

Introduction à l'attention des politiques et décideurs

Un consensus clair se dégage, à partir de multiples déclarations scientifiques concernant l'acidification de l'océan, à savoir que des changements rapides et sans précédents ont lieu.

Ce guide introductif, rédigé à l'attention des conseillers politiques et des décideurs du monde entier, est une sonnette d'alarme sur l'impact double sur les mers du changement climatique et de l'acidification de l'océan causés par l'augmentation des teneurs en gaz carbonique de l'atmosphère. Il jette les fondements d'une acidification alarmante et progressive de l'océan qui menace les écosystèmes marins. Les enregistrements géologiques montrent que des épisodes récents d'acidification ont été liés à l'extinction massive d'espèces, et il est raisonnable de penser que cet épisode pourrait avoir les mêmes conséquences. Il y a peu de doutes que les changements dramatiques en cours impacteront sur la vie humaine et celle des générations futures, si l'on n'agit pas rapidement et de manière décisive.



CONSTATS RAPIDES...

- Actuellement, chaque année l'océan absorbe approximativement près de 25% de l'ensemble du dioxyde de carbone (CO₂) émis.
- Ce 'service' caché de l'océan représenterait un montant annuel de l'économie de 60 à 400 milliards US\$¹
- Le volume et taux croissant des émissions de CO₂ impacte progressivement le système océanique, causant une augmentation de l'acidité de l'eau de mer- ce phénomène est appelé 'acidification de l'océan'.
- L'acidité de l'océan a augmenté de 30% depuis le début de l'ère industrielle et le taux d'acidification accélèrera dans les décennies à venir. Ce taux, dans l'état actuel de nos connaissances, est de plusieurs fois plus rapide que ce nous avons vécu au cours des derniers 55 millions d'années.
- De nombreuses espèces animales et végétales dans les mers ont des squelettes ou coquilles en carbonates de calcium. Certaines particulièrement sensibles à des faibles changements d'acidité seraient déjà affectées. Plusieurs de ces espèces sont directement ou indirectement d'une grande importance culturelle, économique, ou biologique comme les producteurs primaires, les récifs coralliens, etc....
- L'impact de l'acidification de l'océan sur les espèces marines et les chaînes alimentaires affecte des intérêts économiques majeurs et pourrait de manière croissante menacer la sécurité alimentaire, en particulier dans les régions dépendantes des protéines alimentaires marines.
- Les écosystèmes valorisants pourraient être endommagés ou détruits du fait de l'acidification – on prédit que si les niveaux de CO₂ atmosphérique continuent d'augmenter comme cela est prévu en 2050, les conditions de vie pour les barrières coralliennes d'eaux chaudes seront limitées et on peut s'attendre à l'extinction de certaines espèces. En 2100, 70% des coraux d'eaux froides seraient exposés à des eaux corrosives.
- L'impact de l'acidification de l'océan sur les barrières de coraux compromettra la sécurité des communautés dans les endroits de faible élévation terrestre qui sont protégées de l'érosion et des inondations par ces écosystèmes.
- Des réductions drastiques et immédiates d'émissions de CO₂, allant vers la stabilisation et idéalement à la réduction des niveaux de CO₂ atmosphérique, seront nécessaires pour ralentir la progression de l'acidification de l'océan, et celui du changement climatique global.

¹ Cette estimation suppose un coût théorique de remplacement basé sur une séquestration de 2 Gt C/yr et sur un prix du crédit carbone de \$30 à \$200 par tonne de CO₂.

Constats simples - que doit-on vraiment savoir à propos de l'acidification de l'océan...

Qu'est ce que l'acidification de l'océan?

L'océan absorbe environ 25% du CO₂ atmosphérique issu de la combustion des combustibles fossiles et des changements d'usage des sols, et ce CO₂ se dissout dans l'eau de mer pour former l'acide carbonique. Comme nous avons émis de plus en plus de CO₂ dans l'atmosphère, l'océan en a absorbé des quantités plus importantes à un rythme de plus en plus rapide. Ceci altère la capacité du système à s'ajuster aux changements de CO₂ qui naturellement interviennent sur des millénaires, modifiant de manière significative la chimie des océans, et conduisant progressivement à son acidification.

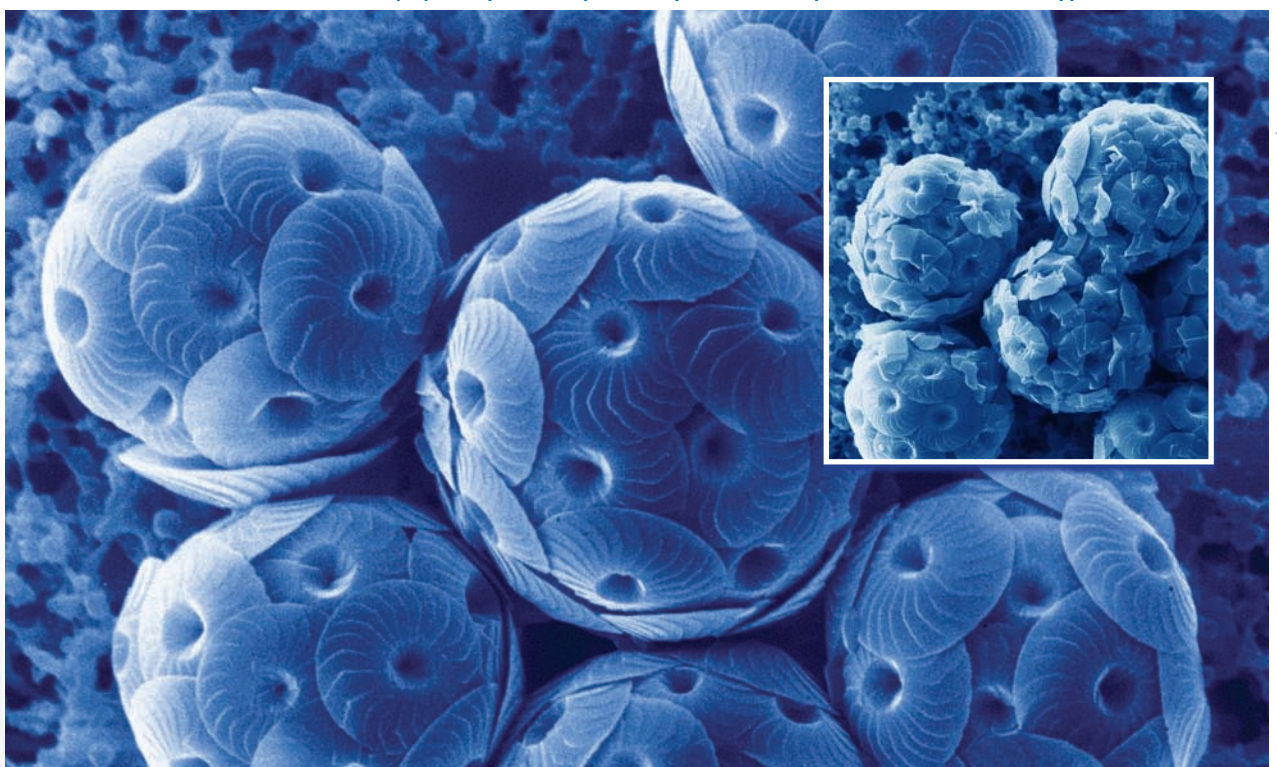
Depuis le début de la révolution industrielle, il y a 250 ans, l'acidité de l'eau de mer a augmenté de 30%. Il faut noter que l'augmentation de l'acidité de l'eau de mer abaisse le niveau alcalin naturel de l'océan et force de manière non naturelle l'équilibre acide-base de l'eau de mer vers l'acide. Si, ce phénomène s'accélère dans les quatre prochaines décennies, comme cela est prévu, l'augmentation conséquente de l'acidité de l'océan sera plus importante que ce que nous avons pu connaître au cours des derniers 21 millions d'années. Les projections futures montrent qu'en 2060, l'acidité de l'eau de mer pourrait avoir augmenté de 120%. Dans l'état actuel de nos connaissances, le changement actuel d'augmentation est de plusieurs fois plus rapide que ce que nous avons pu connaître au cours des derniers 55 millions d'années.

Qu'est ce qui est important?

De nombreuses espèces animales et végétales dans les mers ont des squelettes ou coquilles en carbonates de calcium. Certaines, comme le plancton microscopique, à la base de la chaîne alimentaire, les coquillages et les mollusques utilisés dans nos régimes alimentaires, ou même les algues incrustantes qui cimentent les barrières coralliennes, sécrètent une forme de carbonate de calcium qui se dissout facilement si l'eau de mer continue à s'acidifier. Une tendance à plus d'acidification réduira donc la capacité de ces espèces à fabriquer leurs coquilles. Nous bénéficions de ces végétaux et animaux jusqu'à présent, mais l'acidification menace leur existence.

L'océan nous fournit non seulement de la nourriture, mais indirectement il nous soutient de plusieurs autres manières; l'air que nous respirons dépend largement de la bonne santé de l'océan vis-à-vis de la production d'oxygène, de la production des eaux de surface des mers qui stimule la formation de nuages qui aide à rendre notre planète viable. L'océan représente environ la moitié de la productivité de la planète dont le genre humain tire directement avantage par les pêches de poissons et de coquillages. L'acidification de l'océan nous entraîne dans un voyage incertain et nous n'avons qu'une petite idée de la manière dont des processus essentiels seront affectés.

La micro-algue calcaire *Calcidiscus leptoporus* – ces petites cellules d'un diamètre d'environ 0,01 mm représentent un élément-clé à la base de la chaîne alimentaire marine. Inset: *Calcidiscus leptoporus* après une exposition expérimentale à la pCO₂ attendue en 2100 (700 ppm).



Impacts économiques?

Les eaux profondes de l'océan sont naturellement plus acides que celles plus proches de la surface. Les effets combinés des forts upwellings et l'acidification le long de la côte Nord-ouest américaine est que ces processus peuvent accélérer le mouvement d'acidification corrosive des eaux vers le plateau continental, impactant potentiellement les habitats marins des eaux peu profondes et les espèces vivantes proches des côtes.

En 2007, sur la côte Ouest des Etats Unis, ces eaux naturellement plus acides ont été repérées envahissant les eaux côtières, ce qui pourrait provoquer des risques pour les coquillages dépendant de ces zones le long de la côte américaine.

Simultanément à cette découverte, et depuis 2005, l'industrie de l'huître dans le Pacifique Nord-Est américain a enregistré un déclin progressif de 111 millions de dollars US par an, car d'année en année la survie des larves s'est dégradée. Maintenant que l'industrie de l'huître entre dans sa cinquième année de crise majeure depuis des décennies, les scientifiques ont avancé une théorie dérangeante. Ils suspectent que les eaux de fond naturellement acides qui remontent de l'océan pacifique profond sont actuellement pompées dans les bassins ostréicoles et pourraient être suffisamment corrosives pour tuer les larves d'huîtres.

Les mollusques à eux seuls représentaient \$748 millions (19%) des revenus de la pêche aux USA en 2007.



Photo © Dan Larfley

Les pertes en pêches dues à l'acidification de l'océan conduiront à des pertes d'emplois dans les industries qui lui sont liées économiquement et qui sont actuellement difficiles à quantifier. Il est cependant clair que ces pertes économiques secondaires consécutives à la diminution des pêches de poissons seront concentrées dans des régions particulières, dont la plupart ont une résilience économique trop faible pour endurer des pertes de revenus associés aux pêches.

Ref: <http://oceanacidification.wordpress.com/2009/06/15/oysters-in-deep-trouble/>

<http://www.iop.org/EJ/abstract/1748-9326/4/2/024007/>

Qu'est ce qui se passe actuellement?

Depuis environ 250 ans, les eaux de surface de l'océan montrent une tendance régulière et croissante à s'acidifier. L'acidification de l'océan n'est pas une question de chimie marine théorique. La tendance à l'acidification est déjà mesurée dans l'océan, et ceci de manière de plus en plus précise dans les années récentes. Les eaux dans les zones de haute latitude sont celles où les plus grands changements en termes d'acidification sont prédits pour les prochaines deux ou trois décennies. De plus l'acidité naturelle des eaux profondes des upwellings dans certaines zones est exacerbée par l'acidification de l'océan, ce qui fait que les eaux corrosives d'upwelling affectent aujourd'hui les habitats marins peu profonds et les espèces vivant près des côtes.

Que peut il arriver dans le futur?

L'acidification de l'océan ne diminue pas seulement de manière progressive la capacité de nombreux organismes à construire leur coquille, mais elle affecte aussi progressivement la structure et les fonctions des écosystèmes. L'acidification de l'océan pourrait déclencher des réactions en chaîne d'impacts à travers la chaîne alimentaire, en commençant par les larves de poisson et de coquillages, qui sont particulièrement vulnérables. Ceci touchera l'industrie multimilliardaire des pêches et menacera la sécurité alimentaire des

plus pauvres de ce monde. La plupart des régions de l'océan deviendra inhospitalière pour les récifs coralliens, affectant donc la sécurité alimentaire le tourisme, la protection du trait de côte et la biodiversité.

L'acidité et la température augmentant, la capacité de l'océan à absorber le CO₂ atmosphérique sera réduite, ce qui donc exacerbera le taux du changement climatique. Le taux d'acidification de notre océan dépend de la vitesse à laquelle le CO₂ est émis dans

Le corail d'eau froide *Lophelia pertusa* avec une crevette vivant parmi ses branches.



Photo © Amin Form, IFM-GEOMAR

l'atmosphère. Plus les réductions seront importantes et immédiates, plus nous aurons de chance de voir la situation se stabiliser et ultimement s'inverser. Mais certains changements sont inévitables, et des impacts seront ressentis plus tôt dans l'océan Arctique et l'Océan Austral, où les changements mesurés et prédits de la chimie de l'océan par rapport aux conditions pré-industrielles seront les plus fortes.

En quoi l'acidification de l'océan est différente du changement climatique

Le changement climatique est la conséquence d'une série de gaz à effet de serre qui conduit à une absorption plus importante par la Terre d'énergie solaire, alors que l'acidification résulte seulement de l'augmentation des niveaux de CO₂ atmosphérique se dissolvant dans l'océan. Bien qu'il y ait un degré d'incertitude sur l'impact qui résultera du changement climatique, les modifications chimiques qui interviendront dans l'océan sont certaines et prédictibles. Le processus par lequel le CO₂ se dissout dans l'eau de mer pour former de l'acide carbonique est largement indépendant du changement climatique, bien que l'augmentation de la température réduise la solubilité de CO₂. La réduction des autres gaz à effet de serre ne diminuera pas l'acidification de l'océan. L'atténuation de l'acidification de l'océan nécessitera

des choix qui sont différents de ceux atténuant le changement climatique, car les effets interviendront à des seuils différents que ceux de l'atmosphère. De manière similaire, les projets de géo-ingénierie visant à modifier le bilan radiatif de l'atmosphère n'auront pas d'impact sur les niveaux de CO₂ atmosphérique et n'aideront donc pas à diminuer l'acidification de l'océan.

Que peut on faire?

Il est temps d'agir pour réduire l'acidification de l'océan et le traitement de choc doit être la réduction de la croissance rapide de CO₂ atmosphérique et d'en limiter les niveaux futurs. L'acidification de l'océan sera incrémental. Aujourd'hui l'impact reste relativement mineur, mais le taux de changement s'accélère. De plus, il y a un décalage entre les émissions de CO₂ atmosphérique et l'état d'équilibre - en assumant que nous soyons capable de réduire, plutôt que (ce qui est improbable) d'arrêter les émissions de CO₂, l'acidité de l'océan augmentera pendant plusieurs années. Cette propriété du système fait qu'il faudra réduire le CO₂ pour compenser les émissions antérieures et cela pénalisera d'autant les réductions d'émissions à réaliser. Alors qu'à la fois l'acidification des océans et le changement climatique vont impacter nos vies, l'acidification des océans met encore plus de poids sur la nécessité de réduire rapidement et de manière significative les émissions de CO₂.

Pour ce qui concerne le bruit?

Un océan du futur touché par l'acidification des océans pourrait être un lieu plus bruyant pour les mammifères marins tels que les baleines et dauphins. Les chimistes des océans ont établi depuis des décennies que l'absorption du son dans l'eau de mer change avec la chimie de l'eau. Quand le son parcourt l'eau de mer, cela provoque des vibrations dans des groupes d'atomes, absorbant ainsi les sons à des fréquences spécifiques. Ceci implique diverses interactions chimiques qui ne sont pas complètement comprises. Toutefois, l'effet global est fortement contrôlé par l'acidité de l'eau de mer: plus l'eau de mer est acide, moins elle absorbe les basses et moyennes fréquences sonores.

Ainsi, si les océans deviennent plus acides, les sons seront propagés plus loin sous l'eau, apparemment en particulier les sons inférieurs à environ 3,000 cycles par seconde. Cette gamme de sons inclut la plupart des sons "de basse fréquence" utilisés par les mammifères marins dans la recherche de nourriture et de leurs congénères. Il comprend également un grand nombre des sons sous-marins générés par les activités industrielles et militaires, ainsi que par les navires et bateaux. Ce bruit sous-marin généré par l'homme a augmenté considérablement au cours des 50 dernières années, depuis que les activités humaines dans l'océan ont augmenté.

Les chercheurs pensent que le son se propage peut être déjà de 10 % plus loin dans les océans qu'il y a



Photo © Reinhard Dieckhoff/IFPA

cent ans. Toutefois, il est prévu qu'en 2050, selon les projections des conversationnistes sur l'acidification des océans, les sons pourraient se propager de 70% plus loin dans certaines régions océaniques (en particulier dans l'Atlantique). Cela pourrait augmenter considérablement la capacité des mammifères marins à communiquer sur de longues distances. Cela pourrait également augmenter la quantité de bruit de fond avec laquelle il faudra qu'ils vivent.

Ref: Hester, K.C., E. T. Peltzer, W. J. Kirkwood, and P. G. Brewer (2008). Unanticipated consequences of ocean acidification: A noisier ocean at lower pH. *Geophysical Research Letters*, 35L19601. DOI:10.1029/2008GL034913

See also http://www.mbari.org/news/news_releases/2008/co2-sound/co2-sound-release.html

Des impacts plus importants dans l'océan?

Les impacts de l'acidification de l'océan pourraient avoir des conséquences plus profondes sur la vie des océans, au-delà d'affecter leur capacité à fabriquer les coquilles de carbonate de calcium, ou de la survivance des jeunes larves sensibles de certaines espèces.

Nous sommes encore au tout début pour comprendre quelques unes des conséquences de ces impacts plus complexes liés à la chimie de l'océan. Parmi les domaines d'intérêt, il y a les nutriments biologiquement importants comme l'azote, les phosphates, la silice et le fer, qui limitent souvent la croissance du plancton dans de larges régions de l'océan. Si les conditions deviennent plus acides, cela peut, en théorie au moins, réduire leur disponibilité. La modification de la disponibilité peut aussi résulter d'un changement de stratification dû au réchauffement climatique. Ceci peut à son tour affecter la production primaire. Il est possible que les producteurs primaires qui fournissent l'énergie aux chaînes alimentaires aient des réponses différentes aux conditions changeantes, pouvant altérer ou influencer les chaînes alimentaires qui en dépendent.

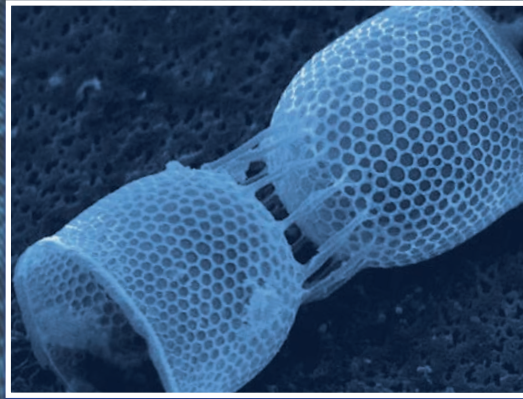


Photo © Marcus Shirley/Plymouth Culture Collection

Des recherches significatives et des résultats seront nécessaires avant que nous soyons sûrs de la manière dont la chimie de l'océan changera à l'avenir, ce que cela signifiera pour les écosystèmes marins, les espèces et les bénéfices que nous tireront de cet environnement global.

Ref: Turley, C.M. and H. A. Findlay (2009). Ocean acidification as an indicator for climate change. In: *Climate and Global Change: observed impacts on Planet Earth* (ed. T. M. Letcher), Elsevier, Oxford, U.K.

L'acidification des océans doit être reconnue pour ce qu'elle est: un défi mondial à un niveau sans précédent et d'une telle importance que cela nécessite une action immédiate pour enrayer la tendance à une acidification croissante. Il n'y a pas de solutions pratiques pour remédier à l'acidification des océans une fois qu'elle s'est produite, nous devons peut-être compter sur la nature pour nous en sortir. Ce sera inévitablement un processus de restauration à long terme qui pourrait prendre plus de 10.000 ans pour que l'océan soit restauré à son équilibre en carbone, avec peut-être encore plus de temps encore pour sa restauration biologique. Pour y faire face, il faudrait une réduction réelle et durable des émissions pour stabiliser les niveaux de CO₂ atmosphérique, en réduisant nos émissions et grâce aux technologies qui permettent d'éliminer activement du CO₂.

Pour soutenir l'action globale sur les émissions, il y a également une gamme de mesures locales ou régionales qui devraient être prises pour maintenir ou restaurer la santé de l'océan afin d'être dans la meilleure position possible pour venir à bout de quelques uns des changements qu'engendre le phénomène d'acidification. La sévérité des impacts liés à l'acidification de l'océan dépend vraisemblablement en partie des interactions entre acidification et autres stress environnementaux, comme l'augmentation des températures de l'océan, la surpêche et les sources de pollution continentales. Nous devons identifier toute région des océans qui semblent être les plus résilientes à l'acidification. Nous devons nous assurer par une bonne gestion et une protection que la résilience dans ces régions est maintenue ou restaurée pour créer de futurs refuges. Pour des régions plus grandes de l'océan, nous devons de manière similaire trouver des moyens d'augmenter la résilience des écosystèmes pour prendre en compte les pressions que l'acidification de l'océan imposera, pour qu'elles aient la capacité de résister aux changements et se restaurer rapidement.



Photo © Keith Heckes/SMU/INCC

Conséquences pour les plus faibles?

Le meilleur au monde mais le moins connu des systèmes de recyclage connu est l'océan. Invisible, marée après marée, année après année, une multitude d'espèces vivantes cachée dans la mer dépend de la régénération des nutriments vitaux dans l'eau qu'apporte le phytoplancton qui crée la productivité et la vie dans les mers. Ces espèces recycleuses cachées sont des bactéries aidées dans leur travail par les mollusques, les vers, les crevettes et plusieurs oursins et étoiles de mer.

La recherche est en cours mais il semble que l'acidification de l'océan puisse affaiblir les liens dans les systèmes marins. Un des organismes qui aide au processus de recyclage est le brittle star, qui vit dans le fond marin, agitant ses bras dans les courants d'eau pour capter la nourriture au passage. L'acidification de l'océan peut affecter cette espèce de plusieurs manières. Quand les larves sont exposées à des eaux seulement légèrement plus acides, il apparaît que la mortalité de plusieurs espèces augmente, dont les brittle star. Quand les adultes sont exposés à des eaux faiblement plus acides, les brittle star semblent avoir du mal à fabriquer leur squelette de carbonate de calcium et dispose par conséquent de moins d'énergie pour fabriquer des muscles pour ses 8 bras – dans les faits il semble y avoir une perte musculaire.

Ref: <http://oceanacidification.wordpress.com/2008/12/24/near-future-level-of-co2-driven-ocean-acidification-radically-affects-larval-survival-and-development-in-the-brittlestar-ophiothrix-fragilis/>

<http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/275/1644/1767.abstract>

Un problème global – le monde de l'océan change...



Photo © Russ Hopcroft/USA

Frapper haut, frapper fort

Les océans polaires sont parmi les plus productifs de la planète. A la base de la chaîne alimentaire, il y a une multitude de petits escargots nageant librement appelés ptéropodes qui utilisent leur pied pour nager dans les eaux des océans. Leur vie dépend ultimement de ces végétaux et animaux microscopiques, puisque les animaux les plus gros qui nous sont plus familiers se nourrissent d'espèces plus petites, moins connues.

Les eaux froides absorbant plus de CO₂ que les eaux chaudes, les régions polaires sont touchées plus durement et plus tôt par l'acidification de l'océan. L'acidification croissante peut maintenant être mesurée à travers les eaux de ses régions et les réponses biologiques sont déjà détectables (Moy *et al.*, 2009). Les ptéropodes et autres organismes calcifiant planctoniques seraient plus particulièrement sensibles à l'acidité. Dans le cadre d'expériences réalisées, leurs coquilles qui les protègent des prédateurs et jouent le rôle de ballast pour leur migrations quotidiennes se sont développées moins vite dans de l'eau acide (Comeau *et al.*, 2009) et semblent plus promptes à des dommages, avec apparition de trous et d'effritements dans la coquille, et elles se dissolvent partiellement quand elles sont placées dans des eaux acidifiées (Orr *et al.*, 2005). L'échelle de l'impact de l'acidification de l'océan sur la réminiscence de la vie dans nos océans froids est inconnue, mais elle est peut être considérable et amplifiée dans la mesure où ces changements se répercutent à travers la chaîne alimentaire au sein des écosystèmes les plus sensibles.

Ref: Comeau, S., G. Gorsky, R. Jeffree, J. L. Teyssié and J.-P. Gattuso (2009). Impact of ocean acidification on a key Arctic pelagic mollusc (*Limacina helicina*). *Biogeosciences*, 6, 1877-1882

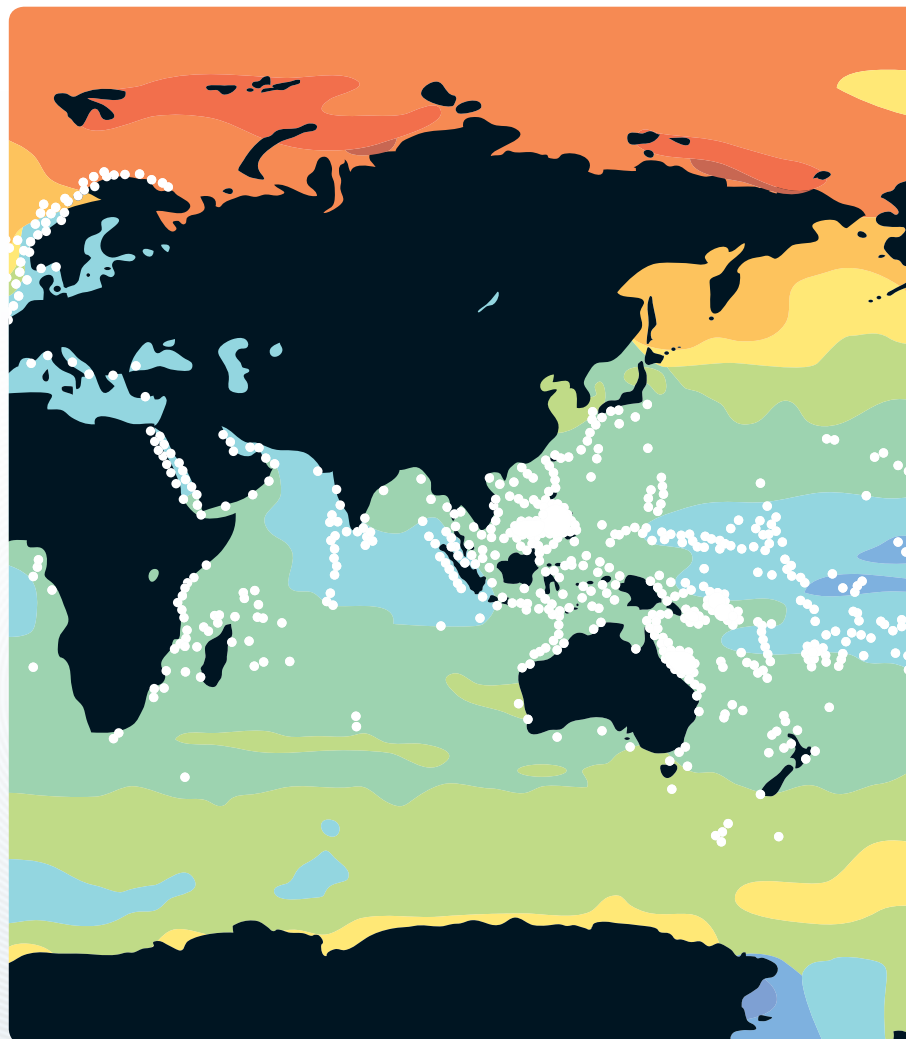
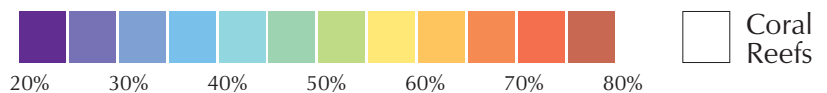
Moy, A.D., W.R. Howard, S.G. Bray and T.W. Trull (2009). The reduced calcification in modern Southern Ocean planktonic foraminifera. *Nature Geoscience*, 2, 276-280. DOI: 10.1038/ngeo460

Orr, J.C., V.J. Fabry, O. Aumont, L. Bopp, S.C. Doney, R.A. Feely, A. Gnanadesikan, N. Gruber, A. Ishida, F. Joos, *et al.* (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437 (7059), 681-686

Comme les émissions continuent, nous continuons à avoir un impact sur le système que l'océan utilise pour absorber des quantités croissantes de CO₂ atmosphérique. Du fait de la complexité de l'océan et de sa chimie, les conséquences ne sont pas simples. Les impacts de l'acidification de l'océan varieront en intensité et dans le temps, les océans polaires les subiront les premiers en raison des changements relatifs les plus forts. Les impacts de l'acidification de l'océan se combineront aussi à d'autres effets liés au changement climatique et à la manière dont nous avons usé et abusé des mers dans le passé de sorte que nous avons affaibli leur résistance et leur résilience au changement. Les effets résultants seront ressentis à travers l'océan, le cœur bleu de la planète couvrant 70% de la surface de la Terre.

Cette carte illustre le pourcentage de la diminution de la saturation d'aragonite de 1865 à 2095, à partir d'un scénario basé sur l'activité actuelle. Les changements relatifs les plus importants sont dans les latitudes nord et sud, là où les eaux sont les plus froides et absorbent plus de CO₂ de l'atmosphère.

Percentage decrease in Ω_{ar} 1865 to 2095



Nemo – perdu en mer?

On réalise rarement que le caractère de notre océan est façonné par la capacité des juvéniles des espèces propulsés par les courants océaniques à retrouver le chemin vers leur habitat.

Les juvéniles de nombreuses espèces trouvent leur habitat adéquat par la détection de substances chimiques dans l'eau de mer (propriétés olfactives) et l'endroit où les adultes de l'espèce vivent. Par exemple, le poisson clown connu sous le nom de Nemo par les adeptes du cinéma, trouve son chemin vers son habitat grâce à l'anémone de mer en détectant ses propriétés olfactives. Ces sens pourrait être affectés avec l'augmentation de l'acidité de l'eau de mer et aboutir à une confusion ou même à une attirance vers des choses auparavant évitées (Munday *et al.*, 2009). Des expériences à des niveaux extrêmes d'acidification de l'eau de mer montre une perte complète de ces propriétés olfactives.

Ref: <http://www.pnas.org/content/106/6/1848>

Munday, P.L., D.L. Dixon, J.M. Donelson, G.P. Jones, M.S. Pratchett, G.V. Devitsina and K.B. Døving (2009). Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6), 1848-1852 doi:10.1073/pnas.0809996106



Photo © Dan Laffoley

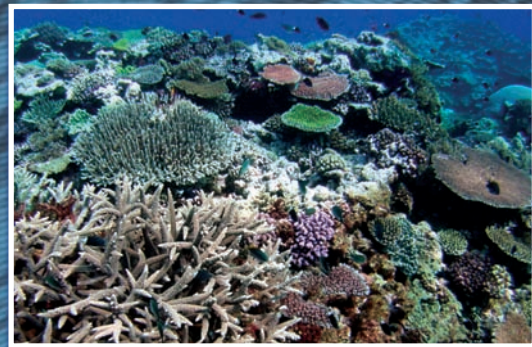


Photo © Dan Laffoley/UCN

Paradis perdu?

Les récifs coralliens sont les habitats les plus biologiquement diversifiés sur Terre, fournissant nourriture, ressources et protection côtière à des centaines de millions de personnes. Ils sont sous la menace constante du changement climatique du fait des températures plus élevées que celle que les coraux peuvent supporter (occasionnant leur blanchissement), et cela couplé à une acidification croissante de l'océan. La grande barrière de corail a déjà diminué son taux de calcification, probablement en réponse aux effets combinés de l'impact de l'acidification et du réchauffement (De Ath *et al.*, 2009).

Les coraux ont peuplé le monde de l'océan tropical pendant plus de 200 millions d'années. Si les niveaux de CO₂ atmosphérique continuent d'augmenter comme prévu en 2050 les conditions dans les eaux chaudes seront devenues limites pour la vie des coraux (e.g. Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007). On peut s'attendre à une extinction de plusieurs espèces. En 2010, 70% des coraux d'eaux froides pourraient être exposés à des eaux corrosives (Guinotte *et al.*, 2009), ce qui créera des dysfonctionnements dans ces écosystèmes importants.

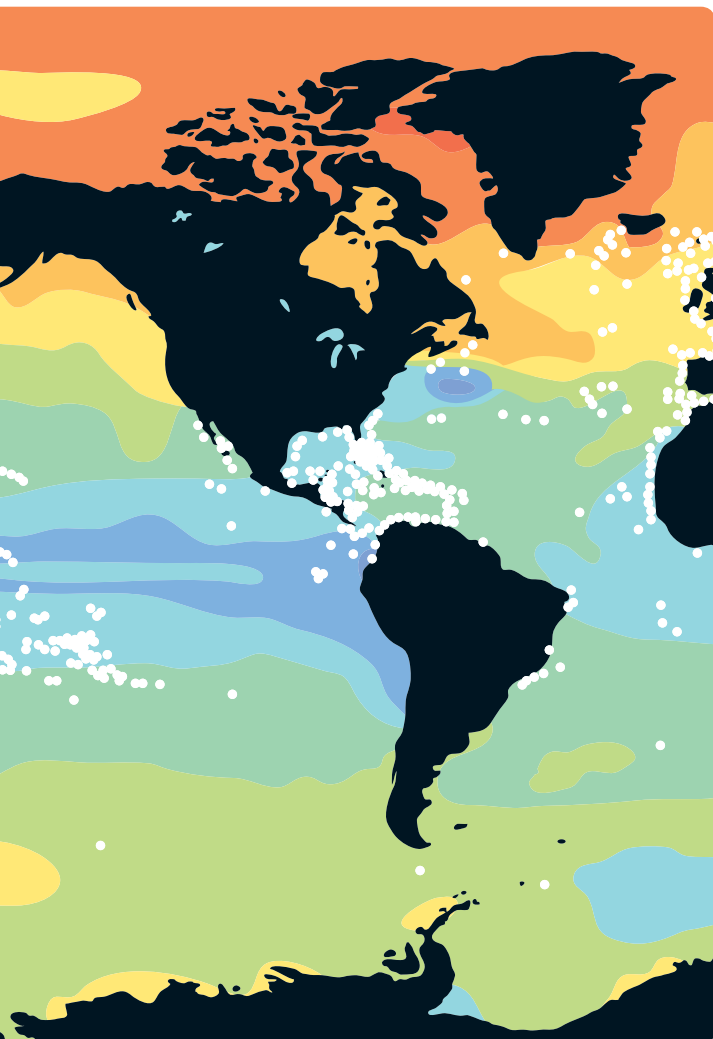
Ref: <http://www.zsl.org/science/news/coral-reefs-exposed-to-imminent-destruction-from-climate-change,605,NS.html>

<http://www.wwnorton.com/cgi-bin/ceilidh.exe/pob/forum/?C350e5a913KHc-7127-411-90.htm>

De'Ath, G., J.M. Lough and K.E. Sabricus (2009). Declining coral calcification on the Great Barrier Reef. *Science*, 323,116-119doi:10.1126/science.1165283

Guinotte, J.M., J. Orr, S. Cairns, A. Freiwald, L. Morgan and R. George (2006). Will human induced changes in seawater chemistry alter the distribution of deepsea scleractinian corals? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(3), 141-146

Hoegh-Guldberg, O., P.J. Mumby, A.J. Hooten, R.S. Steneck, *et al.* (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737-1742 doi:10.1126/science.1152509



Beaucoup de questions, quelques réponses, peu de temps pour agir...

Comme l'acidification des océans a été largement reconnue en 2005 par la publication du rapport de la Royal Society, il y a eu une expansion sans précédent dans le travail sur cette question, ainsi que de nombreux appels pour une action urgente, de la part des leaders scientifiques de la planète, des organisations et des institutions.

Ce que les scientifiques disent

L'importance et la profondeur des préoccupations se reflètent dans une variété étonnante et grandissante de déclarations faisant l'objet d'un consensus scientifique sur l'acidification des océans, dont certaines sont répertoriées ci-dessous.

- 2005: Royal Society : *Acidification des océans en raison de l'augmentation de dioxyde de carbone atmosphérique.*
- 2006: Le Conseil consultatif allemand sur l'évolution globale a publié : *The Future Oceans – Warming Up, Rising High, Turning Sour.*
- 2007: Recommandations de l'Initiative Internationale pour les Récifs Coralliens (ICRI) sur « l'acidification et les récifs coralliens ».
- 2007: IPCC4 : Le GIEC reconnaît la menace immédiate et future de l'acidification des océans sur les écosystèmes océaniques.
- Juin 2008: *Position analysis: émissions de CO₂ et le changement climatique: impacts sur l'océan et problèmes d'adaptation.* Le climat Antarctique australien et les écosystèmes – Cooperative Research Center
- Août 2008: *la déclaration de Honolulu sur la gestion de l'acidification et des récifs océaniques.* Préparé par TNC et publié par l'UICN.
- Décembre 2008: *Déclaration de la position de l'Union européenne des géosciences sur l'acidification des océans.*
- Janvier 2009: *Déclaration de Monaco.*
- Juin 2009: *Le groupe inter académique ; déclaration sur l'acidification des océans.*
- Juin 2009: *Fondation de la science européenne – Briefing de science politique sur les impacts de l'acidification des océans.*
- Juin 2009: *Rapport de synthèse de la Conférence sur les changements climatiques: Risques globaux, Challenges et décisions.* Rapport préparé à la suite du Congrès sur le changement climatique, 10-12 mars 2009
- Juillet 2009: *Résumé à l'intention des décideurs du deuxième Colloque sur l'océan dans un monde à forte teneur en CO₂.*
- Juillet 2009: *Zoological Society of London, le programme international sur l'état de l'océan (IPSO) et de la déclaration de la Royal Society sur l'avenir des récifs coralliens.*

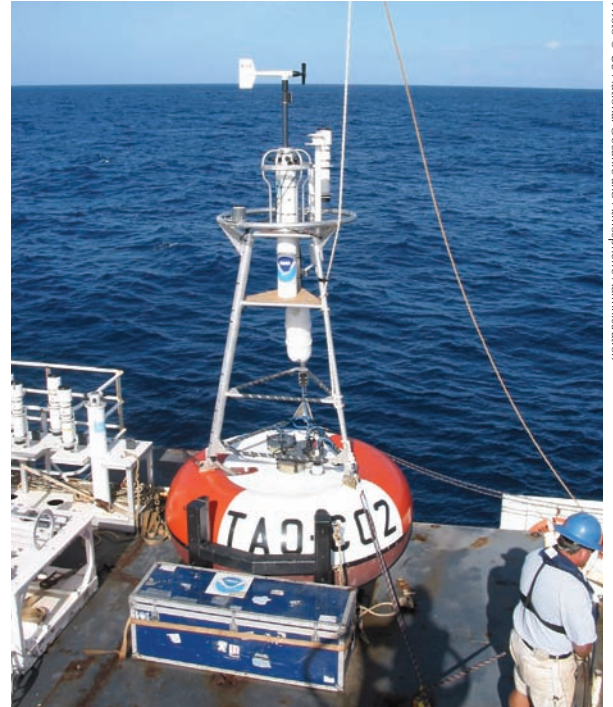


Photo © US National Oceanic and Atmospheric Administration

La tendance vers une augmentation de l'acidité des océans peut déjà être mesurée au large.

Quelles études sont en cours?

Au cours des dernières années, il y a eu une forte augmentation des études scientifiques pour comprendre ce qui se passe aujourd'hui et ce qui peut se produire dans l'avenir en raison de l'acidification des océans. Le temps n'est pas de notre côté, l'océan est déjà de façon mesurable plus acide. Il faut maintenant une action décisive sur les émissions de CO₂ et des mesures de précaution pour mieux protéger les écosystèmes vulnérables. Les études actuelles se concentrent sur la compréhension des conséquences et des mécanismes de ce problème mondial afin d'identifier les meilleures stratégies pour les recommander aux pays. Il est nécessaire de s'assurer que les préoccupations des pays en développement soient convenablement traitées, et également que les nouvelles découvertes soient diffusées rapidement au fur et à mesure qu'elles émergent de la communauté scientifique.

MLes études majeures en cours ou au stade avancé sont les suivantes:

- **Union européenne:** La Commission européenne a financé le projet européen sur l'acidification des océans (EPOCA), une initiative visant à enquêter sur l'acidification des océans et ses conséquences", comme un effort multinational qui comprend 29 laboratoires situés dans neuf pays européens. La

recherche EPOCA, déjà en cours, vise à suivre l'évolution de l'acidification des océans et de ses effets sur les organismes marins et sur les écosystèmes, afin d'identifier les risques liés à la poursuite de l'acidification et de comprendre comment ces changements affecteront l'ensemble du système.

■ **Royaume-Uni:** En 2004-2007 une étude a été entreprise sur l'implication de l'environnement marin de CO₂ (IMCO₂), financée par les ministères de la Defra et DTI. Au printemps 2009, le Royaume-Uni a annoncé un programme de 11,8 millions de £ sur 5 ans afin d'enquêter sur les changements dans les écosystèmes océaniques en réponse à l'acidification des océans (frais partagés par le service pour l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales (Defra) et le ministère de l'énergie et changement climatique (DECC) et Natural Environment Research Council).

■ **Allemagne:** Impacts biologiques de l'acidification des océans (BIOACID). Ce projet coordonné impliquant 18 établissements de recherche est financé par le ministère fédéral de l'Éducation et de la recherche (BMBF) pour une période initiale de 3 ans commençant en septembre 2009. Son objectif principal est de connaître les effets de l'acidification des océans sur le biotope marin au niveau de l'écosystème sous cellulaire et leurs impacts potentiels sur les services de l'écosystème et sur les rétroactions biogéochimiques.

■ **États-Unis:** La Loi fédérale sur la Recherche de l'acidification de l'océan, en 2009. La Loi FOARAM (U.S. Public Law 111-11) a été signée par le Président Obama en mars 2009. La loi exige que la « National Oceanic Atmospheric Administration », la « National Science Foundation » et autres organismes fédéraux travaillent ensemble pour développer un programme national sur l'acidification des océans commençant en 2010.

■ **Japon:** Cinq grands programmes au Japon financent des recherches pertinentes sur l'acidification des océans. Le Ministère de l'environnement du Japon prend en charge les programmes de recherche pour élucider l'impact futur de l'acidification des océans sur divers organismes marins à l'aide d'installations sophistiquées comme mesocosm (par exemple, AICAL, impact de l'acidification sur les calcifiants). MEXT (ministère de l'éducation, sciences, sport et culture) et JAMSTEC (Agence japonaise pour la Marine Science et la technologie) également pour soutenir la recherche sur l'acidification des océans tels que les efforts de modélisation par le supercalculateur Earth Simulator pour prévoir les conditions océaniques futures.

■ **Chine:** Le Ministère de la science et technologie (MOST) et la fondation Nationale pour la Science de Chine (NSFC) ont commencé à prendre en charge les recherches sur l'acidification des océans. CHOICE-C est un nouveau projet de 5 ans financé pour étudier la forte teneur en CO₂ et les



Photo © Amin Form, IFM-GEOMAR

Le corail d'eau froide *Lophelia pertusa* avec ses polypes déployés pour capturer de la nourriture.

problèmes posés par l'acidification des océans dans les mers chinoises, un projet conjoint de 7 grandes institutions avec un financement de 34 millions RMB. NSFC a commencé à financer des projets sur l'acidification des océans en 2006 et il y a plusieurs projets de niveau national en cours pour explorer les impacts de l'acidification des océans sur les organismes calcaires.

■ **Corée:** Les sciences de la Corée et la Fondation technique financent le projet coréen mésocosme pendant 5 ans pour examiner les effets du CO₂ et de la température élevée sur les assemblages naturels de phytoplancton, qui implique cinq laboratoires coréens.

■ **Australie:** L'acidification de l'océan en Australie se concentre sur les régions Antarctique et Australe. La recherche sur le climat et les écosystèmes de l'Antarctique est réalisée par le Cooperative Research Centre (un partenariat de CSIRO, DAS, associant le bureau de la météorologie et l'Université de Tasmanie). Pour l'Océan Austral la recherche porte sur la surveillance des changements chimiques de l'eau de mer et leurs conséquences sur les espèces clés. Sous les tropiques, un programme d'observation et modélisation partenarial entre CSIRO, NOAA (États-Unis), NIES (Japon) et Université du Queensland a commencé dans les régions de la grande barrière de corail et du Pacifique du Sud. La vulnérabilité de la grande barrière de corail à l'acidification des océans est aussi traitée par l'Australian Institute of Marine Sciences et par plusieurs universités (Australian National University, Université du Queensland, Université de Sydney, Université James Cook), dans le cadre d'une surveillance à grande échelle des eaux de récif, par reconstructions paléontologique de coeurs de corail et par des expériences en laboratoire sur organismes récifaux.

Quelques rapports clés sur l'acidification des océans

S'ajoutant aux déclarations scientifiques faisant l'objet d'un consensus et aux études qui sont en cours ou planifiées, un certain nombre de rapports clés ont déjà été produits sur le thème de l'acidification des océans.

Pour la première fois, de nombreux conseillers politiques ont pris conscience du problème de l'acidification des Océans lors de la Conférence internationale de 2005 sur *Avoiding Dangerous Climate Change: A Scientific Symposium on Stabilisation of Greenhouse Gases*. Cela s'est tenu sous la présidence du G8 par le Royaume-Uni, avec la participation d'environ 200 scientifiques de renommée internationale venant de 30 pays. Il a été examiné le lien entre la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, et le seuil plafond de 2°C (3,6 ° F) sur le réchauffement au niveau global jugé nécessaire pour éviter les effets les plus néfastes du réchauffement de la planète. Précédemment il avait généralement accepté 550 ppm comme seuil maximum.

La première publication majeure sur l'acidification des océans a suivi rapidement. Le document politique de la Royal Society 2005 sur *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide* reconnaît que l'acidification des océans est un risque important pour de nombreux organismes calcaires susceptible de modifier des chaînes alimentaires et d'autres processus de l'écosystème, et donner lieu à une réduction de la biodiversité dans les océans. Le groupe de travail désigné a formulé des recommandations spécifiques de politique, y compris la limitation de l'accumulation des émissions de CO₂ pour prévenir un dommage imminent de l'acidification des océans.

En 2006, le Conseil consultatif allemand sur le changement global a publié: *The Future Oceans – Warming Up, Rising high, Turning Sour*. Ce document présente les dangers de l'acidification des océans dans le contexte des autres processus de changement climatique. Les décideurs politiques ont été invités à reconnaître le rôle du CO₂ comme un danger pour la mer dans le cadre des futures négociations de la Convention des Nations Unies sur le changement climatique.

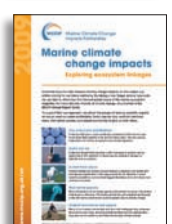
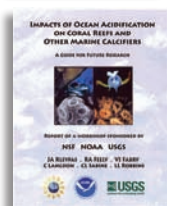
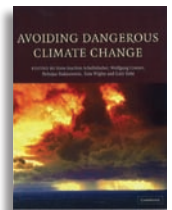
Impacts of Ocean Acidification on Coral Reefs and Other Marine Calcifiers: A Guide for Future Research, a été produit à partir d'un effort conjoint de la NSF, NOAA et USGS. Il s'agit d'un rapport de synthèse de 2006 sur l'état de la science concernant les conséquences biologiques de l'acidification, en particulier lorsqu'ils affectent les organismes calcaires. Le rapport se termine par un programme de recherche recommandé et souligne la nécessité de recherches pour replacer les modifications biologiques à long terme induites par l'acidification dans un contexte historique.

En 2006 un rapport a été publié par la Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique North East (la convention OSPAR). *Effects on the Marine Environment of Ocean Acidification Resulting from Elevated Levels of CO₂ in the Atmosphere*, produit lors de l'atelier d'orientation sur la recherche de l'acidification des océans.

A partir de 2007, au Royaume Uni, la question de l'acidification des Océans a commencé à être régulièrement traitée dans les rapports sur les impacts marins du changement climatique. Il a pris la forme d'un *Annual Report Cards* produites par « Marine Climate Change Impacts Partnership » (MCCIP). En avril 2009, un ouvrage plus important a traité de l'acidification des océans et les liens existants entre les écosystèmes. Ce rapport s'appuie sur le précédent rapport annuel montrant comment la nature de l'écosystème marin interconnectée amplifie les nombreux impacts invisibles du changement climatique.

Le programme des États-Unis sur le carbone des océans et la biogéochimie (PoE), parraine un atelier conjoint entre la NOAA, la NASA et NSF Institution d'océanographie afin d'élaborer une stratégie de recherche américaine. En collaboration avec une centaine de scientifiques, un plan a été élaboré pour enquêter sur les impacts de l'acidification des océans sur quatre écotypes marins: les récifs coralliens, les franges côtières, systèmes tropicaux subtropicaux de la haute mer et des régions de hautes latitudes. La recherche recommandée a été signalée en 2008 dans le document: *Present and Future Impacts of Ocean Acidification on Marine Ecosystems and Biogeochemical Cycles*.

Également en 2008, un document de politique important a été fourni par le gouvernement australien sur le thème: *Position Analysis: CO₂ Emissions and Climate Change: Ocean Impacts and Adaptation Issues*. Ce document a été rédigé afin de décrire le processus de l'acidification, décrire les effets biologiques et humains, et de conseiller le gouvernement australien sur les questions pertinentes à l'élaboration de politiques. Il était accompagné d'une fiche sur *Ocean Acidification: Australian Impacts in the Global Context* qui parle de l'acidification des océans en termes scientifiques: ce qui est connu, ce qui doit être connu et ce qui peut être fait.



Un rapport d'étape supplémentaire a été produit en 2009. *The Monaco Declaration* est soutenue par le Prince Albert de Monaco qui, tout en prenant part aux sessions de travail du deuxième symposium international de l'océan, a exprimé son souhait de voir rédiger la déclaration de Monaco. La déclaration résultante a été approuvée par les 155 scientifiques de 26 pays présents, par tous les chercheurs sur l'acidification des océans et ses répercussions. Elle appelle les décideurs à agir rapidement pour éviter des dommages graves et généralisés, qui sont engendrés par l'augmentation des concentrations de dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂). En agissant rapidement pour intégrer ces préoccupations dans des plans de stabilisation du CO₂ atmosphérique à un niveau de sécurité, non seulement pour éviter des changements climatiques dangereux, mais aussi pour éviter une acidification dangereuse des océans.

Un autre résultat de la même réunion du deuxième symposium international de l'océan dans un monde à forte concentration de CO₂ a été la production d'un *A Summary for Policymakers* sur les nouveaux résultats de la recherche présentés lors du symposium. Des informations plus détaillées sont synthétisées dans un rapport scientifique: *Research Priorities for Ocean Acidification* (2009), disponible à partir de www.ocean-acidification.net.



Quel est le groupe d'utilisateurs sur l'acidification des océans?

Le défi majeur est de veiller à ce que la science contemporaine sur des questions telles que l'acidification des océans traite bien des questions qui ont besoin de réponses et que ces réponses soient obtenues rapidement de la part des politiques et des décideurs afin que des mesures puissent être prises. Le groupe d'utilisateurs sur l'acidification des océans (RUG) s'appuie sur le Royaume Uni, sur l'expérience européenne et internationale dans le suivi et l'échange d'informations entre scientifiques et les utilisateurs finaux.

Le RUG a été créé en 2008 pour soutenir le travail du projet européen sur l'acidification des océans (EPOCA) et il se développe à présent pour la prise en charge des études complémentaires en Allemagne (BIOACID) et au Royaume-Uni, avec des liens forts dans des processus similaires aux États-Unis. Le RUG réunit un large éventail de spécialistes pour relayer le travail d'éminents scientifiques sur le thème de l'acidification des océans, pour faciliter le transfert rapide des connaissances et rendre la science efficace.

Ce guide s'appuie sur l'expérience du RUG, conjuguée à la connaissance des principaux experts sur l'acidification des océans, fournissant ainsi une introduction pour les conseillers en politique et les décideurs sur ces questions critiques et urgentes.

■ **Le RUG est constitué des représentants suivants:** Alfred Wegener Institute of Polar and Marine Research, BP, Euro-Mediterranean Center on Climate Change (CNRS), Canadian Tourist Industry Authority, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Climate Central (Princeton University), Conservation International, Directorate of Fisheries (Norway), Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM), Greenpeace, International Atomic Energy Agency, Leibniz Institute of Marine Sciences (IFM – GEOMAR),



Photo © Marie-Dominique Pizay, CNRS

Des scientifiques et des plongeurs d'EPOCA en train de collecter des organismes vivant sur le sol marin ainsi que des données environnementales dans l'Arctique.

International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), International Union for the Conservation of Nature (IUCN), Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), Marine Institute (Ireland), Natural England, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC), Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Plymouth Marine Laboratory, Rolls Royce, Royal Institution, Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR), Scottish Natural Heritage, Stockholm Resilience Center, The Nature Conservancy, UK Climate Impacts Programme, UNEP World Conservation Monitoring Center, WWF.

■ **Observateurs:** Commission européenne, le partenariat du Royaume Uni sur les impacts du changement climatique sur le milieu marin, la Fondation Oak, Oceana

Guide Online

Pour charger une copie de ce guide introductif sur l'acidification des océans incluant les liens informatiques et davantage d'informations sur les recherches les plus récentes sur ces enjeux: <http://www.epoca-project.eu/index.php/Outreach/RUG/>

Pour plus de détails et de contacts

Plus de détails sur les travaux du groupe d'utilisateurs référent sur l'acidification des océans et sur le projet européen sur l'acidification des océans peuvent être trouvées sur notre site Web <http://www.epoca-project.eu/index.php/Outreach/RUG/>

Si vous souhaitez de plus amples renseignements, veuillez nous contacter à l'adresse suivant: policyguide-epoca@obs-vlfr.fr

Liste des sources et des contributeurs

Ce guide introductif s'appuie sur un ensemble de contributions déjà disponibles sur le thème de l'acidification des océans. Nous reconnaissons les publications qui ont contribué à forger ce guide: Questions fréquentes sur «ocean-acidification.net», le résumé rédigé à l'intention des décideurs du deuxième Colloque sur les océans dans un monde à forte concentration de CO₂, la déclaration de IAP sur l'acidification des océans, le Briefing de la Fondation européenne des Sciences politiques, la déclaration de Honolulu sur l'acidification des océans, un rapport non publié par Nature Conservancy (le dioxyde de carbone engendre l'acidification des océans: un enjeu intemporel) et la newsletter N° 73 concernant le programme international de la Géosphère-Biosphère (Biosphere).

En outre, nous sommes reconnaissants aux scientifiques qui ont contribué à la rédaction de ce rapport:

Jelle Bijma, Alfred Wegener Institute of Polar and Marine Research, Germany

Sarah Cooley, Woods Hole Oceanographic Institution, NA, USA

Scott Doney, Woods Hole Oceanographic Institution, NA, USA

Richard A. Feely, NOAA Pacific Marine Environmental Laboratory, Seattle, WA, USA

Jean-Pierre Gattuso, CNRS, Villefranche-sur-mer, France

Will Howard, Antarctic Climate and Ecosystems Cooperative Research Centre, University of Tasmania, Australia

Ulf Riebesell, IFM-GEOMAR, Kiel, Germany

Donna Roberts, Antarctic Climate and Ecosystems Cooperative Research Centre, University of Tasmania, Australia

Carol Turley, Plymouth Marine Laboratory, UK

Ed Urban, SCOR, Newark, DE, USA

Les comités nationaux de SCOR (le comité scientifique sur la recherche océanique), en Chine, en France et en Espagne, ont aidé à la traduction de ce document en chinois, français et espagnol. Un contribution a été fournie par Christophe Lefebvre de l'Agence française des aires marines protégées pour la traduction du document en français. La version arabe a été traduite par Mohammed Kotb de l'organisation régionale pour la conservation du milieu de la mer rouge et le Golfe d'Aden (PERSGA). Nous les remercions tous pour nous aider à diffuser cette information au-delà des anglophones.

Assurance de qualité

Ce guide a été élaboré par le groupe d'utilisateurs référent travaillant sur l'acidification des océans, avec les meilleurs scientifiques ayant apporté leur contribution. Nous tenons à remercier ces personnes qui ont pris le temps de nous aider à développer ce guide.

Veuillez citer ce document ainsi: Groupe de spécialistes référent sur l'acidification des océans (2009). L'acidification des océans : Les faits. Guide Introductif spécial destiné aux décideurs et conseillers politiques. Laffoley, d'A d. et Baxter, J.M. (eds). Projet européen sur l'acidification des océans (EPOCA). 12pp.

Le guide a été réalisé avec le soutien financier de Natural England et EPOCA. Il est basé sur les meilleures premières approches de communication des partenaires du Royaume Uni sur l'impact du changement climatique sur le milieu marin.

