



PRINCE ALBERT II  
OF MONACO  
FOUNDATION



IAEA

Ocean Acidification  
International  
Coordination Centre

OA-ICC



FONDATION  
BNP PARIBAS



Association monégasque pour l'acidification des océans



OCEANS 2015 INITIATIVE

Ce travail a bénéficié du soutien financier du gouvernement français au titre du programme Investissements d'avenir administré par l'Agence nationale de la recherche (ANR) sous la référence ANR-10-LABX-14-01.

Il est le fruit de l'initiative « Océans 2015 », un groupe d'experts qui bénéficie du soutien de la fondation Prince Albert II de Monaco, du Centre de coordination international sur l'acidification des océans de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de la fondation BNP Paribas et de l'Association monégasque pour l'acidification des océans (AMAO).

Institut du développement durable  
et des relations internationales  
27, rue Saint-Guillaume  
75337 Paris cedex 07 France

## Interdépendance entre océan et climat : implications pour les négociations climatiques internationales

Alexandre K. Magnan (Iddri), Raphaël Billé (Secrétariat général de la Communauté du Pacifique), Sarah R. Cooley (Ocean Conservancy), Ryan Kelly (université de Washington), Hans-Otto Pörtner (Alfred Wegener Institute), Carol Turley (Plymouth Marine Laboratory), Jean-Pierre Gattuso (CNRS-INSU, Sorbonne Universités, Iddri)

### INTRODUCTION

L'atmosphère et l'océan sont deux composantes du système terrestre cruciales pour la vie. Les activités humaines sont pourtant en train de les affecter. Le changement climatique contemporain est un problème désormais bien connu : causes anthropiques, modifications des phénomènes climatiques extrêmes, dégradation progressive de l'environnement, impacts généralisés sur la vie et les ressources naturelles, et multiples menaces pesant sur les sociétés humaines. Une partie du problème reste toutefois encore largement méconnue en dehors de la communauté scientifique, à savoir les changements profonds que connaît l'océan et qui menacent l'ensemble de la vie sur terre.

Ce *Policy Brief* expose l'importance des évolutions observées dans l'océan. Il est fondé sur un article paru dans la revue *Science*<sup>1</sup> qui fournit une synthèse des impacts récents et futurs du changement climatique sur les océans et leurs écosystèmes, mais aussi sur les biens et les services fournis à l'homme. Deux scénarios contrastés d'émissions de CO<sub>2</sub> sont étudiés : un scénario de poursuite des tendances actuelles, dit *business-as-usual* ou RCP8.5 ; et un scénario de réduction drastique de ces émissions ou RCP2.6, qui permettrait d'atteindre l'objectif de l'accord de Copenhague<sup>2</sup> de contenir le réchauffement climatique mondial à +2 °C d'ici 2100.

1. Gattuso J.-P. *et al.* (2015). Contrasting Futures for Ocean and Society from Different Anthropogenic CO<sub>2</sub> Emissions Scenarios. *Science*, 349 (6243).
2. Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (2009), *Accord de Copenhague*, Décision 2/CP.15, Genève.

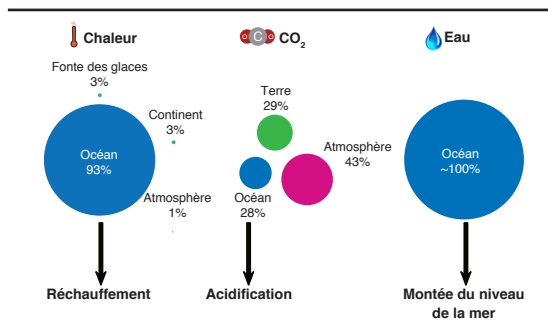
### MESSAGES CLÉS

- Le climat et l'océan sont indissociables : l'océan atténue le changement climatique d'origine anthropique en absorbant une quantité significative de la chaleur et du CO<sub>2</sub> qui s'accumulent dans l'atmosphère, et en recevant l'eau libérée par la fonte des glaciers et des calottes polaires.
- Cette fonction de régulation du climat se fait au prix d'une altération profonde du fonctionnement physique et chimique de l'océan, induisant un réchauffement et une acidification de l'eau ainsi qu'une élévation du niveau de la mer. Ces évolutions affectent profondément l'écologie de l'océan (organismes et écosystèmes) et, au final, les activités humaines marines et côtières (pêche, aquaculture, tourisme, santé, etc.).
- Le nombre et l'efficacité des solutions se réduisent à mesure que la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère augmente.
- Ce constat apporte de nouveaux arguments irréfutables en faveur d'une réduction immédiate et ambitieuse des émissions de CO<sub>2</sub> à l'échelle internationale. Cette conclusion s'applique à la COP21 comme au régime climatique de l'après-2015.

## 1. L'OCÉAN INFLUENCE PROFONDÉMENT LE SYSTÈME CLIMATIQUE

L'océan (y compris les mers fermées) est un « régulateur climatique » pour la planète (figure 1), qui a *i*) absorbé 93 % de l'excès de chaleur sur terre depuis les années 1970 et limité ainsi le réchauffement de l'atmosphère ; *ii*) piégé 28 % des émissions de CO<sub>2</sub> d'origine anthropique depuis 1750 ; et *iii*) reçu la quasi-totalité de l'eau libérée par la fonte des glaciers et des calottes polaires. Sans lui, le changement climatique serait donc beaucoup plus intense et menacerait de nombreuses espèces sur terre. Or, ces services essentiels ont un prix : la hausse de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre (GES) de 278 à 440 ppm tout au long de l'ère industrielle a induit une série de changements écologiques majeurs dans l'océan : réchauffement, acidification, baisse de la teneur en oxygène et élévation du niveau de la mer.

**Figure 1.** Répartition de la chaleur, du dioxyde de carbone et de l'eau de fusion dans les principaux réservoirs terrestres et impact sur l'océan



Il est quasiment certain que la température de l'océan a augmenté entre 1971 et 2010 et que ce processus avait très probablement commencé avant cette période. S'il intervient à toutes les profondeurs, le réchauffement océanique est particulièrement prononcé à la surface. Depuis 40 ans, la température moyenne de l'océan superficiel (jusqu'à 75 m de profondeur) a augmenté d'environ 0,11 °C tous les dix ans.

Dans le même temps, l'absorption de CO<sub>2</sub> par l'eau de mer entraîne une baisse du pH (d'où une augmentation de son acidité) et une concentration des ions carbonate (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). C'est le fameux processus d'« acidification des océans », qui altère les processus biologiques de nombreux organismes vivants, diminuant la capacité de certains d'entre eux à former leur squelette ou leur coquille. Il est pratiquement certain que le pH à la surface des océans a reculé de 0,1 unité depuis le début de l'ère industrielle, soit une augmentation de l'acidité de l'eau de 30 % en 250 ans.

Enfin, le réchauffement de l'eau (dilatation thermique) et la fonte des glaciers et des calottes polaires entraînent une élévation du niveau de la mer. La hausse a été d'environ 1,7 mm par an entre 1901 et 2010, avec une accélération du rythme enregistrée entre 1993 et 2010 (+ 3,2 mm par an).

## 2. LES IMPACTS SONT DÉJÀ DÉTECTABLES ET LES SCÉNARIOS D'AVENIR DÉPENDENT DES FUTURES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Le réchauffement et l'acidification de l'océan ainsi que l'élévation du niveau de la mer génèrent une chaîne d'impacts qui associe ces changements au bien-être de l'homme. Or, les preuves scientifiques sont là : premièrement, les changements qui touchent l'océan commencent à avoir des conséquences sévères sur les organismes et les écosystèmes, notamment en termes d'abondance, de répartition géographique, d'espèces invasives et de relations proies/prédateurs ; ensuite, plusieurs organismes et écosystèmes risquent d'être fortement impactés avant 2100 (figure 2), même dans un scénario de réduction drastique des émissions de GES (RCP2.6) ; enfin, on observe déjà ces impacts aussi bien dans les basses et les hautes latitudes, faisant de ce phénomène un enjeu mondial dépassant le traditionnel clivage Nord/Sud.

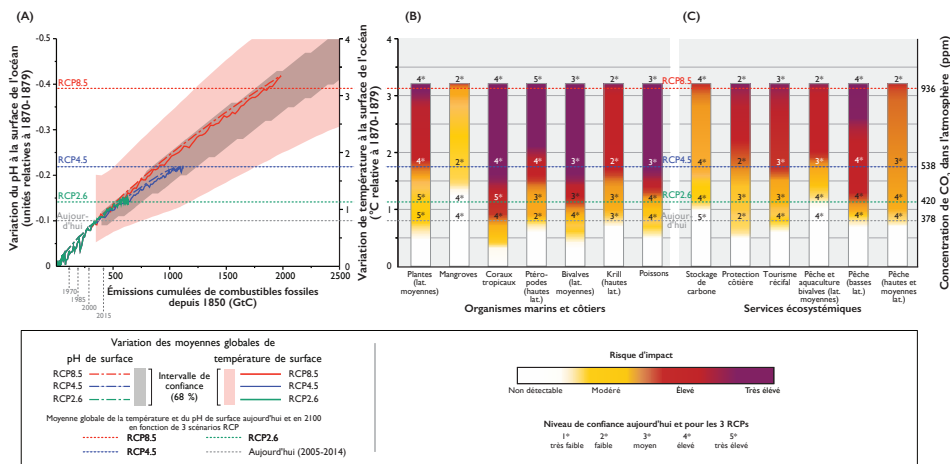
### 2.1. Physique et chimie de l'océan

L'état futur de l'océan dépend du volume de CO<sub>2</sub> qui sera rejeté dans les décennies à venir (panneau A de la figure 2). Le scénario RCP2.6 (réduction drastique des émissions) autorise moins d'un sixième des émissions au cours du 21<sup>e</sup> siècle attendues selon le scénario RCP8.5 (*business-as-usual*). En fonction du scénario retenu, la physique et la chimie de l'océan en 2100 seront donc radicalement différentes.

De toute évidence, l'océan sera bien plus chaud dans le scénario RCP8.5, puisque le différentiel mondial moyen de la température de l'eau superficielle sera proche d'un facteur 4 (+2,73 contre +0,71°C). Quant à l'acidité de l'océan superficiel en haute mer, elle augmentera de 100 % avec le scénario RCP8.5, contre une hausse de « seulement » 17 % avec le scénario RCP2.6.

Enfin, et bien que les deux scénarios d'émissions entraînent un contraste moins prononcé, l'élévation moyenne du niveau de la mer dans le monde par rapport à l'ère préindustrielle devrait être de 0,86 et 0,60 m, respectivement avec les scénarios RCP8.5 et RCP2.6. Cet écart apparemment minime risque pourtant de faire la différence pour les

**Figure 2.** Scénarios d'impact observé et de risque du réchauffement et de l'acidification de l'océan pour des organismes importants et des services écosystémiques critiques



Source: Gattuso *et al.* (2015), reproduced with permission by *Science*.

dizaines de millions d'êtres humains menacés par de graves inondations<sup>3</sup>.

## 2.2. Organismes et écosystèmes

Tandis que les récifs coralliens tropicaux sont en première ligne, d'autres espèces subissent elles-aussi déjà des impacts (panneau B de la figure 2), tels les herbiers des moyennes latitudes, les ptéropodes des hautes latitudes (escargots dont se nourrissent saumons et autres poissons) et le krill, les bivalves des moyennes latitudes (moules et huîtres) et les poissons. Dans le scénario RCP2.6, la modification de l'océan menacerait toujours les récifs coralliens tropicaux et les mollusques des moyennes latitudes, mais les risques d'autres impacts restent modérés — bien que toujours préoccupants. La situation s'aggraverait considérablement avec le scénario RCP8.5 : pratiquement tous les organismes marins concernés (coraux, ptéropodes, poissons et krill) seraient confrontés à des risques excessivement élevés, du type mortalité de masse ou déplacement des espèces. Ces résultats — tirés d'expériences en laboratoire, d'observations sur le terrain et de modélisations — sont cohérents avec les données estimées pendant les périodes de forte concentration de CO<sub>2</sub> dans le passé géologique, ce qui renforce leur crédibilité.

## 2.3. Services écosystémiques

Les capacités d'absorption du CO<sub>2</sub> par l'océan — un service essentiel — vont s'amenuiser avec

l'augmentation des émissions : au 21<sup>e</sup> siècle, la fraction des émissions d'origine anthropique absorbées par l'océan devrait reculer, de respectivement 56 à 22 % selon que l'on considère le scénario RCP2.6 ou le scénario RCP8.5. Plus généralement, les impacts sur les services écosystémiques de l'océan suivent une trajectoire parallèle aux impacts sur les organismes et les écosystèmes, les risques de répercussions allant de « modérés » (RCP2.6) à « élevés voire très élevés » (RCP8.5) (panneau C de la figure 2).

La pêche et l'aquaculture des basses latitudes, qui constituent une source de protéines et de revenus pour des millions de personnes, risquent d'être gravement perturbées avec le scénario *business-as-usual*. De graves conséquences sont donc à redouter à l'échelon national et international. Ainsi, la modification du potentiel de prises dans une zone donnée remettra probablement en cause les accords internationaux de pêche entre les pays concernés, ce qui rejaillira sur l'ensemble du secteur (rentabilité, emplois, etc.), les marchés et les prix dans plusieurs pays, ainsi que sur la compétitivité à l'international. Au final, plus les modifications dans les écosystèmes et la productivité de l'océan seront importantes, plus la menace pesant sur les accords internationaux en vigueur sera grande, et plus le risque qui pèsera sur l'alimentation et la sécurité humaines, sur les relations géopolitiques et sur les processus de développement dans le monde sera élevé.

De même, le risque d'impact sur les services écosystémiques tels que la protection des côtes (récifs coralliens et mangroves, par exemple) pourrait passer au statut « élevé » à « très élevé » d'ici 2100, aggravant les possibilités de submersion marine des terres de faible altitude.

3. Voir par exemple le programme consacré à cette question de l'organisation *Climate Central* pour des simulations concernant les États-Unis (<http://www.climatecentral.org/what-we-do/our-programs/sea-level-rise>).

Les impacts du réchauffement, de la déperdition d'oxygène et de l'acidification de l'océan sur les écosystèmes marins vont se cumuler et également se combiner avec les autres changements induits par l'homme, comme la surexploitation des ressources biologiques, la destruction des habitats et la pollution. En outre, compte tenu de l'ampleur des modifications attendues, aucun pays n'est à l'abri — ce qui fait de cette question un enjeu mondial et souligne l'importance des négociations climatiques pour la communauté internationale s'écarte du scénario d'un avenir insoutenable.

### 3. LES OPTIONS POUR RÉPONDRE OU LIMITER LES RISQUES SE RÉDUISENT ET PERDENT EN EFFICACITÉ À MESURE QUE LA CONCENTRATION EN GAZ À EFFET DE SERRE AUGMENTE

Différentes options ayant fait leur preuve existent pour répondre aux impacts sur l'océan. Elles peuvent être classées en quatre catégories : atténuation des émissions de CO<sub>2</sub>, protection des écosystèmes marins et côtiers contre les facteurs de stress non climatiques (par ex. à travers des aires protégées ou la réglementation de l'exploitation des ressources naturelles), réparation des écosystèmes déjà affectés (par ex. évolution assistée des coraux et/ou élevage de coraux) et adaptation des sociétés (par ex. diversification des activités économiques ou zones tampons côtières). Mais le nombre d'options et leur efficacité diminuent à mesure que l'océan se réchauffe et s'acidifie. Ce qui veut dire qu'en plus d'affecter négativement et directement tout un ensemble d'écosystèmes et de services, s'écarter de la trajectoire du réchauffement limité à +2 °C réduira les marges de manœuvre en termes de réponses politiques. Il sera vain, par exemple, de chercher à encourager la résilience des récifs coralliens si les coraux sains ont disparu. En outre, à mesure que les dommages subis par les écosystèmes côtiers s'aggraveront, les activités de restauration deviendront plus coûteuses, exigeront plus d'interventions humaines et auront moins de chances de succès, aggravant ainsi les effets négatifs pour l'homme.

### 4. UNE RÉDUCTION IMMÉDIATE ET SUBSTANTIELLE DES ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> EST ABSOLUMENT INDISPENSABLE

Un quatrième message-clé découle des constats précédents : une réduction immédiate et substantielle des émissions de CO<sub>2</sub> est impérative si l'on veut prévenir les impacts massifs et effectivement irréversibles sur les écosystèmes océaniques

et leurs services, qui seraient engendrés par tout scénario moins ambitieux que le RCP2.6. D'ailleurs, les données probantes recueillies par la communauté scientifique prouvent que ce scénario est loin d'être un scénario idéal pour l'océan, puisque lui-même porteur d'impacts significatifs. Cela signifie que le scénario RCP2.6 doit être considéré comme étant, au mieux, la limite supérieure permettant à un accord mondial sur le climat d'être cohérent vis-à-vis de l'objectif fondamental de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) de « *prévenir toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique... dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable* » (Nations unies, 1992).

Pourtant, les négociations climatiques internationales conduites dans ce cadre n'ont à ce jour que très peu pris en compte l'impact des émissions de GES sur l'océan, et donc le rôle de ce dernier dans la fixation d'objectifs internationaux de long terme en matière d'atténuation comme d'adaptation au changement climatique. Nous estimons qu'avec les progrès récents des connaissances scientifiques, la conférence COP21 constitue une occasion inestimable pour s'atteler au défi d'une meilleure intégration de ces questions essentielles dans le régime climatique international de l'après-2015. Les scénarios contrastés récemment décrits et résumés dans ce *Policy Brief* montrent clairement que l'état de l'océan fournit un argument supplémentaire irréfutable en faveur d'une réduction immédiate et d'envergure des émissions de CO<sub>2</sub>. Tout nouvel accord climatique mondial qui n'aurait pas pour ambition de contribuer significativement à la réduction des impacts sur l'océan serait à la fois incomplet et inadapté. ■

#### Remerciements

AKM tient à remercier pour son soutien l'Agence nationale de la recherche (ANR) (projet CapAdapt, ANR-2011-JSH1-00401). RB bénéficie du soutien du projet RESCCUE, financé par l'Agence française de développement et le Fonds français pour l'environnement mondial (AFD CZZ 1647 01 F et FFEM CZZ 1667 01 H). CT remercie le programme de recherche du Royaume-Uni sur l'acidification des océans, financé par NERC, Defra et DECC. HOP est reconnaissant au programme allemand BIOACID pour son soutien. Les opinions exprimées dans ce rapport sont strictement celles des auteurs et ne sauraient constituer une déclaration de politique, une décision ou une position du Gouvernement français, du Secrétariat général de la Communauté du Pacifique ou de l'Agence Internationale de l'énergie atomique.