



# Chaleur, acidité, manque d'oxygène - L'océan en difficulté

Comment s'en sort le plus grand écosystème sur Terre?



CONTIENT 96% DE L'ESPACE HABITABLE SUR TERRE ● POSSÈDE 80% DES ORGANISMES VIVANTS SUR TERRE ●  
COUVRE 71% DE LA TERRE ● PRESQUE LA MOITIÉ DE L'OXYGÈNE QUE NOUS RESPIRONS EST PRODUIT PAR LES  
PLANTES OCÉANIQUES ● LES POISSONS FOURNISSENT AU MOINS 15% DES PROTÉINES ANIMALES À  
4,2 MILLARDS ● 90% DU COMMERCE MONDIAL EST TRANSPORTÉ À TRAVERS LES OCÉANS  
● CONTIENT ENVIRON 80% DES RESSOURCES MINÉRALES SUR TERRE



# Régions océaniques et côtières en difficulté

L'océan couvre près des trois quarts de la surface de la Terre, forme 96 % de l'espace habitable, procure la moitié de l'oxygène que nous respirons et constitue une source cruciale de protéines pour une population mondiale en rapide expansion. Mais les activités humaines ne sont pas sans impact sur cette précieuse ressource à l'échelle locale, régionale et mondiale.

Au cours des décennies et des siècles à venir, la santé de l'océan pâtira des effets croissants d'au moins trois facteurs en interaction. L'élévation de la température, l'augmentation de l'acidité et la diminution de la teneur en oxygène de l'eau de mer modifieront profondément la physique, la chimie et la biologie du milieu marin. Ces changements auront sur l'océan des incidences que nous commençons à peine à comprendre.

Il est primordial que les hauts responsables internationaux perçoivent le rôle immense joué par l'océan dans la vie sur Terre et saisissent les répercussions d'une hausse des concentrations mondiales de CO<sub>2</sub> sur l'océan et sur la société tout entière.



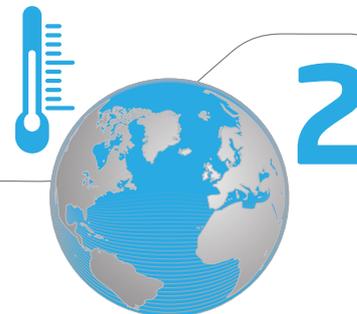
## Acidification de l'océan

L'acidification de l'océan est la conséquence directe de l'élévation des niveaux de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère. Lorsque le CO<sub>2</sub> pénètre dans l'océan, il passe rapidement pas une série de réactions chimiques qui augmentent l'acidité de l'eau de mer en surface (diminution du pH). Au cours des 250 dernières années, l'océan a absorbé à peu près 30% du CO<sub>2</sub> d'origine anthropique, ce qui a abaissé son pH à un rythme inégalé depuis quelques 60 millions d'années.

Le phénomène peut sembler bénéfique, dans la mesure où il ralentit l'accumulation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et le réchauffement de la planète; sans le puits formé par l'océan, les concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> se situeraient déjà au-delà de 450 ppm. Toutefois, s'il perdure, un changement aussi rapide et profond de la chimie de l'océan risque de nuire à la vie marine; il sera non seulement préjudiciable aux nombreux organismes dont le squelette ou la coquille est formé de carbonate de calcium (huîtres, moules, coraux, certaines espèces de plancton, entre autres), mais pourrait aussi entraîner des modifications dans bien d'autres organismes, écosystèmes et processus avec des conséquences potentiellement graves pour la société.

L'acidité moyenne dans la couche supérieure de l'océan a diminué de quelque 0,1 unité pH (hausse de 30 % de l'acidité) depuis le début de la révolution industrielle; elle devrait encore baisser de 0,3 unité d'ici à la fin du siècle si les émissions de CO<sub>2</sub> se poursuivent au même rythme qu'aujourd'hui.

# Problème triple - facteurs conjugués



Il est probable que de nombreuses parties de l'océan souffriront au même moment de plusieurs des facteurs de stress environnemental décrits plus haut, car la cause sous-jacente est la même - la hausse des concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> et d'autres gaz à effet de serre. Ces «points chauds» ne seront pas seulement plus chauds, ils seront aussi plus stratifiés, plus acides et moins riches en oxygène, accentuant le stress imposé à la vie marine d'une façon qui excéderait la simple addition des effets de chacun.

Ainsi, l'acidification risque d'accroître la sensibilité des espèces aux effets du réchauffement de l'eau, tandis que l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> alliée à une faible teneur en oxygène nuit à la respiration. Du fait de leur action conjuguée, ces facteurs de stress pourraient menacer très rapidement les cycles biogéochimiques, les écosystèmes et les biens et services que l'océan procure à la société, mettant en péril la sécurité alimentaire et les secteurs économiques qui dépendent de la productivité de la vie marine. Qui plus est, la modification des échanges gazeux entre l'atmosphère et l'océan aura une incidence sur le changement climatique.

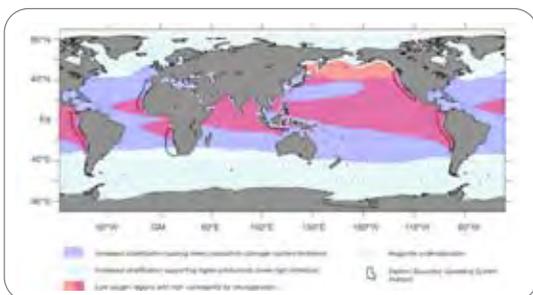
## Réchauffement de l'océan

Le réchauffement de l'océan observé ces dernières décennies découle directement de la hausse de la température atmosphérique imputable à «l'effet de serre». Cela retentit sur l'échange de gaz entre la surface de l'océan et l'atmosphère, ainsi que sur le transport et le stockage des gaz dans les profondeurs. Le réchauffement de l'océan perturbe aussi le mélange des eaux profondes riches en nutriments et des couches superficielles plus pauvres, en particulier dans les régions tropicales; la baisse résultante de la productivité portera gravement atteinte à la sécurité alimentaire provenant de la pêche.

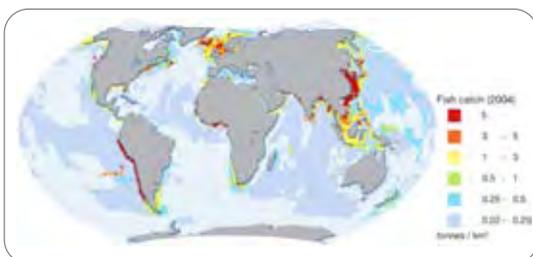
Par ailleurs, il est probable que le réchauffement de l'océan a des effets directs sur la physiologie des organismes marins et, ce faisant, modifie les aires de répartition des espèces, y compris celles qui revêtent une importance commerciale et sont bien adaptées aux conditions actuelles; il est presque certain, par exemple, que la hausse des températures n'est pas étrangère au déclin des stocks de morue dans l'Atlantique Nord.

L'océan renferme énormément de chaleur. Ces dernières décennies, il a emmagasiné environ 90 % de l'énergie due au réchauffement du système terrestre. La température moyenne de la mer en surface a déjà augmenté de 0,7 °C en cent ans, chiffre qui devrait excéder 3 °C dans certaines régions océaniques d'ici à la fin du siècle.

Aspect important et préoccupant, ces «points chauds» qui subissent simultanément plusieurs facteurs de stress risquent de coïncider avec les zones océaniques de grande productivité - où se pratiquent la pêche commerciale à grande échelle et la pêche de subsistance dans les pays en développement (voir les cartes)

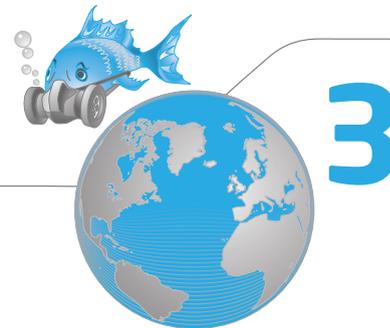


Nicolas Gruber, Phil. Trans. R. Soc. A (2011) 369, 1980-1996



UNEP 2010. UNEP Questions émergentes: conséquences environnementales de l'acidification de l'océan: une menace pour la sécurité alimentaire

# Mesures à prendre



**Atténuation:** L'acidification de l'océan étant principalement causée par le CO<sub>2</sub>, de vigoureuses mesures de réduction des émissions s'imposent. Le rejet dans l'atmosphère d'autres gaz à effet de serre devrait aussi être jugulé, puisque tous alimentent le réchauffement de l'océan et, par voie de conséquence, la désoxygénation.

**Adaptation:** Des stratégies d'adaptation doivent être élaborées, car une hausse marquée du réchauffement, de l'acidification et de la désoxygénation de l'océan est inévitable, même si les concentrations de CO<sub>2</sub> atmosphérique étaient maintenues aux niveaux actuels. Il faut absolument veiller à ce que le système conserve un potentiel de résilience maximal, par exemple en préservant voire en augmentant la diversité biologique et en sauvegardant un ensemble d'habitats variés. La lutte contre d'autres facteurs de stress environnemental, telles l'eutrophisation et la pollution des zones côtières par des substances organiques et inorganiques, aidera également. Il est cependant improbable, vu le rythme sans précédent des changements, que les mesures d'adaptation seules, sans atténuation, soient suffisantes pour éviter l'essentiel des dommages.

**Recherche:** La recherche est nécessaire pour mieux connaître et comprendre ces trois facteurs de stress interreliés. Par exemple, l'acidification fait l'objet d'intenses études depuis peu, mais la désoxygénation ne suscite toujours pas un intérêt équivalent.

Il faudrait surtout adopter une perspective globale et analyser les effets conjugués de deux ou des trois facteurs de stress qui agissent en même temps. Des études en laboratoire et des expériences sur le terrain très poussées, pour la surveillance et la modélisation à l'échelle régionale et mondiale, débutent déjà au sein de partenariats multidisciplinaires et internationaux. Il est important d'étendre les capacités de recherche dans le monde entier, notamment dans les pays en développement vulnérables. Afin de mieux comprendre les répercussions sur les écosystèmes et les conséquences pour chacun d'entre nous, la recherche devra s'orienter résolument vers une approche multidisciplinaire qui rassemble la physique et la chimie, les sciences sociales et économiques, l'étude du vivant et du système terrestre. Ces travaux devront présenter un intérêt pratique grâce à l'échange rapide de connaissances entre les chercheurs et les décideurs.

## Désoxygénation de l'océan

On désigne par ce terme la diminution de la quantité d'oxygène (O<sub>2</sub>) dissous que renferme l'eau de mer. Le changement climatique peut influencer de plusieurs manières sur la teneur de l'océan en oxygène. Il ne fait aucun doute que le phénomène survient dans une eau plus chaude, puisque la hausse de la température réduit la solubilité de l'oxygène. Le réchauffement risque également d'accentuer la stratification de l'océan et, par conséquent, d'altérer le transport d'oxygène de la surface vers les profondeurs. L'acidification des eaux et le déversement de nutriments par les cours d'eau contribuent aussi à la désoxygénation.

Les poissons et une multitude d'organismes marins qui ont besoin d'une certaine quantité d'oxygène pour survivre risquent de souffrir d'une baisse des concentrations. Si de vastes étendues étaient touchées, ces organismes en seraient chassés. Ceux qui tolèrent les milieux pauvres en oxygène, en particulier les microbes, se multiplieraient sans doute, changeant ainsi l'équilibre des communautés biotiques. Il est possible également que les faibles teneurs en oxygène de l'océan augmentent la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, en modifiant les mécanismes de rétroaction qui mettent en jeu le méthane et le protoxyde d'azote.

Selon les modèles actuels, la quantité d'oxygène dans l'océan mondial devrait chuter de 1 à 7 % au cours du prochain siècle. De grandes incertitudes persistent néanmoins quant à l'étendue et l'emplacement de ces modifications et à leur impact écologique.

# Guide des facteurs de stress océanique

Modifications que subira l'océan au cours du siècle si les émissions de gaz à effet de serre n'accusent pas un recul rapide et marqué.

Facteur de stress	Causes	Résultat	Effets direct	Impacts	Rétroaction sur le climat
<b>Réchauffement</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Domaine d'étude assez avancé pour ce qui est des changements physiques et de la physiologie, mais peu avancé à l'échelle écosystémique et biogéochimique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Hausse des rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Élévation de la température, surtout dans les couches superficielles</li> <li>● Baisse du mélange océanique due à une plus grande stratification</li> <li>● Stratification des eaux arctiques favorisée par l'augmentation de l'écoulement et de la fonte des glaces de mer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Diminution de la solubilité du dioxyde de carbone</li> <li>● Accélération des processus chimiques et biologiques</li> <li>● Diminution de l'apport naturel en nutriments dans les eaux plus stratifiées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Stress sur la physiologie des organismes, dont le blanchissement des coraux</li> <li>● Migration importante d'espèces</li> <li>● Accélération du renouvellement des matières organiques</li> <li>● Stress lié aux nutriments pour le phytoplancton, surtout dans les eaux chaudes</li> <li>● <b>Modification de la biodiversité, des réseaux alimentaires et de la productivité, avec des effets possibles sur la pêche, la protection du littoral et le tourisme</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Réduction de l'absorption de dioxyde de carbone par l'océan, en raison de l'effet sur la solubilité</li> <li>● Hausse de la consommation d'oxygène, de la production de dioxyde de carbone et diminution du transfert d'oxygène vers les profondeurs océaniques</li> <li>● Baisse possible de la migration du carbone vers l'intérieur de l'océan</li> <li>● Diminution de la production primaire, sauf dans l'Arctique où la disparition des glaces de mer pourrait se traduire par une hausse</li> </ul>
<b>Acidification</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Expansion de ce sujet de recherche depuis dix ans</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Hausse des rejets de dioxyde de carbone dans l'atmosphère</li> <li>● Enrichissement des eaux côtières en nutriments, contribution locale possible des hydrates de méthane et des gaz acides rejetés par l'industrie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Modification, à un rythme inégalé, de la chimie des carbonates dans l'océan</li> <li>● Causticité de la majorité de l'océan pour les coraux et les organismes à coquille, premiers effets dans l'Arctique d'ici à 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Baisse de la calcification, de la croissance et de la reproduction de nombreuses espèces</li> <li>● Modification de la teneur en carbone et en azote des matières organiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Entrave à la formation des coquilles ou des squelettes et stress physiologique pour de nombreuses espèces, y compris au stade juvénile</li> <li>● Modification de la biodiversité et des écosystèmes, et des biens et services qu'ils procurent</li> <li>● <b>Probable grande vulnérabilité des eaux froides et remontantes qui permettent d'importantes activités de pêche et d'aquaculture</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Réduction de l'absorption du dioxyde de carbone par l'océan en raison des effets chimiques</li> <li>● Modification de la migration du carbone vers l'intérieur de l'océan</li> <li>● Consommation accrue d'oxygène dans toute la colonne d'eau en raison de la modification de la composition des matières organiques</li> </ul>
<b>Désoxygénation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Question nouvelle peu étudiée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Diminution de la solubilité de l'oxygène due au réchauffement</li> <li>● Baisse de l'apport d'oxygène à l'intérieur de l'océan en raison d'un mélange limité</li> <li>● Élimination locale de l'oxygène imputable aux écoulements riches en nutriments à partir des terres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Diminution de l'oxygène disponible pour la respiration, surtout dans les régions productives et dans les eaux profondes de l'océan</li> <li>● Vastes zones pauvres ou très pauvres en oxygène</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Diminution de la croissance et de l'activité du zooplancton, des poissons et d'autres organismes qui ont besoin d'oxygène</li> <li>● Perturbation du système endocrinien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Stress sur les organismes qui ont besoin d'oxygène</li> <li>● Risque de disparition d'espèces dans les zones pauvres en oxygène</li> <li>● Répercussions sur la réussite de la reproduction</li> <li>● <b>Remplacement par des organismes qui tolèrent les milieux pauvres en oxygène, surtout les micro-organismes, et perte des services procurés par les écosystèmes dans ces zones</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Augmentation de la production de méthane et de protoxyde d'azote, deux gaz à effet de serre</li> </ul>
<b>Trois facteurs conjugués</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Peu d'études</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Hausse des rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, en particulier le dioxyde de carbone</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Présence plus fréquente d'eaux plus chaudes, mais aussi plus acides et moins riches en oxygène</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Atteinte à la physiologie des organismes, à l'équilibre énergétique et à la formation de coquilles, par exemple dégradation des récifs coralliens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Baisse possible de la tolérance thermique des organismes due à l'acidification, accentuant l'impact du réchauffement</li> <li>● <b>Risque accru, du fait des effets conjugués, pour la sécurité alimentaire et les secteurs économiques tributaires d'écosystèmes marins sains et productifs</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Modification profonde de la physique, de la chimie et des écosystèmes océaniques</li> <li>● Risque de rétroactions positives multiples sur l'atmosphère, accélérant le changement climatique futur</li> </ul>

# Votre prise de conscience peut faire une différence

Suivant la sensibilisation concernant l'acidification de l'océan aux réunions du Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (2009-2015), le partenariat international indiqué ci-dessous, souligne maintenant sa préoccupation quant aux impacts des facteurs multiples et interactifs de réchauffement de l'océan, d'acidification et de

désoxygénation des systèmes océaniques, qui se produiront dans les prochaines décennies dans un monde avec une concentration élevée de CO<sub>2</sub>. Cette publication a reçu le soutien des organisations et programmes internationaux.

S'il vous plaît envoyez un e-mail à [forinfo@pml.ac.uk](mailto:forinfo@pml.ac.uk) pour de plus amples informations. [www.oceanunderstress.com](http://www.oceanunderstress.com).

## Partenaires

### Plymouth Marine Laboratory

Prof Stephen de Mora, [forinfo@pml.ac.uk](mailto:forinfo@pml.ac.uk), [www.pml.ac.uk](http://www.pml.ac.uk)

### Ocean Acidification International Coordination Centre

utilisations pacifiques de projet de l'initiative, IAEA, Ms Lina Hansson, [L.Hansson@iaea.org](mailto:L.Hansson@iaea.org)

### Programme de recherche sur l'acidification de l'océan du Royaume Uni

27 instituts partenaires du Royaume-Uni, Dr Carol Turley OBE, [ct@pml.ac.uk](mailto:ct@pml.ac.uk), [www.oceanacidification.org.uk](http://www.oceanacidification.org.uk)

### Scripps Institution of Oceanography à UC San Diego

Mr Robert Monroe, [rmonroe@ucsd.edu](mailto:rmonroe@ucsd.edu), [www.sio.ucsd.edu](http://www.sio.ucsd.edu)

### OCEANA

Ms Jacqueline Savitz, [jsavitz@oceana.org](mailto:jsavitz@oceana.org), [www.oceana.org](http://www.oceana.org)

### Projet européen sur l'acidification de l'océan

32 instituts partenaires de 10 pays; Dr Jean-Pierre Gattuso, [gattuso@obs-vlfr.fr](mailto:gattuso@obs-vlfr.fr), <http://epoca-project.eu>

### L'acidification de la mer Méditerranée dans un climat changeant

16 instituts partenaires de 10 pays; Dr Patrizia Ziveri, [patrizia.ziveri@uab.cat](mailto:patrizia.ziveri@uab.cat), <http://medsea-project.eu>

### Programme sur les impacts biologiques de l'acidification de l'océan

19 instituts partenaires de l'Allemagne; Prof. Dr. Ulf Riebesell, [uribesell@ifm-geomar.de](mailto:uribesell@ifm-geomar.de), [www.bioacid.de](http://www.bioacid.de)

### Centre de Recherche et d'Innovation pour le changement climatique; et Centre d'Etude des Forçages Multiples sur les Systemes Socio-Ecologiques Marins (MUSELS, [www.euia.cl/musels](http://www.euia.cl/musels))

7 instituts partenaires du chili; Dr Nelson A Lagos, [nlagoss@ust.cl](mailto:nlagoss@ust.cl), Chile

**PML** | Plymouth Marine Laboratory



Ocean Acidification International Coordination Centre  
**OA-ICC**



UK Ocean Acidification Research Programme



SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY UC SAN DIEGO



OCEANA | Protecting the World's Oceans



EPOCA  
European Project on Ocean Acidification



MedSEA  
Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate



BIOACID  
Biological Impacts of Ocean Acidification



CiRCC  
Centro de Investigación y Desarrollo en Oceanografía

## Message soutenu par



S'il vous plaît citez ce document comme suit: Turley C, Keizer T, Williamson P, Gattuso J-P, Ziveri P, Monroe R, Boot K, Huelsenbeck M: Chaleur, acidité, manque d'oxygène - L'océan en difficulté. Plymouth Marine Laboratory, UK Ocean Acidification Research Programme, European Project on Ocean Acidification, Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate project, Scripps Institution of Oceanography à UC San Diego, OCEANA; 2016 6pp. ISBN: 978-0-9519618-6-5