de vermet et de bordures d'algues corallines encroûtées.</p>
 <p>Les prairies de Posidonies</p>	<p>Une floraison intense (en relation avec un accroissement de la température) pourrait entraîner une augmentation de la mortalité des feuilles et avoir un impact négatif sur la croissance ou le maintien de quelques prairies.</p>
 <p>Sites avec des espèces endémiques, menacées ou rares</p>	<p>Réduction des habitats des espèces clés, des habitats ou des assemblages faunistiques endémiques.</p>

Évaluation de la vulnérabilité des plages de nidification des tortues marines dans l'aire marine protégée de Zakynthos (Grèce)

Il est probable que l'élévation du niveau de la mer modifiera le littoral méditerranéen de façon spectaculaire, en particulier dans les zones de faible altitude (Ferreira *et al.*, 2008). De nombreux habitats, comme les plages ou les zones humides, risquent d'être dégradés ou détruits par la montée des eaux et les effets conjugués de l'augmentation des précipitations et de la fréquence des tempêtes.

En Grèce, le Parc national marin de Zakynthos et l'Université de l'Égée ont récemment mené une évaluation de la vulnérabilité pour examiner les impacts potentiels du changement climatique et les réactions d'adaptation sur les plages de nidification des tortues marines, qui, en général, n'ont pas encore été étudiés de manière approfondie ou ne sont pas encore bien compris (Fish *et al.*, 2005). Le Parc marin, situé dans la zone la plus méridionale de l'île de Zakynthos, accueille les sites de nidification les plus importants pour la tortue caouanne *Caretta caretta* (espèce classée « en danger ») en Méditerranée. Ses objectifs de gestion consistent à préserver l'environnement naturel et à conserver l'équilibre écologique des zones marines et côtières de la baie de Laganas et des îles Strophades, à protéger les tortues marines et d'autres espèces, et à mettre en place des activités de conservation à Zakynthos.

Une élévation du niveau de la mer menacerait cette population de tortues marines classées « en danger », en raison de la réduction de l'espace de nidification disponible sur les plages. La hausse des températures affecterait également la croissance et la proportion mâles/femelles des nouveau-nés de cette espèce. Ce problème serait exacerbé par l'intensification de l'érosion des dunes de sable, de la fréquence des ondes de tempête, des infrastructures urbaines, et des perturbations engendrées par les activités touristiques croissantes.

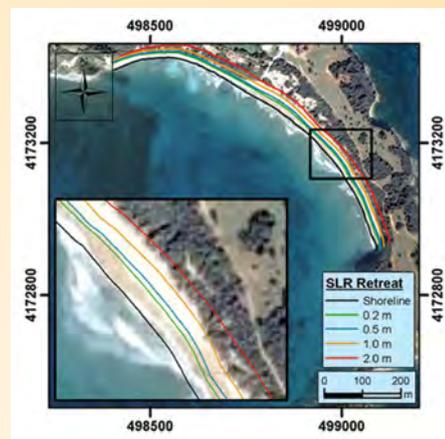
Pour évaluer les principaux effets du changement climatique sur les plages de nidification, des modélisations de scénarios relatifs à l'élévation du niveau de la mer, des mesures du profil des plages, des données météorologiques, et des mesures des caractéristiques de la colonne d'eau et des fonds marins côtiers ont été utilisées. Tous ces paramètres ont ensuite été comparés aux habitudes de nidification des tortues. Les résultats ont indiqué que sur la plage de nidification de Gerakas, par exemple, une élévation du niveau de la mer aurait un impact considérable. Selon les estimations, dans un scénario d'élévation de 0,2 m du niveau de la mer, la largeur de la plage diminuerait de 0,8 à 15,9 m, tandis que dans des scénarios d'élévation de 0,5 m et 1,0 m, elle diminuerait, respectivement, de 4,9 à 25,2 m et de 10,8 à 37,3 m. Dans le scénario le plus extrême (onde de tempête de 2,0 m), la diminution de la largeur de la plage a été estimée à entre 23,2 et 80,8 m (Vlegrakis *et al.*, 2013).

Ces estimations suggèrent que la plage pourrait perdre entre 44 et 94% de sa largeur dans le cas des trois premiers scénarios d'élévation du niveau de la mer, et qu'elle serait complètement inondée dans le cas le plus extrême (onde de tempête de 2,0 m). La plage ne peut pas s'adapter à l'élévation du niveau de la mer par transgression, car elle est adossée à des falaises. Ceci entraînera un resserrement côtier, qui à son tour réduira considérablement l'espace de nidification disponible et intensifiera les conflits liés à l'utilisation récréative de la plage ; cela pourrait même contraindre les tortues à nidifier sur d'autres plages.



Transects à travers la plage de nidification de Gerakas, issu de Vlegrakis *et al.*, 2013.

Les informations obtenues grâce à cette évaluation de la vulnérabilité aideront les gestionnaires à définir la priorité de leurs efforts de conservation, à utiliser des mesures réalistes pour atténuer les menaces potentielles liées au niveau de la mer, et à mettre en place un système d'alerte et de suivi à long terme. La formation du personnel de ce parc national à l'utilisation des outils créés leur permettra d'effectuer de futures évaluations de la vulnérabilité et de créer une planification adaptative.



Modélisation du recul de la plage dans la partie centrale de la plage de Gerakas, selon quatre scénarios d'élévation du niveau de la mer. From Vlegrakis *et al.*, 2013.



Naissance d'une tortue marine *Caretta caretta*.
Photo : Hector Garrido, CSIC.

Élaboration d'un protocole de suivi et d'évaluation pour le réseau des AMP

Pourquoi réaliser un suivi des effets du changement climatique ?

Les AMP méditerranéennes sont soumises à une pression de plus en plus grande de la part du changement climatique et d'autres facteurs anthropiques, en particulier le développement côtier. En raison de ces pressions, il est nécessaire que les gestionnaires aient une bonne compréhension et soient conscients des changements environnementaux qui ont lieu actuellement et qui risquent de se manifester très prochainement dans l'environnement des AMP. Les espèces rares, en danger ou menacées, ou bien les sites et habitats accueillant un grand nombre d'espèces risquent d'être particulièrement vulnérables au changement climatique, car les espèces auront besoin de se déplacer ou de s'adapter aux conditions environnementales en mutation. Réaliser un suivi peut faciliter l'identification de ces effets néfastes et fournir des alertes précoces. L'inclusion du changement climatique dans les programmes de suivi classiques aiderait à évaluer et à mettre en place des activités de gestion adaptées pour protéger les communautés, zones et habitats les plus résilients ou les moins sensibles ; cela permettrait aussi d'étudier d'autres stratégies de gestion adaptatives potentielles.

Étant donné que les AMP concernent des environnements relativement peu perturbés, dans lesquels de nombreux écosystèmes méditerranéens importants sont représentés, elles peuvent également servir de sites de contrôle pour suivre le changement climatique et ses impacts, à des fins de comparaison avec des sites côtiers et marins plus perturbés se

trouvant à l'extérieur des limites géographiques de l'aire protégée. L'utilisation des AMP en tant que « sites sentinelles » pour produire des ensembles de données à long terme permettra une meilleure compréhension de la variabilité naturelle de la manière dont les environnements des AMP réagissent face aux facteurs stressants du changement climatique.

De plus, ces efforts contribueront aux exigences de reporting au niveau national, régional et international concernant la conservation de la biodiversité et les objectifs de la Convention sur la Diversité Biologique (CBD). Pour les pays de l'UE, le suivi et le développement de stratégies de gestion adaptatives dans les AMP pourraient servir de base pour le reporting et le respect de la récente Stratégie de l'UE relative à l'adaptation au changement climatique (EU COM(2013) 216), et en vue d'un cadre d'action commun pour atténuer ces changements et s'y adapter.

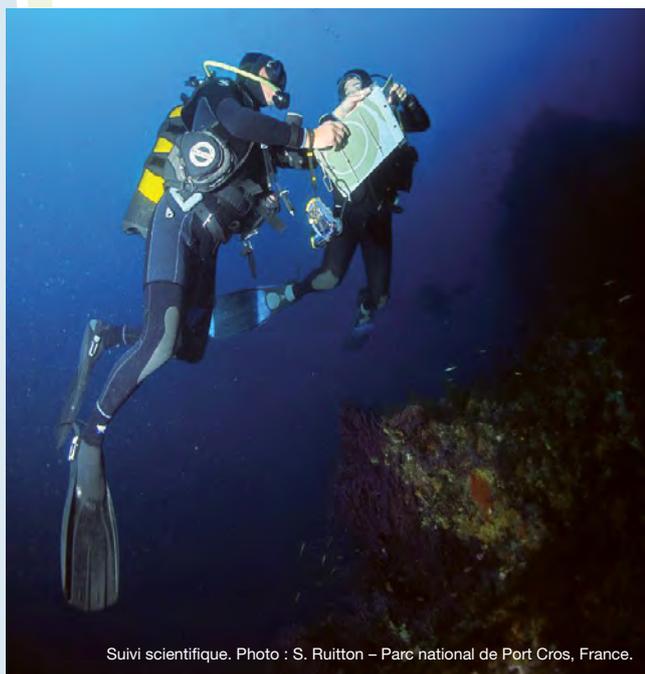
Conception d'un cadre de suivi

Programmes de suivi actuels

Beaucoup d'outils, de techniques de suivi et de nouvelles technologies sont disponibles pour mesurer les conditions environnementales des océans. Dans la mer Méditerranée, un certain nombre d'activités de suivi sont menées par différents organismes de recherche et scientifiques au niveau national, régional et international. Parmi ces activités, certaines sont menées régulièrement tandis que d'autres sont des études ponctuelles ; de plus, elles sont variables en termes de complexité, de contexte géographique, de durée et de paramètres mesurés. Dans de nombreux cas, les études qui en découlent sont difficiles à comprendre pour les non-spécialistes. Malgré les progrès enregistrés par plusieurs pays grâce au développement des outils dédiés au suivi de l'environnement marin en général, et aux modifications liées au changement climatique en particulier, il n'existe toujours pas de vision claire quant aux impacts potentiels sur les AMP.

Dans le cadre du suivi de l'environnement marin, il existe aussi des différences marquées entre les pays et entre les AMP elles-mêmes, s'agissant des activités de collecte de données et des efforts de suivi. Certains pays ont déjà mis en place des programmes de suivi, en particulier pour les variables physiques, couvrant également les sites des AMP, mais les informations qui en découlent ne sont généralement pas transmises aux gestionnaires de ces sites. Les informations de suivi sur les impacts chimiques et biologiques sont moins nombreuses.

Globalement, les efforts de suivi à l'échelle locale et régionale semblent fragmentés. Les scénarios et les projections concernant le changement climatique restent limités aux vues d'ensemble au niveau méditerranéen ou mondial ; toutefois, pour comprendre les impacts sur les sites locaux, des données de suivi adaptées à l'échelle spatiale des AMP sont nécessaires.



Suivi scientifique. Photo : S. Ruitton – Parc national de Port Cros, France.

Suivi dédié aux AMP

Pour mettre en place tout programme de suivi du changement climatique potentiel sur ces sites, les AMP individuelles doivent déjà mener des activités générales de suivi et de surveillance de leurs habitats et espèces (incluant des variables comme la superficie, la couverture, la qualité et la taille des populations), ceci afin de suivre l'évolution des conditions de leur environnement marin. En s'appuyant sur ces informations, le programme de suivi devra intégrer le changement climatique et ses impacts dans le cadre de la procédure standard. Les résultats du suivi du changement climatique, étayés par des observations sur les conditions marines et côtières (c.-à-d. les paramètres physiques et biochimiques), pourront ensuite être utilisés pour déterminer les causes et les effets lorsque des changements au sein de la biodiversité marine sont identifiés.

En raison de l'ampleur et de la diversité des impacts du changement climatique et compte tenu des ressources généra-

lement limitées disponibles dans les AMP, une série d'indicateurs clés est nécessaire pour faciliter le suivi et permettre de comprendre l'impact du changement climatique sur leur biodiversité.

Dans chaque catégorie, plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour constituer les données de base nécessaires pour évaluer la gravité de l'impact du changement climatique pour les AMP.

Le choix des indicateurs et des paramètres faisant l'objet d'un suivi témoigne, dans une certaine mesure, des connaissances actuelles et des estimations sur les impacts du changement climatique, c'est pourquoi ce choix devra être réétudié à l'avenir. Par conséquent, les indicateurs sélectionnés n'ont pas vocation à être les seuls indicateurs à utiliser pour suivre les réactions des communautés marines ; en fait, ils doivent faire partie d'un plus vaste programme de suivi des AMP reposant sur de multiples objectifs de gestion.

Pour être efficaces en tant que « sentinelles » du changement climatique, ces indicateurs devront idéalement posséder l'ensemble, ou du moins une partie des attributs suivants :

1. Ils doivent être peu nombreux et simples : de bons indicateurs doivent permettre d'effectuer facilement le suivi et les relevés correspondants, et ils doivent être fondés scientifiquement, réalisables techniquement, peu coûteux et fiables.
2. Ils doivent soutenir les efforts de modélisation et de suivi au niveau régional, et se concentrer sur des questions pertinentes pour les gestionnaires des AMP afin de répondre à des questions clés concernant les impacts sur la biodiversité et/ou la planification de l'adaptation.
3. Ils doivent être mesurés sur des sites multiples, pour permettre d'effectuer des comparaisons entre les AMP, au sein de la région locale et dans tout le réseau des AMP et le bassin méditerranéen. Ainsi, ils doivent aussi tenir compte de l'ensemble des paramètres géographiques selon différents modèles et projections.
4. Ils doivent tenir compte des différentes vulnérabilités des espèces, des communautés et des habitats dans l'ensemble du réseau des AMP, de manière à identifier les paramètres cibles de ces espèces, communautés et habitats sur lesquels le suivi doit se concentrer.
5. Ils doivent être soutenus par des séries de données chronologiques permettant la réalisation de comparaisons et d'évaluations des tendances pour que les observations puissent être interprétées de manière fiable.

Après évaluation d'une longue liste d'indicateurs par des scientifiques régionaux à l'aide des critères ci-dessus, cinq catégories d'indicateurs ont été sélectionnées comme étant d'intérêt prioritaire :

1. Conditions physiques et biochimiques

2. Changements concernant les dates de reproduction et d'élevage des espèces clés

3. Phénomènes épisodiques

4. Modification de la répartition des espèces

5. Changements migratoires



La grande nacre *Pinna nobilis*, mollusque endémique de Méditerranée.
Photo : J. Cuetos, OCEANA

Le suivi doit avoir lieu à des échelles multiples et il n'existe pas d'indicateur ou de méthode unique répondant à tous les critères. Chaque AMP est unique et représente un ensemble particulier d'écosystèmes, de biodiversité, de conditions environnementales et d'utilisations humaines, tout cela se traduisant par un niveau spécifique de vulnérabilité aux conditions associées au changement climatique. En outre, les programmes de suivi ne sont pas tous adaptés à l'ensemble des AMP. Dans ce contexte, le suivi répond à deux objectifs :

- Pour les AMP individuelles, un programme de suivi repérera les changements au niveau des composantes écosystémiques clés au sein de l'AMP ;
- Pour le réseau des AMP, le programme de suivi fournira une indication conjointe des changements au niveau de la biodiversité à l'échelle de la Méditerranée.

Les indicateurs proposés représentent une première tentative de programme de suivi du changement climatique, commun aux AMP méditerranéennes. Ils pourraient inclure :

- Des espèces marines sélectionnées pour leur réaction potentielle rapide au changement climatique, faisant déjà ou susceptibles de faire l'objet d'un suivi par les AMP elles-mêmes, et fournissant également de bonnes informations pour comprendre les impacts du changement climatique ;
- Des espèces ou paramètres spécifiques pouvant fournir des éclaircissements sur les réactions en matière de biodiversité ;
- D'autres éléments (par exemple, le pH et la température de surface de la mer) permettant de lier les AMP à des programmes de suivi existant dans la région, tout en fournissant des informations pour évaluer les impacts et les approches adaptatives potentielles.



Observation d'une colonie de *Parazoanthus axinellae*. Photo : Pepe Elias C.

Proposition de catégories d'indicateurs et de procédures de suivi

1. Conditions physiques et biochimiques

INDICATEUR

Anomalies relatives à la température de l'eau de mer

L'analyse des effets du changement climatique sur la biodiversité nécessite de solides séries de données sur les températures des zones côtières. Premièrement, ces séries de températures permettront de caractériser les régimes thermiques au sein des AMP (température maximum, température estivale moyenne, dynamique de la stratification, etc.), servant de base pour l'évaluation de leur vulnérabilité actuelle face au réchauffement. Deuxièmement, elles joueront un rôle essentiel pour détecter les anomalies thermiques et pour repérer les tendances au réchauffement dans les zones côtières méditerranéennes. L'analyse des conditions thermiques associées aux impacts biologiques signalés (par exemple, prolifération de méduses ou arrivée de nouvelles espèces) déterminera dans quelle mesure le réchauffement est responsable des impacts observés.

Les données sur les températures de surface de la mer à grande échelle, obtenues à partir d'images satellites, indiquent clairement une tendance au réchauffement en Méditerranée (Skirris *et al.*, 2011). Toutefois, les informations sur le réchauffement et les modifications concernant la dynamique de la stratification survenant dans les zones côtières restent limitées. Les séries de données thermiques à résolution temporelle, disponibles pour la colonne d'eau (0–80 m de profondeur), ont mis en évidence une tendance au réchauffement dans les eaux côtières à différentes profondeurs ; malheureusement, les données ne couvrent que quelques sites dans le nord-ouest de la Méditerranée et le nord de l'Adriatique (toutefois, d'autres séries de données non publiées existent peut-être). Le programme proposé pour le suivi des températures aidera à combler l'énorme déficit de connaissances concernant les régimes thermiques dans les zones côtières.

Les séries de données thermiques à haute résolution peuvent aussi servir à valider les efforts de modélisation au niveau sous régional. Les modèles hydrologiques validés peuvent être un outil puissant et fiable pour les prévisions et pour évaluer l'impact attendu du changement climatique à des échelles spatiales pertinentes pour la gestion des AMP. Ces activités sont essentielles pour l'élaboration de plans de gestion et de conservation adaptés à la riche biodiversité méditerranéenne, et pour développer les capacités nécessaires en vue d'anticiper l'impact du changement climatique dans les AMP méditerranéennes.

PROPOSITION DE PROCÉDURE DE SUIVI

Les séries de données thermiques à long terme sont très rares pour les zones côtières méditerranéennes, en particulier s'agissant des données obtenues à haute résolution temporelle. Les récentes avancées technologiques signifient à présent que

l'acquisition de séries de données thermiques à haute résolution pourra peut-être se faire à un coût raisonnable, fournissant ainsi des informations incomparables sur l'environnement thermique (températures moyennes et extrêmes, et variabilité) auquel les organismes sont exposés. Dans chaque AMP, des enregistreurs de données thermiques autonomes peuvent être déployés à des intervalles de 5 m, de la surface jusqu'à des profondeurs de 40–50 m, si la géographie le permet, dans les sites exposés à des courants et à des vents dominants (Bensoussan *et al.*, 2011). Les capteurs peuvent être fixés sur des substrats rocheux ou le long de chaînes ou de lignes de bouées, tandis que les enregistreurs situés dans les prairies sous-marines peuvent être installés directement dans le couvert.

Les enregistreurs de données thermiques doivent être programmés pour recueillir des mesures toutes les heures et être récupérés par des plongeurs tous les ans ou tous les semestres, généralement avant et après la période estivale. Pour l'analyse et la gestion des données, l'initiative T-MedNet² a créé une application sur le Web permettant de mettre en ligne et de vérifier les données, et de sauvegarder tous ces enregistrements en toute sécurité. La base de données harmonisée permet de créer des routines semi-automatiques, ce qui est très efficace pour la préparation de rapports de synthèse sur les conditions thermiques, en incluant des graphiques et des descripteurs relatifs aux températures (moyenne, coefficient de variation, etc.).

Autrement, les bouées océanographiques sont un autre type de capteur thermique utilisé par les instituts de recherche et d'autres organisations. En général, ces bouées mesurent des variables océanographiques, météorologiques et portant sur la qualité de l'eau. Les informations spécifiques obtenues par ces capteurs comprennent les températures de surface de la mer et les profils thermiques. Bien qu'ils soient plus coûteux et nécessitent la participation des instituts de recherche, ces capteurs pourraient être une source d'informations alternative ou complémentaire s'ils sont positionnés à proximité immédiate des AMP.

INDICATEUR

Anomalies relatives à la salinité, au pH et à d'autres conditions environnementales biochimiques

Plusieurs paramètres chimiques et physiques de la colonne d'eau de mer, comme la salinité, la concentration d'oxygène dissous, le pH, les nutriments organiques et inorganiques, la chlorophylle A/production primaire, et la turbidité, sont des mesures recommandées pour les AMP car elles fournissent des indications directes ou indirectes sur la stabilité des communautés marines. Le pH et la salinité à la surface sont particulièrement importants car ils sont les plus susceptibles de se modifier avec la variabilité du climat et d'avoir des effets observables chez les communautés marines (voir page 14).

2. <http://www.t-mednet.org/presentation>

Étant donné que plusieurs instituts de recherche scientifique travaillent sur ces questions, il est conseillé de vérifier si des programmes de suivi et/ou des protocoles sont déjà en place au sein ou à proximité des eaux des AMP, et s'ils ont des données disponibles. D'autres paramètres physiques, comme la température de l'air, la vitesse du vent, etc., recueillis par différentes organisations et agences gouvernementales pourraient aussi être utiles pour l'interprétation des résultats.

PROPOSITION DE PROCÉDURE DE SUIVI

Les échantillonnages au sein des AMP sont fondamentaux pour comparer la variabilité locale avec les observations régionales réalisées par les stations de suivi des instituts de recherche. Alors que de nombreux programmes sont conçus pour détecter les variations thermiques régionales globales, peu de séries temporelles existent pour détecter les changements concernant de nombreux autres paramètres. Le suivi des variables physiques comme la salinité peut être effectué à l'aide de dispositifs autonomes comme des capteurs de salinité ou des réfractomètres déployés dans les AMP. Les avancées réalisées aujourd'hui dans le domaine des capteurs de pH remédieront aux faiblesses des systèmes actuels et per-

mettront leur utilisation sur le terrain grâce à des systèmes de lecture automatique ne nécessitant aucune maintenance régulière et aucun étalonnage.

Concernant les autres variables biochimiques, des échantillons d'eau devraient être prélevés en même temps que les échantillons *in situ* servant au suivi des espèces marines et d'autres paramètres. Les mesures sont à effectuer régulièrement sur différents sites d'échantillonnage à l'intérieur de l'AMP, conformément aux protocoles établis ou en établissant de nouveaux protocoles en l'absence de protocoles déjà en place (voir *Indicateurs relatifs à la qualité de l'eau pour les AMP méditerranéennes*, Tempesta et Otero, 2013).

La transparence de l'eau peut être facilement contrôlée depuis les bateaux grâce à un disque de Secchi, et les matières organiques totales peuvent être mesurées en utilisant des pièges à sédiments benthiques. Les informations concernant la chlorophylle dans la colonne d'eau (soit par des mesures directes soit à partir de données satellites) et d'autres paramètres nécessitent des procédures en laboratoire plus complexes et/ou les services d'un expert et d'un laboratoire spécialisé.

ÉTUDE DE CAS D'AMP 2

Suivi sur les sites « sentinelles » : augmentation de la température de l'eau de mer et populations de gorgones

Les phénomènes de mortalité à grande échelle observés chez les gorgones en 1999 ont mis en lumière le besoin d'une stratégie pour l'acquisition de données thermiques (toutes les heures) à haute résolution, grâce à des enregistreurs de données autonomes, de manière à fournir des observations indirectes du réchauffement des eaux côtières. Actuellement, ces séries de données thermiques à haute résolution sont recueillies par différentes équipes sur 21 sites dans le nord-ouest de la Méditerranée. La plupart de ces sites sont des AMP et certains de leurs gestionnaires participent activement à la collecte de données thermiques (à savoir, la Réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls, le site du Cap d'Agde, le Parc marin de la Côte Bleue, le Parc national de Port-Cros et la Réserve naturelle de Scandola). Grâce à des sessions de formation et au contact avec les scientifiques, les gestionnaires ont appris à installer des stations d'enregistrement de données, à étalonner les capteurs et à mettre en ligne les fichiers de données concernant leurs sites.

Ces séries de données ont été essentielles pour détecter et caractériser les anomalies thermiques positives concernant les phénomènes de mortalité à grande échelle, et pour fournir des informations précises sur les conditions thermiques des espèces au sein des AMP (Bensoussan *et al.*, 2010). De plus, des protocoles simples ont été créés pour évaluer l'état de conservation des populations de gorgones en quantifiant le pourcentage de colonies affectées (colonies présentant plus de 10% de nécroses) des profondeurs spécifiques ; ces protocoles peuvent être mis en place par les gestionnaires sur une base annuelle.

Ces applications peuvent intensifier considérablement les efforts de recherche actuels, pour fournir une vue d'ensemble plus large de l'état des populations de gorgones. De telles initiatives concertées de la part des scientifiques et des gestionnaires pour l'acquisition de séries de données sur les températures et les populations de gorgones, et pour le partage de leurs connaissances augmenteront leur capacité à détecter, comprendre et prévoir l'impact du changement climatique sur les écosystèmes côtiers méditerranéens.



Mise en place d'appareils automatiques de mesure de température.
Photo : J. Garrabou

2. Changements concernant les dates de reproduction et d'élevage des espèces clés

L'augmentation de la température de l'eau de mer affecte les processus physiologiques des organismes marins, et influence par conséquent les processus comme l'alimentation, la croissance, le comportement et la reproduction. La performance physiologique est l'élément principal déterminant la tolérance d'une espèce au changement et à la variabilité de l'environnement. Avec la modification du climat ou d'autres facteurs, les organismes réagissent initialement par des adaptations physiologiques et comportementales qui ont été modelées tout au long de l'histoire de leur évolution. De cette manière, ils peuvent potentiellement s'adapter ou s'acclimater aux nouvelles conditions. Toutefois, si les conditions sont intolérables une migration vers d'autres zones, des ajustements du cycle de vie ou une extinction locale peuvent se produire.

Aujourd'hui, de nombreux éléments témoignent de la modification, au cours des dix dernières années, du calendrier des événements saisonniers (comme l'élevage et la reproduction) chez de nombreuses espèces dans le monde entier, ceci en raison du changement climatique. L'augmentation des températures de l'eau de mer et l'acidification affectent les processus physiologiques des organismes marins, tendance qui va se poursuivre et qui conduira en fin de compte à des impacts sur la répartition géographique des espèces (Lejeune *et al.*, 2010 ; Ross *et al.*, 2011). De plus, la température affectant le développement reproductif de nombreuses espèces, les périodes de frai pourraient avoir lieu plus tôt que prévu en raison du réchauffement de l'eau de mer.

INDICATEUR

Changements concernant les dates de reproduction et d'élevage des espèces sélectionnées

Saison de nidification et succès d'éclosion

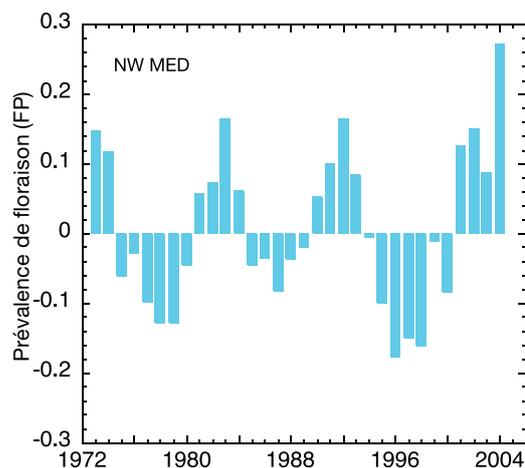
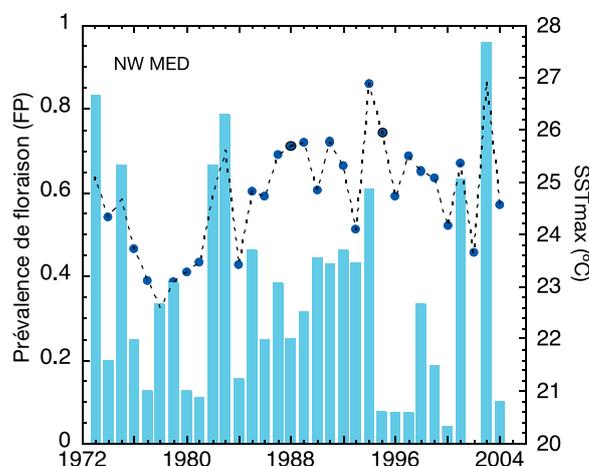
Chez les tortues marines, la détermination du sexe se fait en fonction de la température d'incubation. Une baisse des températures favorise la naissance de mâles tandis que les températures plus élevées conduisent à la naissance de femelles. Ceci signifie que les œufs pondus tôt dans la saison pourraient davantage conduire à la naissance de mâles que les œufs pondus plus tard. Concernant la reproduction des espèces de tortues marines *Caretta caretta* et *Chelonia mydas*, des phoques moines *Monachus monachus* et des oiseaux côtiers, en enregistrant les dates d'arrivée et de début de la saison de reproduction (nidification), ainsi que le succès d'éclosion et de nidification, il est possible d'analyser les tendances en matière de calendrier de ces événements et leurs effets potentiels.

PROPOSITION DE PROCÉDURE DE SUIVI

Les plages de nidification, les grottes côtières et d'autres sites doivent faire l'objet d'un suivi périodique, et les dates d'arrivée et de début de la saison de reproduction (nidification) doivent être enregistrées pour chaque espèce.



Tortue caouanne (*Caretta caretta*) dans le sud-ouest de la côte de Sardaigne, Italie. Photo : J. Cuetos, OCEANA



Évolution de la prévalence de floraison annuelle (barres, « FP » : floraisons enregistrées par rapport à la totalité des enregistrements) de 1973 à 2004 dans le nord-ouest de la Méditerranée. Graphique supérieur : la ligne en pointillé représente la moyenne annuelle de la température maximum à la surface de la mer (1°C) dans le nord-ouest de la Méditerranée pour la même période. (From Diaz-Almela *et al.*, 2007).

Phénomènes de floraison des herbiers de *Posidonia oceanica*

D'autres paramètres clés qu'il convient de suivre sont les cas de floraison et de production de semences chez l'espèce *Posidonia oceanica*. L'herbier *Posidonia oceanica* se reproduit de manière sexuée et végétative. La reproduction sexuée de cette espèce est considérée comme un phénomène rare et sporadique, bien qu'une floraison épisodique ait été observée en association avec des températures estivales extrêmes (Diaz-Almela *et al.*, 2007). La floraison des prairies sous-marines de *Posidonia* a généralement lieu en automne : de septembre à octobre dans les prairies peu profondes, et de novembre à décembre dans les prairies plus profondes. Les phénomènes de floraison de grande envergure semblent également survenir périodiquement, tous les 10–11 ans, en corrélation avec le cycle de l'activité solaire (Pergent *et al.*, 1989).

La *Posidonia oceanica* est hautement vulnérable au réchauffement, car l'augmentation des températures de l'eau de mer peut induire un déclin de l'abondance des pousses, affectant la stabilité générale des prairies sous-marines ainsi que l'équilibre entre le recrutement et la mortalité des pousses (Marbá et Duarte, 2010). De même, l'induction de phénomènes de floraison pourrait être un mécanisme de réaction de la plante face à la contrainte thermique, et la prévalence ainsi que l'intensité de ce phénomène pourraient croître avec l'amplitude de l'anomalie thermique.

Des études récentes semblent indiquer que l'intensité de cette floraison est corrélée à une augmentation de la mortalité des pousses et à une croissance nette négative des herbiers de *Posidonia* (Diaz-Almela données non publiées). Le suivi des phénomènes de floraison et de fructification de l'espèce *Posidonia* dans les aires protégées ainsi que le suivi des variations nettes de la densité des pousses pourraient jouer un

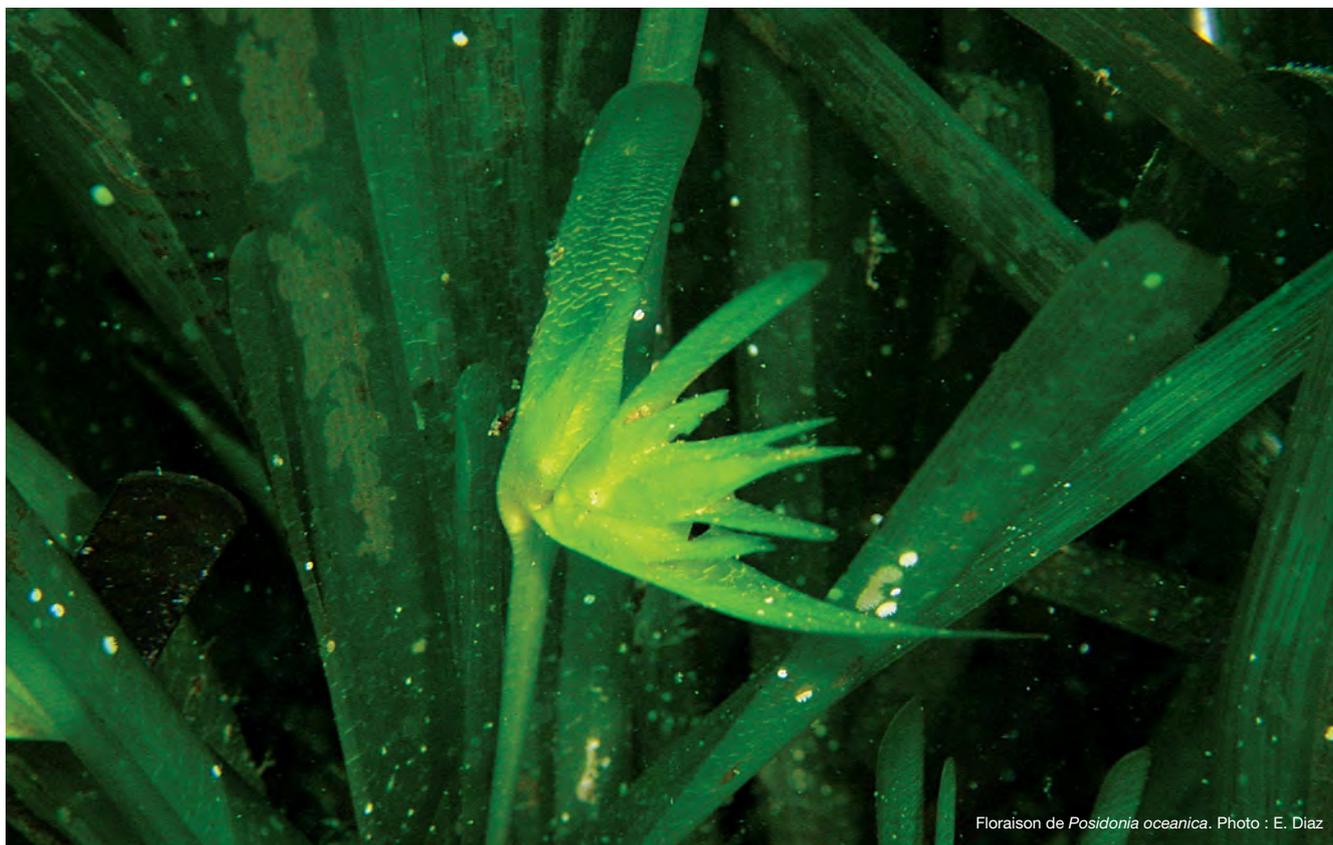
rôle clé pour comprendre les tendances potentielles du développement futur des herbiers de *Posidonia* et déterminer les mesures de conservation supplémentaires à mettre en place.

PROPOSITION DE PROCÉDURE DE SUIVI

La présence/l'absence de structures reproductives (bourgeons, inflorescences et pédoncules d'inflorescence), la densité des pousses et l'intensité de la floraison (par mètre carré et par pousse) devraient être mesurées chaque année (en octobre-novembre) le long de transects à une profondeur donnée, dans un ou plusieurs herbiers d'une même AMP. Lorsque cela est possible, l'intensité des pousses et de la floraison devrait être mesurée à différentes profondeurs dans les vastes herbiers, de la limite la moins profonde à la limite la plus profonde.

La mortalité et la densité des pousses sont des variables qu'il est particulièrement important de mesurer car elles fournissent une indication de la croissance nette de la population de l'herbier. Les variations nettes relatives à la densité des pousses peuvent être mesurées au sein de parcelles permanentes établies dans l'herbier, et les pousses se trouvant dans ces parcelles permanentes peuvent être identifiées par des ligatures pour câbles. Cette procédure peut permettre de connaître le recrutement et la mortalité des pousses, en plus des variations nettes de la densité des pousses.

Elle est particulièrement utile pour suivre les variations de la mortalité et/ou de la densité des pousses car elle peut fournir une indication directe des effets du changement climatique pour la santé de cet habitat clé. L'intensité et la prévalence de la floraison sont des variables pouvant être ajoutées facilement à un programme de suivi existant, surtout s'il est effectué tous les ans entre septembre et décembre. Les capteurs thermiques se trouvant dans les mêmes emplacements peuvent fournir des données supplémentaires pour une corrélation éventuelle avec les observations relatives aux herbiers.



Floraison de *Posidonia oceanica*. Photo : E. Diaz

3. Phénomènes épisodiques

Depuis la moitié des années 1970, des phénomènes épisodiques de grande envergure, comme les épidémies, la mortalité à grande échelle et les proliférations de populations biologiques, sont survenus dans les environnements marins avec une fréquence, une intensité, une diversité et une envergure accrues (Harvel *et al.*, 1999 ; Hayes, 2001). Il existe des éléments attestant que les anomalies climatiques sont une cause sous-jacente (directe ou indirecte) d'un grand nombre de ces événements (Harvel *et al.*, 1999, 2002). Les phénomènes météorologiques épisodiques, comme les tempêtes, modifient les débits d'eau douce et le transfert de nutriments vers les eaux côtières, et ils affectent aussi la salinité des écosystèmes côtiers. Les anomalies thermiques, même de courte durée, peuvent aussi déclencher des explosions de population chez certaines espèces comme les méduses, la prolifération toxique du phytoplancton, la prolifération des algues benthiques nuisibles, la prolifération de substances mucilagineuses et de pathogènes, engendrant une mortalité à grande échelle chez les organismes marins et/ou nuisant gravement au tourisme et aux industries côtières.

INDICATEUR

Prolifération d'espèces

Prolifération des méduses

Le changement climatique peut contribuer à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des proliférations de méduses dans le monde entier. Les méduses sont des organismes opportunistes, réagissant rapidement aux changements environ-

nementaux par une alimentation, une croissance et une reproduction accrues dans des conditions optimales (Richardson *et al.*, 2009 ; Boero, 2013). Au-delà des variations saisonnières, certaines proliférations sporadiques peuvent aussi être associées à la hausse des températures. La forte abondance des espèces gélatineuses en mer Méditerranée a été associée à des variations concernant la masse d'eau, à une salinité élevée et à des températures chaudes. Les changements concernant le débit des rivières en raison des barrages et d'autres constructions peuvent modifier la salinité des eaux côtières, attirant les méduses vers les zones côtières. De plus, le relâchement de la pression de prédation exercée sur les méduses, suite à la diminution des populations des principaux prédateurs en raison de la pêche, risque aussi de jouer un rôle important dans l'augmentation de la fréquence des proliférations de méduses.

Les proliférations dans la Méditerranée concernent généralement les méduses *Pelagia noctiluca*, *Cotylorhiza tuberculata*, *Rhizostoma pulmo*, *Rhopilema nomadica* (une espèce non autochtone) et la méduse commune *Aurelia aurita*, ainsi que les espèces de cténophores comme la *Mnemiopsis leidyi* et le *Beroe ovata*.

PROPOSITION DE PROCÉDURE DE SUIVI

Afin de surveiller ces types de phénomènes épisodiques, plusieurs approches de suivi incluant la participation du public ont été mises en place dans certains pays et au niveau méditerranéen. C'est par exemple le cas du programme JellyWatch, mené par la CIESM⁹ et créé pour réunir des données temporelles de base la fréquence, l'envergure et la persistance des proliférations de méduses dans l'ensemble de la mer Méditerranée.

3. <http://www.ciesm.org/marine/programs/jellywatch.htm>



Les phénomènes de prolifération de méduses, telles que ces *Pelagia noctiluca*, sont de plus en plus fréquents en Méditerranée.

Photo : C. Suárez, OCEANA

Les eaux marines chaudes menacent le corail méditerranéen autochtone



Réserve marine des îles Columbretes (Espagne). Photo : J. M. Dalmau

L'espèce *Cladocora caespitosa* est le seul corail colonial originaire de la Méditerranée vivant en symbiose permanente avec les algues microscopiques présentes au sein du corail vivant. Ses colonies peuvent se réunir pour former des structures semblables à des récifs pouvant atteindre plusieurs mètres de diamètre et mesurer plus d'un mètre de hauteur, abritant une riche communauté faunique au sein de ses ramifications.

Les grands bancs de coraux vivants sont rares mais peuvent être observés dans des sites comme la Réserve marine des îles Columbretes (Espagne) ou le Parc national de Mljet (Croatie), et les bancs de plus petite taille sont présents dans les AMP du Cap de Creus et des Îles Medes (Espagne), le Parc national de Port-Cros (France), l'AMP de Miramare (Italie), le Parc national de Brijuni (Croatie) et la Réserve naturelle de Strunjan (Slovénie).

Au cours des 10 dernières années, le réchauffement de l'eau de mer a conduit à des phénomènes récurrents de mortalité à grande échelle chez le corail *C. caespitosa*. Ces phénomènes sont de plus en plus fréquents et de plus en plus répandus, nuisant gravement à ce corail dans de nombreux sites méditerranéens, y compris les îles Columbretes, Strunjan et le golfe de Trieste (Kersting et Linares, 2009 ; Climaparks News, 2012). Une hausse de la température de la mer d'un degré ou plus, par rapport à la moyenne, sur des durées prolongées, ou bien une hausse de la température maximum peut provoquer des nécroses (mort des tissus) chez le corail. En outre, la propagation des espèces d'algues envahissantes, comme la *Caulerpa racemosa* et la *Lophocladia lallemandii*, menace ce corail à Mljet (Croatie), dans les îles Columbretes et sur d'autres sites (Kružić et Benkovic, 2008 ; Kersting et Linares, 2012). Depuis 2003, jusqu'à 50% des colonies de *Cladocora* dans les îles Columbretes sont mortes lors d'événements répétés, en réaction à des températures de l'eau plus élevées en été (Kersting, comm. pers.). Des phénomènes comparables ont été récemment observés dans la Réserve naturelle de Strunjan ainsi que dans d'autres sites comme le golfe de Trieste (Kersting et Templado, 2006 ; Climaparks news, 2012).

Le pourcentage de la couverture corallienne affectée par des nécroses et l'apparition de maladies pourraient être de bons indicateurs du changement climatique méditerranéen et être utilisés pour suivre la résilience des populations de corail.



Nécrose chez *Cladocora caespitosa* dans la réserve marine des îles Columbretes. Photo : D. Kersting

INDICATEUR

Phénomènes de mortalité à grande échelle

Au cours de ces dernières années, les habitats côtiers rocheux ont été gravement frappés par plusieurs phénomènes de mortalité à grande échelle. Les phénomènes les plus graves ont affecté des zones de grande taille (plus de 1 000 km de littoral) et les populations d'une quarantaine d'espèces macrobenthiques appartenant à plusieurs phylums différents (éponges, cnidaires, bryozoaires, mollusques et ascidies) dans le nord-ouest de la Méditerranée. Des événements similaires ont été constatés dans d'autres zones de la Méditerranée. Les espèces créatrices d'habitats, telles que les gorgones et les éponges, ont subi les pires effets de ces phénomènes, jusqu'à des profondeurs de 45 m.

En général, ces phénomènes ont été associés à une hausse anormale des températures de l'eau de mer à la fin de l'été et au début de l'automne. Dans ces conditions, les organismes ont été soumis à de multiples facteurs stressants, comme les contraintes énergétiques et la pression physiologique, atteignant les limites de tolérance thermique et développant des pathogènes thermodépendants, conduisant aux phénomènes de mortalité observés.

PROPOSITION DE PROCÉDURE DE SUIVI

Afin de suivre les effets de la mortalité à grande échelle au sein des AMP, des relevés sous-marins effectués par des équipes de plongée techniques, des membres du personnel des AMP ou les centres de plongée récréative, devraient être réalisés à la fin de l'été ou au début de l'automne. Ces relevés devraient porter sur plusieurs sites et sur les habitats les plus représentatifs dans chaque AMP. Les espèces affectées lors des phénomènes de mortalité à grande échelle peuvent être utilisées en tant que liste prioritaire des espèces visées par ces relevés (Voir les Études de cas des AMP 2 et 3). Des relevés annuels, effectués même pendant les années sans signes apparents de mortalité, sont importants pour constituer de solides données de base permettant d'évaluer les impacts ultérieurs. Deux types de relevés peuvent être effectués :

- Les relevés qualitatifs rendent compte des espèces présentant des signes manifestes de nécrose récente, comme les squelettes dénudés des gorgones, des éponges et des coraux scléactiniaires.
- Les relevés quantitatifs rendent compte du niveau d'impact sur les populations de certaines espèces. En réalisant ces relevés, l'objectif est d'observer l'état des spécimens (c.-à-d. de déterminer s'ils sont sains ou s'ils présentent des signes de mortalité partielle ou totale) le long de transects aléatoires ou à l'intérieur de quadrats aléatoires, en fonction de l'abondance des espèces ciblées. Afin d'obtenir une valeur d'impact représentative, les relevés doivent inclure des observations sur un nombre important de spécimens (150–300) pour chaque espèce de chaque site. À partir de ces relevés, le pourcentage de spécimens affectés dans chaque population peut être utilisé en tant qu'indicateur principal.

ÉTUDE DE CAS D'AMP 4

Les espèces exotiques envahissantes florissantes

De nouvelles invasions marines, de plus en plus nombreuses, ont été signalées dans l'ensemble de la Méditerranée, y compris dans de nombreuses AMP (Otero *et al.*, 2013). La hausse des températures et les fluctuations du climat, ainsi que l'aptitude d'un grand nombre de ces espèces à tolérer une amplitude thermique plus grande que les espèces autochtones, sont en partie responsables du succès et de la rapidité de leur propagation (CIESM, 2008).

Malheureusement, il n'existe pas, pour l'instant, beaucoup de mesures efficaces pour lutter contre les invasions marines, ce qui souligne l'importance de la détection précoce, de la mise en place d'actions de réponse rapides, et du suivi périodique des sites, en particulier des habitats vulnérables.



Photo : B. Weitzmann

L'algue rouge invasive *Asparagopsis armata*, probablement introduite en Méditerranée dans le cadre d'activités d'aquacoles, est dispersée par les courants, en se fixant sur des objets flottants.

Dans le Parc naturel du Montgrí, des îles Medes et du Baix Ter (côte catalane, Espagne), des relevés destinés à la détection précoce et au suivi des espèces envahissantes sont réalisés tous les deux ans avec le soutien de chercheurs de l'institut CEAB-CSIC. Le suivi est effectué par des plongeurs dans plusieurs stations le long de la côte et autour des îles, des caps exposés, et des rochers en haute mer, en allant de la surface à une profondeur maximum correspondant au niveau sédimentaire. Les communautés et les espèces présentes sont identifiées et leur abondance relative est estimée. Le programme de suivi permet aussi de contrôler l'abondance des espèces exotiques comme les algues *Asparagopsis armata*, *Womersleyella setacea* et *Dictyota cyanoloma*, le corail *Oculina patagonica* et l'éponge calcaire *Paraleucilla magna*.

Un suivi périodique et standard de ces espèces sert aussi de fondement pour l'évaluation des effets conjugués du changement climatique et des invasions, et de toute activité de gestion réalisable dans l'environnement de l'AMP.

4. Modification de la répartition des espèces

Des modifications importantes et rapides concernant les aires de répartition des poissons, des crabes et d'autres invertébrés exotiques ont été enregistrées en Méditerranée au cours des dernières décennies (CIESM, 2008). Les espèces autochtones se déplacent également vers le nord et/ou à de plus grandes profondeurs, en réaction au réchauffement des eaux. En outre, la Méditerranée est menacée par les espèces exotiques introduites. Parmi ces espèces, certaines préfèrent les eaux chaudes, donc la hausse des températures pourrait favoriser leur propagation (voir Étude de cas d'AMP 4). Globalement, les changements concernant la répartition des espèces autochtones et exotiques pourraient modifier les interactions entre les espèces (concurrence, prédation, etc.) et finir par entraîner la disparition d'espèces (y compris des espèces protégées) et des modifications chez les communautés locales.

Ces changements de répartition peuvent donc générer un certain nombre de nouvelles difficultés pour les gestionnaires des AMP, comme l'arrivée d'espèces exotiques envahissantes, la disparition d'espèces protégées ou des modifications importantes chez les communautés écologiques marines.

Les données à long terme peuvent signaler l'arrivée de toute espèce exotique et préférant les eaux chaudes, ou tout changement concernant la répartition ou l'abondance des espèces préférant les eaux froides au sein des AMP.

INDICATEUR

Changement concernant les aires de répartition, la distribution et l'abondance des espèces sensibles à la température

La présence et l'abondance des espèces sensibles au climat devraient faire l'objet d'un suivi dans chaque AMP sur le long terme afin de détecter toute modification de leurs aires de répartition. Ces résultats devraient être comparés à ceux des autres AMP et par rapport à un réseau de sites. Ces données de suivi constitueront la base de référence de l'AMP pour une consultation ultérieure (voir Étude de cas d'AMP 5).

PROPOSITION DE PROCÉDURE DE SUIVI

L'objectif des relevés est de suivre la présence et la distribution des espèces clés révélatrices du réchauffement climatique dans l'ensemble de la Méditerranée ou dans une région plus petite. La méthodologie adoptée par le Programme « Tropical Signals » de la CIESM utilise trois types de protocoles, convenant à la zone intertidale, aux eaux peu profondes (0–3 m) et à la zone allant du fond marin jusqu'à une profondeur de 30 m, zones faisant l'objet de relevés à l'aide de techniques adaptées (plongée sous-marine et « snorkeling » (plongée avec masque et tuba)). Les méthodes reposent sur des recherches visuelles, effectuées de manière répétitive pendant une durée déterminée et couvrant une étendue spécifique du littoral ou du fond marin, lors desquelles un observateur enregistre la

Le poisson perroquet *Sparisoma cretense*, plus commun le long des côtes orientales et méridionales de Méditerranée, migre progressivement vers la côte nord du bassin.

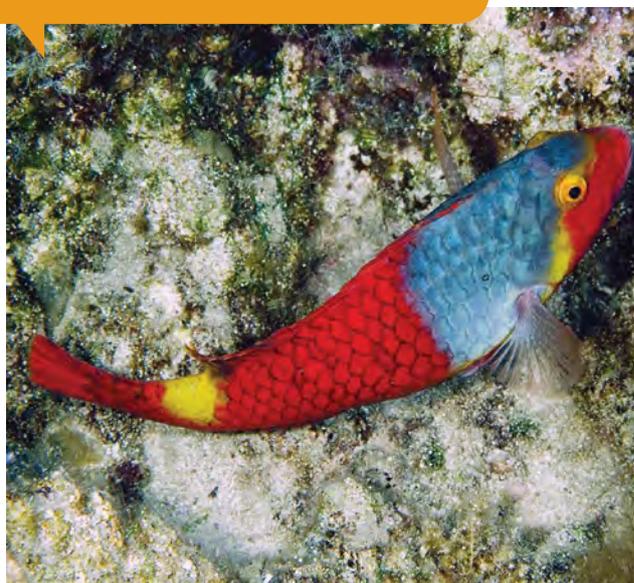


Photo: A. Can - www.alpcan.com

présence ou l'absence d'espèces et effectue une évaluation semi-quantitative de leur abondance en utilisant des catégories préétablies : abondante, courante, fréquente, occasionnelle et rare (échelle « ACFOR »).

Les protocoles ont pour objectif d'enregistrer les données suivantes :

1. Extension de l'aire de répartition des espèces autochtones préférant les eaux chaudes ;
2. Réduction de l'aire de répartition, déplacement vers les profondeurs et/ou déclin des espèces autochtones préférant les eaux froides ;
3. Nouvelles introductions et extension de l'aire de répartition des espèces exotiques tropicales.

Un guide dédié aux protocoles de suivi et d'identification des espèces envahissantes marines d'origine tropicale figure également dans la récente publication intitulée *Surveillance des espèces envahissantes marines dans les aires marines protégées (AMP) méditerranéennes : guide pratique et stratégique à l'attention des gestionnaires* (Otero et al., 2013).

En plus des méthodes utilisées pour le suivi et l'identification des espèces envahissantes, une autre technique qui pourrait être utile pour surveiller les changements particuliers affectant la biodiversité des communautés benthiques selon un gradient de profondeur, est l'utilisation de points photographiques au sol (voir Étude de cas d'AMP 6). Cette méthode peut produire rapidement et à moindre coût des évaluations portant sur les tendances de la biodiversité des communautés benthiques dans le temps, et indiquer si le changement climatique provoque ou non des modifications importantes en termes de répartition des espèces.

Modification de la répartition spatiale des espèces marines

Dans l'ensemble de la mer Méditerranée, les espèces se déplacent en réaction au changement climatique. Les espèces subtropicales sont habituellement présentes surtout dans le sud-est, où la température de l'eau est plus élevée que la moyenne, tandis que les espèces adaptées au froid occupent généralement les régions situées au nord. Les températures plus élevées entraînent un déplacement de la répartition géographique de nombreuses espèces, souvent vers le nord ou à de plus grandes profondeurs.

Dans les zones comme le golfe du Lion et dans le nord de la mer Adriatique, c'est-à-dire les zones les plus froides de la côte méditerranéenne, ces modifications peuvent rendre les espèces plus vulnérables aux variations climatiques. Certaines espèces ne pourront peut-être pas s'adapter à cette modification des conditions, ce qui pourrait se traduire par un déclin de la population de ces espèces. La conjugaison de ces effets potentiels avec l'arrivée d'espèces envahissantes, les changements au sein des communautés naturelles ou la disparition potentielle d'espèces endémiques ou particulièrement en danger, pose de nouvelles difficultés pour les gestionnaires des AMP.

Par exemple, dans l'AMP de Miramare (mer Adriatique, Italie), les données de suivi à long terme ont révélé des régressions importantes de la zone couverte par l'algue brune endémique adriatique *Fucus virsoides* et l'apparition d'autres espèces comme l'herbier *Cymodocea nodosa* et les algues brunes *Cystoseira* spp. De nouvelles espèces de poissons préférant les eaux chaudes, comme la girelle commune méditerranéenne *Coris julis*, les barracudas *Sphyraena* spp., et le poisson-lapin à queue tronquée *Siganus luridus*, ont aussi été récemment observées pour la première fois dans la région (Piron *et al.*, 2007 ; Poloniato *et al.*, 2010).

Afin d'identifier les changements et les modifications de l'aire de répartition des espèces marines, de nombreuses AMP méditerranéennes participent à l'enquête menée à grande échelle au niveau méditerranéen par des scientifiques de la CIESM et leurs collaborateurs, dans le cadre du programme « Tropical Signals » de la CIESM. Les résultats de ce suivi devraient pouvoir améliorer notre compréhension de la manière dont les modifications relatives à la répartition des espèces affectent l'équilibre des communautés autochtones ; ils permettront aussi d'identifier les nouvelles opportunités qui pourront éventuellement être créées.

Principales voies d'expansion de l'aire de répartition des espèces [autochtones méditerranéennes (en orange), migrantes atlantiques (en vert), et migrantes issues de la mer Rouge (en rouge)] et AMP participant au Programme « Tropical Signals »



5. Changements migratoires

Des études régionales sur les effets du changement climatique témoignent du fait que certaines espèces migrantes sont en train de modifier le moment de leur départ lors de la migration, les voies migratoires qu'elles empruntent, ou le moment de leur arrivée sur leurs sites de reproduction ou d'hivernage (UNEP-CMS, 2006). Les écarts entre les nouvelles dates d'arrivée ou de reproduction et la disponibilité des ressources alimentaires pourraient avoir des conséquences importantes pour la productivité et l'abondance de ces populations ou de leurs proies.

Les données à long terme peuvent mettre en lumière les tendances des dates d'arrivée au printemps ou en automne de ces espèces migratoires dans les AMP.

INDICATEUR

Enregistrement des dates d'arrivée des espèces migratoires

L'analyse des données à long terme peut faire émerger des variations calendaires chez les espèces sélectionnées. Certaines grandes espèces migratoires de poissons réagissent déjà au réchauffement (Bombace, 2001). Un exemple bien documenté illustrant cela est la date de retour du thon rouge *Thunnus thynnus* et de la sériole *Seriola dumerilii* dans leurs territoires d'hivernage dans le nord et le centre de la Méditerranée, qui a été retardée de l'automne au milieu de l'hiver (Bombace, 2001). De plus, les conditions de frai sont étroitement liées à la température de l'eau.

Les changements migratoires pourraient à leur tour affecter la productivité de ces populations et les moyens de subsistance des communautés de pêcheurs qui en dépendent.

Dans le cas de la plupart des mammifères marins, leur répartition, leur abondance et leur migration sont fortement influencées par la disponibilité des proies. Selon les observations, dans certaines régions, l'habitat du grand dauphin *Tursiops truncatus* s'est déplacé des zones côtières vers la haute mer, lorsque des températures anormales ont été enregistrées



Illustrations : J. da Cuña Sanchez

en 2003. Des observations similaires pourraient fournir un aperçu des changements relatifs à leur cheminement migratoire. Les variations océaniques associées au changement climatique (anomalies thermiques, stratification thermique plus importante ou différences dans la charge en nutriments, par exemple) peuvent affecter l'abondance et la répartition des espèces de proies, entraînant une inadéquation pouvant conduire les cétacés à choisir de nouvelles stratégies alimentaires et des habitats différents afin de s'adapter aux nouvelles conditions.

PROPOSITION DE PROCÉDURE DE SUIVI

Les gestionnaires des AMP pourraient choisir un certain nombre d'espèces migrantes, couramment présentes dans leur aire, et enregistrer leur date d'arrivée au printemps ou en automne. Le petit rorqual *Balaenoptera physalus*, le dauphin bleu et blanc *Stenella coeruleoalba* et le grand dauphin *Tursiops truncatus* sont des espèces qui pourraient convenir à cette procédure. Une autre possibilité serait d'organiser des campagnes spécifiques tous les ans pour les espèces sélectionnées et estimer leur abondance.

Les pêcheurs locaux et les autres groupes de parties prenantes pourraient aussi fournir des informations précieuses sur les tendances des poissons migratoires d'importance commerciale (comme les espèces *Sphyraena viridensis*, *Caranx crysos*, *Sparisoma cretense*, *Coryphaena hippurus*, *Seriola dumerilii* et *Balistes capricus*), en particulier pour estimer leur abondance (par exemple en comptant les poissons pêchés) et le calendrier de la disponibilité des poissons au sein ou à proximité des AMP.



Thunnus thynnus. Photo : K. Ellenbogen, OCEANA

Développement de la sensibilisation du public et de sa participation aux efforts de suivi

Les points photographiques des fonds marins sont une technique peu coûteuse et très efficace pour surveiller les changements au sein des communautés benthiques marines ; avec cette technique, des photographies sont prises à partir de points fixes à des intervalles donnés, pendant une certaine durée. Elle est utilisée, par exemple, dans le Parc naturel du détroit de Gibraltar (Andalousie, Espagne), pour lequel un programme de suivi photographique a été mis en place dans les habitats rocheux avec l'aide de clubs de plongée locaux, de passionnés de nature et de chercheurs universitaires.

Ce suivi comprend des points photographiques sur 10–15 sites en dessous de la bande de profondeur de 20 mètres, où les impacts côtiers sont plus atténués. À cet endroit, les marqueurs permettent aux plongeurs d'identifier facilement les sites, à partir desquels ils enregistrent leurs observations à différents moments de l'année. La composition et l'abondance des communautés benthiques dans les différents quadrats sont surveillées pour identifier les modifications de l'aire de répartition et l'établissement de nouvelles espèces. Une attention particulière est portée aux espèces indicatrices de la température, comme le corail orange *Astroïdes calycularis* et la gorgone pourpre *Paramuricea clavata*, en examinant la surface du corail sur la durée.

Une série temporelle de photographies numérisées portant sur plusieurs années, obtenues avec l'aide de chercheurs du Laboratoire de biologie marine de l'Université de Séville, devrait fournir à l'équipe de gestion de l'aire protégée un outil utile pour évaluer les changements au sein de la communauté benthique en raison du changement climatique. De plus, cette méthodologie permet d'évaluer la manière dont les populations réagissent face au changement climatique en l'absence de certaines pressions côtières, et elle donne également l'occasion de faire participer les communautés locales au suivi continu de l'environnement marin.

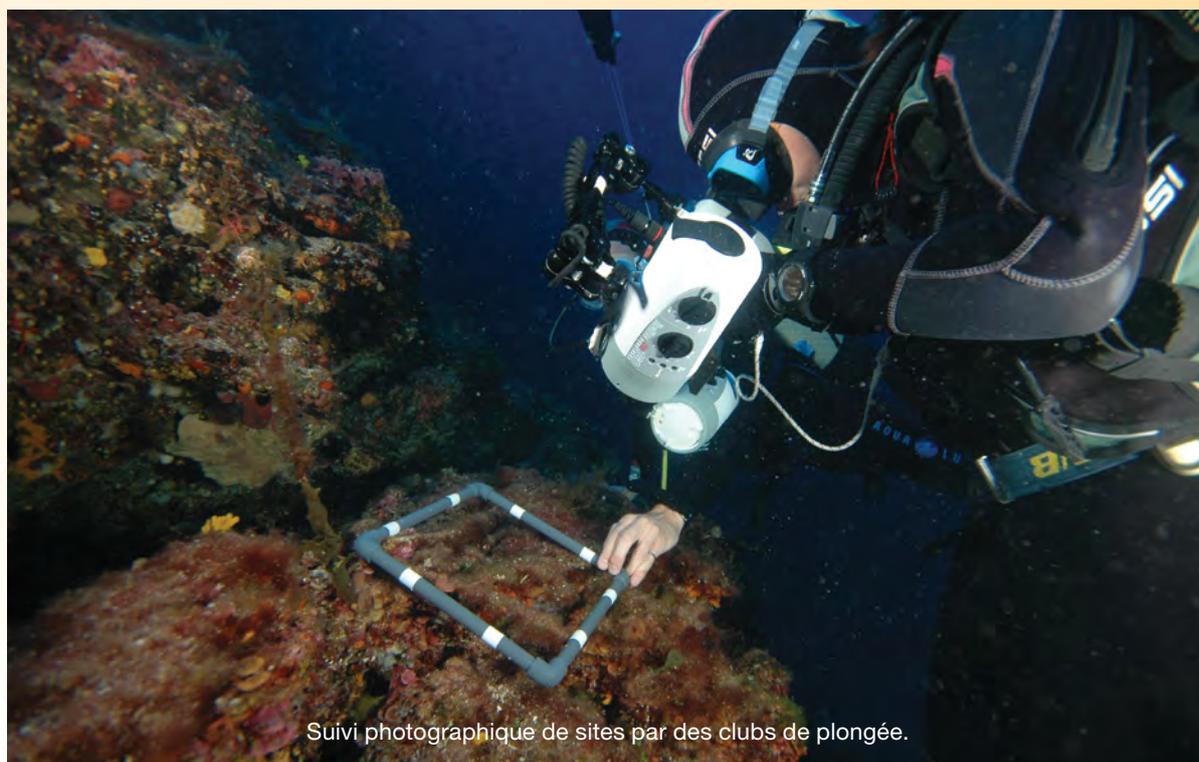


Photo : J. Garrabou

Intégration du changement climatique dans le suivi des AMP

Les indicateurs et les procédures de suivi décrits plus haut devraient aider à déterminer la nature des changements au sein des AMP ainsi que les actions individuelles pouvant être mises en place, le cas échéant, pour faire face à ces changements. Des relevés réguliers et des programmes de suivi spécifiques peuvent aider à identifier les vulnérabilités de l'écosystème et suggérer les adaptations possibles pour donner aux AMP le maximum de chances pour s'adapter et se rétablir suite aux menaces à venir.

Pour les AMP individuelles, les premières étapes de la mise en place d'un programme de suivi intégrant des objectifs relatifs au changement climatique devraient consister à analyser les méthodes de suivi existantes et d'adopter des objectifs de suivi à différentes échelles, et ensuite à créer une stratégie d'échantillonnage reposant sur les éléments clés identifiés pour les sites particuliers. Réaliser ce suivi en utilisant des dispositifs automatiques comme les enregistreurs de données thermiques ou les capteurs de salinité peut générer une quantité considérable d'informations sur les conditions environnementales à moindre coût. Ceci peut être accompagné d'un suivi sur le terrain, dans des sites spécifiques, pour étudier les caractéristiques clés des espèces et communautés marines, ceci afin de déterminer les effets particuliers du changement climatique. Au fur et à mesure que les informations sont générées par les programmes régionaux de suivi du changement climatique et par les AMP, il peut être nécessaire de se focaliser davantage sur des questions spécifiques ou bien d'ajouter des habitats ou des sites particulièrement vulnérables afin de faciliter la planification adaptative.

Du point de vue de l'efficacité de la gestion, les plans de gestion devraient non seulement évaluer s'il existe des éléments témoignant de l'impact du changement climatique mais aussi mesurer les améliorations en matière de gestion, résultant de

l'atténuation de cet impact et de ses conséquences potentielles. Les activités de sensibilisation peuvent faciliter encore davantage l'établissement d'une compréhension communautaire des questions en jeu et développer des partenariats efficaces pour de futures actions. Les fonds pour un programme de suivi peuvent ne pas être disponibles, mais les gestionnaires des AMP ou les administrations devraient chercher activement à créer des partenariats avec d'autres organisations participant à des programmes similaires, afin de trouver le financement requis.

Un réseau d'AMP efficace nécessitera des programmes coordonnés, intégrés et traitant d'un ensemble d'éléments clés, et le suivi correspondant s'améliorera grâce à la collaboration internationale et/ou l'intégration à des réseaux de surveillance existants.

La création d'outils en ligne (plateformes Web) collaboratifs, dédiés à la gestion et à l'analyse des données générées par les programmes de suivi du changement climatique au sein des AMP, devrait être considérée comme une étape essentielle pour suivre les effets du changement climatique en Méditerranée. L'adoption de protocoles de suivi standard, communs à tout le réseau des AMP, faciliterait la création de ces plateformes Web. Les résultats du suivi du changement climatique et les impacts signalés pourraient être mis en ligne et présentés sur ces plateformes, constituant une base de référence pour la création de bases de données communes qui permettrait la visualisation des situations locales et leur présentation au niveau régional.

Les marais côtiers et les herbiers, en particulier la *Posidonia oceanica*, sont des habitats importants pour piéger et stocker le carbone (Pergent *et al.*, 2012, voir page 21). Actuellement, les émissions de carbone issues de la transformation des écosystèmes côtiers végétaux ne sont pas incluses dans le calcul des émissions ni les protocoles relatifs au marché du carbone, mais il est fort probable qu'elles le seront à l'avenir, fournissant une autre source potentielle de financement pour la conservation de ces habitats dans les AMP. Il serait utile de mettre en place une étude ou un programme examinant la contribution spécifique de ces habitats et surveillant le flux de carbone en leur sein, afin de faciliter l'évaluation de leur importance pour atténuer le changement climatique.

Nécrose des tissus chez l'éponge de Méditerranée *Crambe crambe*.



Photo : J. Garrabou

Opportunités d'adaptation climatique : vers une future stratégie commune pour les AMP

Selon les prévisions, le réchauffement climatique devrait durer pendant plusieurs siècles, même si les émissions de gaz à effet de serre baissent considérablement, rendant inévitables certains changements et une plus grande dégradation de l'écosystème marin. Afin de réduire la gravité et le coût des impacts du changement climatique, il est donc fondamental d'adopter une stratégie d'adaptation qui modérera la vulnérabilité au changement climatique. Même si les communautés marines s'adapteront naturellement, l'importance des environnements caractérisant les AMP signifie qu'il serait bénéfique voire, dans certains cas, essentiel d'influencer l'orientation des mesures d'adaptation sur certains sites afin de protéger la valeur de leur biodiversité.

Les stratégies et les mesures d'adaptation fournissent une approche complémentaire pour réduire la probabilité d'impacts négatifs. Au cours de ces dernières années, certaines AMP méditerranéennes individuelles ont commencé à recueillir des informations sur l'impact du changement climatique dans leurs zones, mais aucun effort important n'a encore été déployé pour mettre en place une stratégie régionale visant à accroître la capacité des AMP à s'adapter, à gérer et à suivre cet impact. Afin de faciliter la focalisation de cette future stratégie au niveau du réseau des AMP méditerranéennes, quelques domaines d'actions clés sont exposés ci-dessous.

1. Conservation et gestion des habitats des AMP soumis au changement climatique

Les gestionnaires des AMP ont plusieurs options pour atténuer les effets du changement climatique et pour s'adapter à ce changement (voir résumé par di Carlo et Otero, 2012 ; voir aussi Keller et al., 2009 ; NRC, 2010). Les options disponibles pour les zones terrestres sont notamment la préservation de la végétation le long des plages et de la côte, pour créer un ombrage naturel ; la réutilisation et le recyclage des déchets ; l'intégration des considérations relatives au changement climatique dans la planification de la maintenance et du remplacement des infrastructures ; et la réduction au minimum des modifications du littoral pour préserver les habitats naturels protégeant l'eau et les espèces et régulant le climat local.

L'identification et la cartographie des aires marines hautement prioritaires en matière de conservation (en particulier les aires connaissant actuellement un impact climatique rapide et les sites servant de refuge ou susceptibles d'être résilients face au changement climatique et/ou de soutenir un grand nombre d'espèces) aideront à dresser la liste des priorités pour les futurs efforts de conservation dans l'environnement marin des AMP.

De plus, les gestionnaires devraient évaluer la possibilité de limiter le déplacement des espèces exotiques envahissantes et de réduire les facteurs stressants non climatiques dans les habitats vulnérables. Limiter les engins de pêche et les prises d'espèces spécifiques fait partie des mesures adaptées. En particulier, il est très important de contrôler les espèces néfastes pour les espèces de poissons sensibles, et d'encourager les espèces jouant un rôle écologique majeur ou entrant en concurrence avec des espèces exotiques, car ces mesures peuvent faciliter l'adaptation aux perturbations tout en maintenant la résilience des habitats marins.

2. Optimisation de la capacité de gestion efficace

L'aptitude des gestionnaires à aider leurs aires protégées à s'adapter au changement climatique sera cruciale pour l'avenir des AMP méditerranéennes. L'intégration de l'adaptation dans la gestion des AMP nécessite une vue d'ensemble de la zone marine (et de toute zone terrestre adjacente) et cette intégration doit se faire dans tous les secteurs, y compris dans le domaine de la pêche commerciale et récréative, du tourisme, de la science, etc. Dans le cadre de partenariats avec des scientifiques, les communautés et d'autres parties prenantes côtières, les gestionnaires des AMP peuvent contribuer aux efforts déployés pour maintenir la capacité de l'environnement marin à faire face au changement climatique.

Les AMP ont besoin d'être évaluées pour déterminer leur niveau d'efficacité face au changement climatique, afin d'améliorer leur gestion (Tempesta et Otero, 2013). Ainsi, les activités de suivi jouent un rôle fondamental dans l'adaptation au changement climatique. Elles peuvent avertir les gestionnaires concernant les changements affectant l'environnement, et les impacts et conséquences qui en découlent pour les communautés marines.

3. Augmentation des connaissances et des informations sur les impacts en vue d'une gestion adaptative

Pour être efficace, la gestion adaptative des AMP nécessite une collaboration et un suivi à long terme avec les partenaires locaux et régionaux afin de mettre en œuvre ce programme. Certains des indicateurs décrits précédemment ainsi que les stratégies de suivi proposées devront être redéfinis et améliorés en fonction des futures connaissances scientifiques.

Les résultats des activités de suivi peuvent être utilisés pour identifier les communautés et habitats vulnérables clés et, au fur et à mesure que les informations sont recueillies, faciliter l'élaboration de stratégies de gestion efficaces. Dans le cadre de ces stratégies d'adaptation, le plus important sera notamment de créer des zones de non-prélèvement ; d'ajuster les zones tampons pour protéger les lieux de remontée d'eau et les habitats de reproduction fournissant une productivité marine élevée ; d'identifier et d'intégrer les sites résilients (ou refuges) dans les méthodes de gestion afin de faciliter le rétablissement des aires moins résilientes ; et de réduire les facteurs stressants et les impacts locaux dans les zones jugées à haut risque (vulnérables) selon les projections.

En développant la communication avec les scientifiques et en participant aux réunions et aux forums, les gestionnaires peuvent veiller à ce que les objectifs de recherche soient en phase avec les priorités et les besoins de leur AMP en matière de lutte contre le changement climatique. La participation des AMP aux programmes de recherche permettra peut-être d'intégrer ces objectifs aux opportunités de financement de la recherche et de faire redescendre l'information jusqu'aux gestionnaires.

4. Utilisation des outils d'aide à la décision pour la gestion adaptative et le dialogue

Des outils d'aide à la décision destinés aux gestionnaires des AMP, comme les évaluations des risques et de la vulnérabilité, les approches stratégiques pour la conservation des habitats et la planification des scénarios, peuvent être créés lors de projets pilotes pour une meilleure compréhension des possibilités d'adaptation et pour faciliter la prise de décisions dans des conditions incertaines. Les connaissances actuelles devraient être regroupées, le climat analysé et les données intégrées, afin de produire des informations utilisables qui pourront aider les gestionnaires à évaluer rapidement les impacts du changement climatique, faciliter l'adaptation des espèces individuelles, accroître la résilience des habitats et identifier les pressions pouvant entrer en conflit avec les besoins des écosystèmes.

Les modèles du changement climatique devenant de plus en plus précis grâce à l'acquisition d'informations locales et régionales, la modélisation de différents scénarios pourrait aider à décrire les diverses vulnérabilités du réseau des AMP. Ces résultats, conjugués aux connaissances sur les effets directs et indirects du changement climatique, aideront à déterminer l'ensemble des mesures d'atténuation éventuelles et les stratégies adaptatives pour les AMP.

Faire preuve de collaboration et de dialogue avec les groupes de recherche et d'autres organisations peut fournir des orientations pour les évaluations et le reporting, et encourager d'autres parties prenantes à s'impliquer dans la gestion efficace des AMP dans le contexte du changement climatique.

5. Développement de la sensibilisation et de l'information

Communiquer sur les atouts des AMP, leurs vulnérabilités et les changements attendus peut motiver les parties prenantes (le public et les gestionnaires des ressources naturelles) à prendre part aux efforts de planification et aux actions visant à atténuer les impacts. Les centres d'information des aires protégées devraient informer les visiteurs de la signification du changement climatique et de ses effets potentiels sur l'AMP.

De plus, le développement de la sensibilisation auprès des résidents locaux et des utilisateurs des AMP est d'une importance capitale, et faire participer ces personnes aux activités de suivi peut être un moyen efficace d'obtenir l'engagement des communautés et de les sensibiliser au changement climatique.

6. Mise en place d'un cadre de suivi méditerranéen intégrant la diversité des situations des AMP

La conception d'un programme de suivi adapté, prenant en considération les différents degrés de complexité des AMP méditerranéennes et tenant compte des efforts de suivi actuellement déployés dans la région à plusieurs niveaux, est une tâche compliquée qui nécessitera plusieurs phases de développement. Les AMP individuelles devraient utiliser les programmes de suivi existant localement et les indicateurs du changement climatique décrits plus haut, comme moyen relativement peu coûteux de commencer la collecte d'informations nécessaires à leur gestion adaptative. Les différents

instituts de recherche et agences gouvernementales participant aux activités de suivi dans chaque région particulière devraient travailler ensemble pour accroître l'efficacité du suivi des AMP.

Plusieurs « sites sentinelles » parmi les AMP, dans des régions méditerranéennes spécifiques, pourraient être mis en place pour surveiller de manière plus approfondie les impacts du changement climatique et les réactions qui en découlent. Ces sites sentinelles pourraient, par exemple, être choisis car ils se trouvent dans des lieux importants, participent à des projets menés en collaboration avec des instituts de recherche, font l'objet de données historiques, ou présentent une plus forte résilience ou une plus grande vulnérabilité aux impacts du changement climatique.

Au niveau du réseau des AMP, des discussions plus approfondies seront nécessaires sur la manière dont les informations devront être réunies et analysées. Les conclusions et les résultats devront être transmis aux AMP. Au niveau des AMP, la priorité sera d'examiner la manière dont ces informations devront être suivies ainsi que les actions à mener à l'échelle locale.

7. Partage d'expériences

Le dernier domaine d'actions clés consiste à rendre compte des progrès réalisés en termes de gestion adaptative face aux difficultés posées par le changement climatique, à partager les expériences en matière de gestion, et ainsi à améliorer notre compréhension des réactions et des effets du changement climatique au niveau local. Ces actions seront la clé du succès du réseau des AMP méditerranéennes en matière d'atténuation de l'impact du changement climatique.

Les résultats de ces efforts aideront à développer la sensibilisation, à mieux comprendre les impacts actuels et futurs, et à mettre en évidence des manières de travailler ensemble de façon plus stratégique, efficace et moins coûteuse.



AMP des îles Medes, Espagne. Photo : J. A. González Nieto

Pour conclure

Il subsiste un grand déficit de connaissances sur les futurs impacts du changement climatique, mais nous pouvons déjà observer les premières manifestations de ses effets sur les communautés marines de la Méditerranée.

Le changement climatique risque d'avoir de graves effets sur les habitats de la faune et de la flore des AMP mais l'impact sera variable en fonction des régions méditerranéennes et selon les AMP individuelles de chaque région.

Les AMP situées dans les zones les plus septentrionales de la Méditerranée pourraient avoir un rôle important à jouer dans la préservation des espèces autochtones et endémiques car l'aire de répartition de ces dernières se modifie avec le réchauffement des températures.

Les conditions hydrodynamiques locales ou d'autres facteurs pourraient aussi conduire à des vulnérabilités différentes pour les communautés marines se trouvant au sein de ces AMP.

Globalement, il est donc difficile de définir des approches adaptatives spécifiques pour l'ensemble du réseau des AMP.

Pour être efficace, la gestion devra donc se caractériser par une approche flexible, dans laquelle le renforcement des capacités et le suivi seront fondamentaux pour comprendre les changements qui se produisent et pour éclairer les approches en matière de conservation à adopter, et des ajustements seront nécessaires au fur et à mesure que de nouvelles informations deviendront disponibles.



Le mérrou brun *Epinephelus marginatus*. Photo : J. Garrabou

Lectures complémentaires

- Allen Consulting, 2005. 'Climate Change Risk and Vulnerability' ; Final report to the Australian Greenhouse Office by The Allen Consulting Group, March 2005, 159 pp.
- Azzurro, E., Moschella P., Maynou F., 2011. Tracking Signals of Change in Mediterranean Fish Diversity Based on Local Ecological Knowledge. PLoS ONE 6(9) : e24885. doi :10.1371/journal.pone.0024885.
- Azzurro, E., Soto S., Garofalo G., Maynou, F., 2012. *Fistularia commersonii* in the Mediterranean Sea : invasion history and distribution modeling based on presence-only records Biological Invasions, DOI 10.1007/s10530-012-0344-4.
- Ben Rais Lasram, F., Guilhaumon, F., Mouillot, D., 2010. Global warming and exotic fishes in the Mediterranean Sea : introduction dynamic, range expansion and spatial congruence with endemic species. In : Golani D, Appelbaum-Golani B (eds) Fish invasions of the Mediterranean Sea : change and renewal. Pensoft Publishers, Sofia-Moscow, pp 35–56.
- Bensoussan, N., Linares, C., Cebrian, E., Crisci, C., Kipson, S., Teixido, N., Romano, J.C., Bianchimani, O., Kersting DK., Lorente, A., Riera i Arago, V., Cadene, F., Lafon, J.F., Payrot, J., Bachet, F., Charbonnel, E., Zuberer, F., Pairaud, I., Sartoretto, S., Bergere, H., Houard, T., Dominici, J.M., Harmelin, J.G., Garrabou, J., 2011. T-MedNet : A temperature network for high resolution and long term monitoring of Mediterranean coastal waters stratification. Vulnerability of coastal ecosystems to global change and extreme events - At the crossroads of knowledge to the benefit of coastal and marine ecosystem services. 18-21 October 2011, Biarritz, France.
- Bindoff, N.L., J. Willebrand, V. Artale, A., Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley and A. Unnikrishnan, 2007. Observations : Oceanic Climate Change and Sea Level. In : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Bombace, G., 2001. Influence of climatic changes on stocks, fish species, and marine ecosystems in the Mediterranean Sea. Archives of Oceanography and Limnology 22, 67–72.
- Boero, F., 2013. Review of jellyfish blooms in the Mediterranean and Black Sea. Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean. No. 92. Rome, FAO 2013. 53 pp.
- Boudouresque C.F., 2004. Marine biodiversity in the Mediterranean : status of species, populations and communities. Sci. Rep. Port-Cros natl Park, 20 : 97-146.
- Calvo, E., Simó R., Coma R., Ribes M., Pascual J., Sabatés A., Gili J.M., Pelejero C., 2011. Effects of climate change on Mediterranean marine ecosystems : the case of the Catalan Sea. Climate Research 50 : 1–29.
- Cebrian, E., Uriz M.J., Garrabou J., Ballesteros E., 2011. Sponge Mass Mortalities in a Warming Mediterranean Sea : Are Cyanobacteria-Harboring Species Worse Off? PLoS ONE 6(6) : e20211. doi :10.1371/journal.pone.0020211.
- Cerrano, C., Bavestrello G., Bianchi C.N., Cattaneo-Vietti R., Bava S., Morganti C., Morri C., Picco P., Sara G., Schiaparelli S., Siccardi A., Sponga F., 2000. A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean), summer 1999. Ecol. Lett. 3 :284–293.
- Chemello, R. C. R. and S. Silenzi, 2011. Vermetid reefs in the Mediterranean Sea as archives of sea-level and surface temperature changes. Chem. Ecol. 27 : 121-127.
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007. Regional Climate Projections. In : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- CIESM, 2008. Climate warming and related changes in Mediterranean marine biota. No. 35 in CIESM Workshop Monographs (F. Briand, Ed.), 152 pp, Monaco.
- Climaparks news, 2012. Monitoring of marine biodiversity in Landscape park Strunjan. <http://climaparks.eu/cp2/node/326>
- 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
- Coma, R., Ribes M., Serrano, E., Jiménez E., Salat J., Pascual J. 2009. Global warming-enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 106 :6176–6181.
- Crisci, C., Bensoussan, N., Romano J.-C., Garrabou J., 2011. Temperature Anomalies and Mortality Events in Marine Communities : Insights on Factors behind Differential Mortality Impacts in the NW Mediterranean. PLoS ONE 6(9) : e23814. doi :10.1371/journal.pone.0023814.

- Critto, A., Gallina, V., Torresan, S., Rizzi J., Zabeo, A., Carniel, S., Sclavo M., Marcomini, A., 2012. Coastal erosion impacts under climate change scenarios at the regional scale in the North Adriatic Sea. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 14, EGU2012-11590.
- Danovaro, R., Fonda Umani S., Pusceddu A., 2009. Climate Change and the Potential Spreading of Marine Mucilage and Microbial Pathogens in the Mediterranean Sea. *PLoS ONE* 4(9) : e7006. doi :10.1371/journal.pone.0007006.
- Day, J., Dudley, N., Hockings, M., Holmes, G., Laffoley, D., Stolton S. and S. Wells, 2012. Guidelines for applying the IUCN Protected Area Management Categories to Marine Protected Areas. Gland, Switzerland : IUCN. 36 pp.
- Denman, K., Christian, J.R., Steiner, N., Pörtner, H-O., and Nojiri, Y. 2011. Potential impacts of future ocean acidification on marine ecosystems and fisheries : current knowledge and recommendations for future research. – *ICES Journal of Marine Science*, 68 : 1019–1029.
- Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox P. M., Dickinson R. E., Hauglustaine D., Heinze C., Holland E., Jacob D., Lohmann U., Ramachandran S., da Silva Dias P.L., Wofsy S. C. and X. Zhang, 2007. Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Díaz-Almela E., Marbá N., Duarte C.M., 2007. Consequences of Mediterranean warming events in seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering records. *Global Change Biology*, 13 : 224–235.
- di Carlo, G., Otero M. (ed.), 2012. La Méditerranée: un environnement marin côtier en mutation selon les scénarios sur l'évolution du climat. Guide destiné aux gestionnaires pour comprendre les effets des changements climatiques sur les aires marines protégées et comment y faire face. MedPAN Collection, 9 pp.
- Doney, S.C, Ruckelshaus, M., Duffy J.E, Barry, J.P, Chan, F., English, C.A, Galindo, H.M, Grebmeier J.M., Hollowed A.B., Knowlton N, Polovina, J., Rabalais, N.N., Sydeman, W.J., Talley, L.D., 2012. Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 4 :11–37.
- EEA Report No 12/2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report, 304pp.
- ETC CCA Technical Paper 1/2011. Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. 93 pp.
- EU COM, 2013, 216. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and social Committee and the Committee of the regions. An EU Strategy on adaptation to climate change, 11 pp.
- Ferreira, O., J.A. Dias and Taborda, R., 2008. Implications of sea-level rise for continental Portugal. *Journal of Coastal Research*, 24, 317-324.
- Fish, M.R., Cote, I.M., Gill, J.A, Jones, A.P., Renshoff, S. and Watkinson, A.R., 2005. Predicting the impact of sea-level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat. *Conservation Biology* 19, 482-491.
- Füssel, H. M., 2007. Vulnerability : A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17 : 155-167.
- Gabrié, C., Lagabrielle E., Bissery C., Crochelet E., Meola B., Webster C., Claudet J., Chassanite A., Marinesque S., Robert P., Goutx M., Quod C., 2012. Statut des Aires Marines Protégées en mer Méditerranée. MedPAN & CAR/ASP. Ed : MedPAN Collection. 260 pp.
- Gambiani, D.D., Mayol, P., Isaac, S.J. and Simmonds, M.P., 2009. Potential impacts of climate change and greenhouse gas emissions on Mediterranean marine ecosystems and cetaceans. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89(1), 179–201 doi : 10.1017/S0025315408002476.
- Garrabou, J., Coma R., Benssoussan, N., Chevaldonné, P. et al., 2009. Mass mortality in NW Mediterranean rocky benthic communities : effects of the 2003 heat wave. *Glob. Change Biol.* 15 :1090–1103.
- Goy, J., Morand, P., Etienne, M., 1989. Long-term fluctuations of *Pelagia noctiluca* (Cnidaria, Scyphomedusa) in the western Mediterranean Sea. Prediction by climatic variables. *Deep-Sea Res.* 36 :269–279.
- Hall-Spencer, J. M., Rodolfo-Metalpa, R., Martin, S. et al., 2008. Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature*, 454, 96–99.
- Harmelin, J.G., Robert, P., Cantou, M., Harmelin-Vivien, M., 2007. Long term changes in the dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) population from a NW Mediterranean marine protected area, the national park of Port-Cros (France). In : Francour P., Gratiot J (Eds). 2007. Second International Symposium on the Mediterranean Groupers. Nice University publ., May 10-13th 2007, Nice : 154 pp.
- Hayes, M.L., J. Bonaventura, T.P. Mitchell, J.M. Propero, E.A. Shinn, F. Van Dolah, and R.T. Barber, 2001. How is climate change and emerging marine diseases functionally linked? *Hydrobiologia* 460 : 213–220.
- Harley, C. D. G. and L. Rogers-Bennett, 2004. The potential synergistic effects of climate change and fishing pressure on exploited invertebrates on rocky intertidal shores. *CalCOFI Reports* 45 : 98–110.

- Harvell, C. D., Kim, K., Burkholder J.M., Colwell R. R., Epstein, P. R., Grimes, D. J., Hofmann, E. E., Lipp, E. K., Osterhaus, A. D. M. E. ; Overstreet, R. M., Porter, J. W., Smith, G. W. and G. R. Vasta, 1999. Emerging marine diseases – Climate links and anthropogenic factors. *Science* 285 : 1505–1510.
- Harvell, C.D., Mitchell C., Ward J., Altizer, S., Dobson, A., Ostfeld, R. and M. Samuel, 2002. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science* 296 : 2158–62.
- Hughes, T.P., Baird, A.H., Bellwood, D.R. et al., 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*, 301, 929–933.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007 : Mitigation. Eds. B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer, Working Group III contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Technical Summary, chapters 3 (Issues related to mitigation in the long term context) and 11 (Mitigation from a cross sectoral perspective).
- IPCC Fourth Assessment Report, 2007. Climate Change 2007 : The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., et al. (eds.)] (Cambridge, UK : Cambridge University Press). 996 pp.
- Keller, B., Gleason D., McLeod, E., Woodley, C., Airamé, S., et al., 2009. Climate Change, Coral Reef Ecosystems, and Management Options for Marine Protected Areas. *Environmental Management* 44 : 1069–1088.
- Kersting, D.K., Linares, C., 2012. *Cladocora caespitosa* bioconstructions in the Columbretes Islands Marine Reserve (Spain, NW Mediterranean) : distribution, size structure and growth. *Marine Ecology* 33 : 427–436. doi : 10.1111/j.1439-0485.2011.00508.x.
- Kersting, D.K. y Templado, J., 2006. Evento de mortandad masiva del coral *Cladocora caespitosa* (Scleractinia) en las Islas Columbretes tras el calentamiento anormal del agua del verano de 2003. XIV Simposio Ibérico de Estudios de Biología. Marina, Barcelona.
- Kersting, D. K., Linares, C., 2009. Mass mortalities of *Cladocora caespitosa* in relation to water temperature in the Columbretes Islands (NW Mediterranean). ASLO Aquatic Sciences Meeting 2009. Nice, France.
- Kružić, P. and Benković, L., 2008. Bioconstructional features of the coral *Cladocora caespitosa* (Anthozoa, Scleractinia) in the Adriatic Sea (Croatia). *Marine Ecology*, 29 : 125–139. doi : 10.1111/j.1439-0485.2008.00220.x.
- Lejeusne, C., Chevaldonné, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C. F. and Pérez, T., 2010. Climate change effects on a miniature ocean : the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea, *Trends in Ecology and Evolution* 25, 250–260.
- Lionello, P (Ed), 2012. The climate of the Mediterranean region : From the past to the future. Elsevier Edit. 584 pp.
- Marbá, N. and C. Duarte, 2010. Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality. *Global Change Biology* (2010) 16, 2366–2375, doi : 10.1111/j.1365-2486.2009.02130.x
- Milazzo, M., Mirto, S., Domenici, P. and Gristina, M., 2013. Climate change exacerbates interspecific interactions in sympatric coastal fishes. *Journal of Animal Ecology* 82 :468–477 doi : 10.1111/j.1365-2656.2012.02034.x
- Mistri, M. and Ceccherelli V.U., 1996. Effects of a mucilage event on the Mediterranean gorgonian *Paramuricea Clavata*. 2. Population Recovery After Two Years. *Italian Journal of Zoology* 63 (3) : 231-236.
- Movilla, J., Calvo E., Pelejero C., Coma R., Ribes M., Serrano, E., Fernández-Vallejo, P., 2012. Calcification reduction and recovery in native and non-native Mediterranean corals in response to ocean acidification. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 438 : 144-153.
- NRC, 2010. Adapting to the Impacts of Climate Change. National Research Council. The National Academies Press, Washington, DC, USA.
- Otero, M., Cebrian, E., Francour, P., Galil, B., Savini, D. 2013. Surveillance des espèces envahissantes marines dans les aires marines protégées (AMP) méditerranéennes : Guide pratique et stratégique à l'attention des gestionnaires. Projet Medpan Nord. Malaga, Espagne : IUCN. 136 pp.
- Peck, M. and C. Mölmann, 2008. Resolving Climatic impacts on fish stocks Specific Targeted Research Project on “Modernisation and sustainability of fisheries, including aquaculture-based production systems”. 1.6 Report of WP1, Chapter 15 – Sprat. 12 pp.
- Pergent, G., Ben Maiz, N., Boudouresque C.F., Meinesz A., 1989. The flowering of *Posidonia oceanica* over the past fifty years : a lepidochronological study. In : C.F. Boudouresque, E. Fresi, A. Meinesz & V. Gravez (Eds), “Second International Workshop on *Posidonia oceanica* Beds”, GIS Posidonie Publ., Marseille : 69-76.
- Pergent, G., Bazairi H., Bianchi, C.N., Boudouresque, C.F., Buia M.C., Clabaut, P., Harmelin-Vivien, M., Mateo, M.A., Montefalcone, M., Morri, C., Orfanidis, S., Pergent Martini, C., Semroud, R., Serrano, O., Verlaque, M., 2012. Mediterranean Seagrass Meadows : Resilience and Contribution to Climate Change Mitigation ; A Short Summary. Gland, Switzerland and Malaga, Spain : IUCN. 40 pp.
- Piron, M., Balasso, E., Poloniato, D. and R. Odorico, 2007. First record of *Coris julis* in the Miramare Nature Reserve. *Annales, Ser. Hist. Nat.*, 17, 2, 165-170.

- Poloniato, D., Ciriaco, S., Odorico, R., Dulcic, J., and L. Livej, 2010. First record of the dusky spinefoot *Siganus luridus* (Rüppell, 1828) in the Adriatic Sea. *Annales, Ser. Hist. Nat.*, 20, 2, 161-166.
- Pusceddu, A., Mea, M. ; Gambi, M. Bianchelli, S., Canals, M. Sanchez-Vidal, A., Calafat, A. Heussner, S., Durrieu, X. Avril, J. Thomsen, L. García, R. and R. Danova, 2010. Ecosystem effects of dense water formation on deep Mediterranean Sea ecosystems : an overview. *Advances in Oceanography and Limnology* Vol. 6 ; 1 :67-83.
- Richardson, A.J., Bakun A., Hays G. and Gibbons M. J. 2009. The jellyfish joyride : causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends in Ecology & Evolution*, 24 (6) : 312–322.
- Rodolfo-Metalpa, R., Martin, S., Ferrier-Pagès, C. and Gattuso, J.P., 2010. Response of the temperate coral *Cladocora caespitosa* to mid- and long-term exposure to pCO₂ and temperature levels projected for the year 2100. *Biogeosciences* 7, 289–300.
- Rodolfo-Metalpa, R., Houlbrèque F., Tambutté, R., Boisson, F., Baggini, C., Patti, F. P., Jeffrey, R., Fine, M., Foggo, A., Gattuso J. P. & J. M. Hall-Spencer, 2011. Coral and mollusc resistance to ocean acidification adversely affected by warming. *Nature Climate Change* 1, 308–312.
- Ross, P. M., Parker, L., O'Connor, W.A., Bailey, E.A., 2011. The Impact of Ocean Acidification on Reproduction, Early Development and Settlement of Marine Organisms. *Water* 3, no. 4 : 1005-1030.
- Sabatés, A., Martín, P., Lloret, J., Raya, V., 2006. Sea warming and fish distribution : the case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the western Mediterranean. *Global Change Biology* 12 (11), 2209–2219.
- Sano, M., Marchand M., Medina R., 2010, Coastal setbacks for the Mediterranean : a challenge for ICZM, *Journal of Coastal Conservation*, Vol. 14, n°1.
- Serrano, O., 2011. Insights in the mat of *Posidonia oceanica* : biogeochemical sink and paleoecological record. PhD Thesis, Ecology Department, University of Barcelona, Barcelona : 38 pp.
- Skirris, N., Sofianos S., Gkanasos A., Mantziafou A., Vervatis V., Axaopoulos P., and A. Lascaratos 2011. Decadal scale variability of sea surface temperature in the Mediterranean Sea in relation to atmospheric variability. *Ocean Dynamics*, Vol. 62, Issue 1, 13-30.
- Somero, G., 2012. The physiology of global change : linking patterns to mechanisms. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 4 :39–61.
- Suggett, D.J., Hall – Spencer, J.M. , Rodolfo-Metalpa R., Boatman T.G., Payton R., Tye Pettay D., Johnson V.R., Warner M.E. and Lawson T., 2012. Sea anemones may thrive in a high CO₂ world. *Global Change Biology* doi : 10.1111/j.1365-2486.2012.02767.x
- Tempesta M., Otero M. 2013. *Guide pour l'évaluation rapide de la gestion des AMP méditerranéennes*. WWF Italie, IUCN. 68 pages.
- Trenberth, K.E., Jones P.D., Ambenje P., Bojariu R., Easterling D., Klein Tank A., Parker D., Rahimzadeh F., Renwick J.A., Rusticucci M., Soden B. and P. Zhai, 2007. Observations : Surface and Atmospheric Climate Change. In : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- UNEP-CMS, 2006. *Migratory Species and Climate Change: Impacts of a Changing Environment on Wild Animals*. UNEP/CMS Secretariat, Bonn, Germany. 68 pp.
- UNEP-MAP RAC/SPA, 2009. *Synthesis of National Overviews on Vulnerability and Impacts of Climate Change on Marine and Coastal Biological Diversity in the Mediterranean Region*. By Pavasovic, A., Cebrian, D., Limam, A., Ben Haj, S., Garcia Charton, J.A., Ed. CAR/ASP, Tunis; 76 pages.
- Vargas-Yáñez, M., Moya F., García-Martínez M.C., Tel E., Zunino P., Plaza F., Salat J., Pascual J., López-Jurado J.L. and M. Serra, 2010. Climate change in the Western Mediterranean Sea 1900–2008. *J. Marine Systems*, 82, 171-176.
- Vargas-Yáñez, M., Mallard E., Rixen M., Zunino P., García-Martínez M.C. and F. Moya, 2012. The effect of interpolation methods in temperature and salinity trends in the Western Mediterranean. *Mediterranean Marine Science*, 13(1), 118-125.
- Velegrakis, A., Hasiotis, T., Monioudi, I., Manoutsoglou, E., Psaros, F., Andreadis, O. and Tziourrou, P., 2013. *Evaluation of climate change impacts on the sea-turtle nesting beaches of the National Marine Park of Zakynthos Protected Area*. MedPAN North Project, Final report, 81 pp.



Réseaux d'observation environnementale et programmes régionaux relatifs au changement climatique

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)

<http://www.ipcc.ch>

Le GIEC est l'organe scientifique intergouvernemental de référence dans ce domaine. Sa mission est d'étudier et d'évaluer les informations scientifiques, techniques et socio-économiques les plus récentes provenant du monde entier et pertinentes pour la compréhension du changement climatique.

L'action de l'UE pour lutter contre le changement climatique

http://ec.europa.eu/clima/policies/eccp/index_en.htm

Au niveau européen, une série complète de mesures politiques visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre a été mise en place dans le cadre du Programme européen sur le changement climatique (PECC). L'objectif du PECC est d'identifier et de mettre au point tous les éléments nécessaires à une stratégie européenne de mise en œuvre du Protocole de Kyoto. En avril 2013, la Commission européenne a adopté une Stratégie relative à l'adaptation au changement climatique, afin de favoriser une plus grande coordination et un meilleur partage des informations entre les États membres, et garantir la prise en compte de la question de l'adaptation dans l'ensemble des politiques européennes concernées.

<http://climate-adapt.eea.europa.eu/>

L'UE aborde aussi la question des écarts de connaissances grâce à des recherches et à la plateforme européenne d'adaptation au changement climatique (Climate-ADAPT) qui vise à faciliter la prise de décisions et les politiques en matière d'adaptation.

Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées (CAR/ASP)

<http://www.rac-spa.org/fr>

Le cadre institutionnel portant sur les difficultés et les effets du changement climatique sur la biodiversité marine et côtière est le Plan d'action pour la Méditerranée (PAM) de la Convention de Barcelone, avec le concours, principalement, du Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées (CAR/ASP) en tant qu'agence d'exécution. Le Programme d'action stratégique pour la conservation de la diversité biologique en région méditerranéenne (PAS/BIO) est un plan d'action stratégique pour la protection de la biodiversité dans les régions méditerranéennes côtières et marines. Ce plan d'action, adop-

té par les Parties contractantes à la Convention de Barcelone en 2003, a considéré les impacts du changement climatique sur la biodiversité en tant qu'activités prioritaires (Déclaration d'Almería, 2008).

Centre d'activités régionales/Programme d'actions prioritaires (CAR/PAP)

<http://www.pap-thecoastcentre.org/index.php?lang=fr>

L'adaptation au changement climatique dans les zones côtières a été intégrée à la « Déclaration de Marrakech » sur l'Adaptation au changement climatique (UNEP (DEPI)/MED IG.19/8 Annexe I) et à la proposition de Programme de travail quinquennal (2010-2015) du PAM/PNUE de la Convention de Barcelone. Dans le cadre de ce programme et des travaux menés par le CAR/PAP, le Protocole GIZC fournit un outil important pour l'adaptation au changement climatique grâce à l'adoption de mesures de prévention, d'atténuation et d'adaptation afin de lutter contre les effets du changement climatique.

CIRCLE 2

<http://www.circle-era.eu/np4/2>

Projet de l'UE (2010-2014) visant à faciliter la coopération, concevoir et financer des initiatives communes, partager les connaissances et établir un réseau de financement des recherches axées sur les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation liés au changement climatique.



AMP Ghar Lapsi et Filfla, Malte. Photo : UICN

Réseaux d'observation environnementale régionaux

Système mondial d'observation du climat (SMOC) et Système mondial d'observation de l'océan (SMOO)

<http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/index.php?name>AboutGCOS>

Le SMOC est un réseau de systèmes d'observation, coordonné au niveau international, et doté d'un programme d'activités visant à soutenir et à améliorer le réseau. Il est conçu pour répondre aux exigences évolutives nationales et internationales en matière d'observations climatiques, comme le suivi des observations du climat des océans.

Réseau MOON (Mediterranean Operational Oceanography Network) et réseau MONGOOS

http://www.moon-oceanforecasting.eu/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1

Le réseau MOON (Mediterranean Operational Oceanography Network, réseau océanographique opérationnel méditerranéen) est axé sur le système de prévisions méditerranéennes portant sur les variables météo-océanographiques (température, courants) et les variables biochimiques pélagiques. Il fait actuellement partie du nouveau réseau MONGOOS.

Le système national grec de prévisions des océans (POSEIDON), le système de prévisions du canal de Sicile, le système d'observation et de prévisions côtières chypriote (CYCOFOS), le système de prévisions de la mer Adriatique, le système de prévisions du niveau de la mer Puertos del Estado (Nivmar, Espagne), et le système de prévisions du sud-est et du nord du Levant font partie des nombreux membres du réseau MONGOOS.

Les observations peuvent se matérialiser notamment par des relevés in situ de la température et de la salinité de l'eau, du niveau de la mer et de la pression atmosphérique, ainsi que par des relevés obtenus par détection à distance de la température à la surface de l'eau (SST) et de la concentration en chlorophylle. Ce réseau fait aussi partie d'EuroGOOS (European Global Ocean Observing System), système européen d'observation des océans mondiaux.

Réseau Eurosites (European Ocean Observatory Network)

<http://www.eurosites.info/>

Eurosites est un réseau européen intégré réunissant neuf observatoires en eaux profondes, au large du plateau continental et à plus de 1000 m de profondeur ; ces observatoires mesurent les variables comprises entre la surface de la mer et le fond marin.

Bulletin du système de prévisions de la mer Méditerranée

<http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/>

Rapport électronique pouvant fournir des prévisions concernant la température à la surface de la mer ainsi que les anomalies, la salinité, le flux de chaleur et la force du vent à différentes profondeurs.

MyOcean2

<http://www.myocean.eu/>

Service de suivi au niveau national et européen à l'aide de séries de relevés à long terme in situ (données physiques et biochimiques) et par détection à distance (couleur des océans et SST). Parmi les paramètres mesurés figurent la température, la salinité, les courants, le niveau de la mer, la chlorophylle A, l'oxygène dissous, les nutriments et la pénétration de la lumière.

MedGLOSS

<http://medgloss.ocean.org.il/>

<http://www.ciesm.org/marine/programs/medgloss.htm>

Le réseau MedGLOSS d'observation du niveau de la mer en Méditerranée et en mer Noire est un programme qui a été créé conjointement par la CIESM et la COI/UNESCO en 1997, suite aux prévisions relatives à l'élévation du niveau de la mer et au changement climatique mondial.

Réseau HYDROCHANGES

<http://www.ciesm.org/marine/programs/hydrochanges.htm>

Observation à long terme des paramètres hydrologiques de base (température et salinité) ; réseau méditerranéen de capteurs autonomes de mesure de la conductivité, de la température, et de la profondeur (CTD), déployés principalement sur des dispositifs d'ancrage très maniables se trouvant à une courte distance sous la surface.

SeaDataNet, réseau des infrastructures paneuropéennes

<http://www.seadatanet.org/>

Système normalisé pour la gestion des grandes séries de données multiples recueillies par les flottes océanographiques et les systèmes d'observation automatiques.

RADMED

<http://www.ba.ieo.es/es/investigacion/grupos-de-investigacion/coplamed/proyectos/263-radmed>

Ce projet fournit des séries de données historiques portant sur des paramètres océanographiques et relatives à la côte méditerranéenne espagnole.

T-MedNet

<http://www.t-mednet.org/>

Le réseau T-MedNet vise à mutualiser l'acquisition de séries de données à long terme et à haute résolution, concernant la température des eaux côtières méditerranéennes (0-40 m) ; il a aussi pour objectif de faciliter l'analyse et le partage de ces données.

Programme « Tropical Signals »

<http://www.ciesm.org/marine/programs/tropicalization.htm>

Programme de suivi à long-terme, à l'échelle du bassin, visant à détecter l'expansion ou le déclin d'espèces clés (espèces tropicales exotiques, espèces autochtones préférant les eaux chaudes et espèces autochtones préférant les eaux froides) en réaction au changement climatique.

MEDSEA

<http://medsea-project.eu/>

Projet du 7e programme-cadre de l'UE, visant à étudier l'impact de l'acidification de la Méditerranée (2011-2014). Ce projet se concentre sur une série déterminée de variables écosystémiques et socio-économiques clés, susceptibles d'être affectées à la fois par l'acidification et le réchauffement. Son objectif est de fournir les meilleures estimations possibles ainsi que les incertitudes liées aux futures modifications du pH de la Méditerranée, de son état de saturation en CaCO_3 , et d'autres variables d'ordre biogéochimique et écosystémique. Il vise également à évaluer les modifications concernant l'adéquation des habitats des espèces correspondantes ayant une importance écologique et économique.

Climaparks

<http://www.climaparks.eu>

Projet régional pour le suivi et l'étude des effets du changement climatique dans neuf parcs (terrestres et marins) en Slovaquie et en Italie. Il vise à effectuer des recherches et à sensibiliser le public au changement climatique, à la conservation de la biodiversité, et aux comportements responsables et durables vis-à-vis de l'environnement dans ces aires protégées.

CLIM-RUN

<http://www.climrun.eu/>

Projet du 7e programme-cadre de l'UE (2011-2014) visant à élaborer un protocole pour l'application des nouvelles technologies et des outils (plus performants) de modélisation et de réduction d'échelle, afin de fournir des données climatiques adaptées à l'échelle régionale voire locale, pertinentes et utilisables à différents niveaux de la société (décideurs, industrie, villes, etc.) dans les secteurs économiques clés : l'énergie et le tourisme.

CLAMER

<http://www.clamer.eu/about-clamer>

Projet du 7e programme-cadre de l'UE visant à sensibiliser les citoyens européens, et la société dans son ensemble, aux effets du changement climatique dans l'environnement marin et à ses conséquences socio-économiques.

ClimCares

<http://climcares.medrecover.org>

Ce projet régional (2011-2013) vise à évaluer les impacts potentiels du changement climatique sur les écosystèmes benthiques côtiers dans le bassin nord-occidental de la Méditerranée en se basant sur des scénarios réalistes de réchauffement au niveau régional combinés avec les réponses biologiques au stress thermique. Le principal résultat du projet est d'évaluer les risques de mortalité massive de certaines espèces dans la zone d'étude.

Système intégré d'échantillonnage de l'eau équipé d'une sonde CTD (conductivité, température, profondeur) permettant de réaliser des profils verticaux température-salinité à différentes profondeurs.



Photo : M. Vargas, IEO.

La collection MedPAN

La collection MedPAN est une série de publications conçues pour fournir les gestionnaires des Aires Marines Protégées (AMP) et d'autres acteurs en Méditerranée, des recommandations, de l'information pratique et utile, le retour des expériences ou les vues d'ensemble sur les questions principales concernant la gestion des AMP.

La collection MedPAN est entièrement adaptée au contexte méditerranéen. Elle réunit des publications développées par les différents acteurs principaux dans la communauté méditerranéenne des AMP sous une image unifiée. La collection MedPAN est une initiative de l'organisation MedPAN et plusieurs partenaires, y compris RAC/SPA, WWF, UICN Méditerranée, ACCOBAMS, l'Agence française des aires marines protégées (AFAMP) et le Conservatoire du Littoral. Elle est éditée par MedPAN, le réseau des gestionnaires d'aires marines protégées en Méditerranée.



Le réseau des gestionnaires d'aires marines protégées en Méditerranée

www.medpan.org