



HAL
open science

Acidification des océans et changement climatique, les enjeux pour la gestion. Blue is the new green

Héloïse Berkowitz

► **To cite this version:**

Héloïse Berkowitz. Acidification des océans et changement climatique, les enjeux pour la gestion. Blue is the new green. Le Libellio d'AEGIS, 2014, 10 (4), pp.29-35. hal-03543977

HAL Id: hal-03543977

<https://hal.science/hal-03543977v1>

Submitted on 21 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Acidification des océans et changement climatique, les enjeux pour la gestion Blue is the new green

Héloïse Berkowitz
Doctorante, École polytechnique

Une étude récente, rassemblant des chercheurs américains et britanniques, publiée dans le *Bulletin of the American Meteorological Society* (Herring *et al.*, 2014), explique que les changements climatiques actuels jouent un rôle majeur dans l'occurrence et l'aggravation de la majorité des événements météorologiques et climatiques les plus dramatiques de 2013. Les auteurs de cette étude montreraient ainsi le lien entre l'action humaine et un certain type de catastrophes naturelles. Les différentes parties de l'étude indiquent que le changement climatique causé par l'homme – en particulier par la combustion des énergies fossiles – participerait fortement à l'augmentation des risques de neuf événements extrêmes : les déluges aux États-Unis, les inondations dévastatrices dans le nord de l'Inde, ainsi qu'en Californie, les canicules en Australie, au Japon, et en Chine, les épisodes de sécheresse en Nouvelle Zélande, et enfin les canicules et les inondations en Europe de l'Ouest, comme en témoignent d'ailleurs les graves épisodes des mois de septembre et novembre dans le sud de la France.

Cette étude paraît à la suite de deux articles de recherche publiés dans le journal scientifique *Nature Climate Change* qui suggèrent que le réchauffement des océans aurait été largement sous-estimé (Durack *et al.*, 2014 ; Llovel *et al.*, 2014). En effet, depuis 1970, la partie supérieure des océans se serait réchauffée jusqu'à deux fois plus vite qu'escompté. De 2005 à 2013, le réchauffement de ces eaux serait à l'origine d'un tiers de l'augmentation du niveau de la mer – 2,8 mm par an (Llovel *et al.*, 2014). La chaleur emmagasinée par les océans aurait donc progressivement augmenté, parallèlement à l'accroissement des émissions de dioxyde de carbone. Un des risques les plus évidents est donc une augmentation dangereuse du niveau de la mer : c'est l'objet d'une autre étude publiée en octobre par l'Union of Concerned Scientists, qui montre que les villes de la côte Est des États-Unis seraient menacées d'ici 2030 par 150 inondations par an – au lieu de 50 en moyenne aujourd'hui – à cause de la montée dramatique du niveau des mers (de 30 centimètres en moyenne d'après leurs estimations sur cette région) et d'une augmentation du risque d'inondations côtières (Spanger-Siegfried *et al.*, 2014).

Les océans apparaissent comme un problème de gestion encore mal appréhendé, qui nécessite des initiatives intégrant recherches scientifiques, entreprises et politiques publiques. Or, ils sont au cœur des enjeux du développement durable car ils jouent

un rôle essentiel dans la régulation du dioxyde de carbone et dans le changement climatique. Une des conséquences les plus graves du changement climatique, et dont nous montrerons l'ampleur, est l'acidification des océans.

L'océan comme problème de gestion

Sur le site du WRIC-Oceans (World Research Innovation Congress), Alex Rogers, Professeur en Conservation Biology à l'Université d'Oxford, rappelle que dans l'histoire terrestre, les grandes phases d'extinction ont très souvent été associées à des perturbations du cycle carbone. Il note que trois symptômes reviennent constamment dans les analyses géologiques : le réchauffement des océans, la diminution de l'oxygène dans l'eau de mer et l'acidification océanique. Or, le réchauffement a déjà causé des disparitions en masse dans la faune marine, une expansion des zones marines faibles en oxygène a été détectée, et enfin le phénomène d'acidification est déjà largement présent. Selon lui, la seule solution est une réduction immédiate et drastique des émissions globales en CO₂. Les difficultés que soulève cette solution tant pour les sciences de gestion que pour les sciences politiques sont flagrantes.

En juin 2014, le président Barack Obama a lancé un plan de protection des océans qui met en place la plus grande réserve mondiale. Le Pacific Remote Islands Marine National Monument comprend des centaines de milliers de kilomètres dans l'Océan Pacifique. Le principal reproche qui est fait à cette action cependant est que cette zone était déjà peu ou pas exploitée par la pêche et donc peu menacée. La sanctuarisation (Meur-Férec, 2007), cette tendance mondiale qui consiste à protéger des espaces encore immaculés, ne permet pas vraiment de traiter les problèmes de gestion durable soulevés par l'océan et le changement climatique. Une des menaces économiques majeures porte par exemple sur les communautés locales de pêche – à plus forte intensité de main d'œuvre que les grandes firmes de pêche en eau profonde – et donc sur les zones maritimes ou côtières exploitées. Or le processus de sanctuarisation, s'il protège certes, fige surtout les espaces marins et les soustrait à toute tentative d'approche gestionnaire ou économique, en éludant la question de la gestion des espaces véritablement à risques. À l'inverse, sur les côtes en particulier, il pourrait être plus intéressant de penser en termes de réplication des cas de gestion réussie de la protection marine, ou des *best practices*, comme les *satoumis*, étudiés dans ce dossier, mais une réplication adaptée aux objectifs locaux ou régionaux de conservation.

Une plus grande intégration de la recherche et du *business* dans les processus de décisions politiques – régionales ou globales – paraît incontournable car la vitesse du changement climatique et sa gravité rendent nécessaires non seulement une priorisation des efforts de la recherche mais aussi une implication des entreprises (Petes *et al.*, 2014). Un des problèmes majeurs demeure le manque de compréhension des océans et l'impact du changement climatique sur les écosystèmes marins, sur les réseaux de chaînes alimentaires océaniques (c'est-à-dire la superposition de plusieurs chaînes dans un même écosystème), sur les cycles bio-géo-chimiques, etc. La construction du champ océanique et la production de connaissances sont donc urgents, comme en témoigne l'appel à projet du World Ocean Council sur la collecte de données en Arctique, avec une volonté de toujours impliquer le *business* comme la recherche. Par exemple, les industries marines (pêche, tourisme, pétrole et gaz, transport) pourraient participer à une collecte globale en installant systématiquement des balises sur leurs navires. Une fois les données collectées cependant, se posent les questions de leur traitement, de leur utilisation et de leur valorisation – c'est la question principale que soulèvent d'ailleurs

le *Big Data* en général et les nombreuses données océanographiques déjà existantes. Le but, d'un point de vue managérial, pourrait être le développement d'outils de gestion à partir de ces données, en s'inspirant du « *good environmental status* » de la *Marine Strategy Framework Directive* de l'UE de 2008 (Figure 1). On pourrait notamment concevoir des indicateurs en lien avec la biodiversité (impact sur la faune et la flore des routes maritimes, des déversements d'huile, etc). Mais il serait aussi nécessaire de définir des indicateurs cross-sectoriels d'impact sur l'océan : il pourrait être intéressant par exemple de calculer la contribution d'une firme à l'acidification des océans, en fonction de ses émissions carbone rapportées aux émissions globales. On sait d'emblée que l'industrie du ciment serait largement pénalisée par ce genre d'indicateur. Pour les cimentiers, des quotas de CO₂ ont déjà été mis en place, il ne s'agirait donc pas de surajouter de nouveaux indicateurs voire un nouveau système de pénalités, mais d'adapter les outils existants afin de prendre en compte l'acidification et le coût global sur l'économie marine. L'intérêt de ces technologies invisibles (Berry, 1983) est de permettre une lisibilité globale de la performance extra-financière des firmes en matière d'impact sur les océans, et partant de pouvoir fixer des objectifs et de développer un management stratégique plus attentif à des enjeux qui peuvent paraître très éloignés du cœur de métier des entreprises.

Figure 1 : Les critères du « *good environmental status* » définis par la *Marine Strategy Framework Directive* (Potocnik, 2014, p. 81)



Océans et changement climatique : que sait-on ?

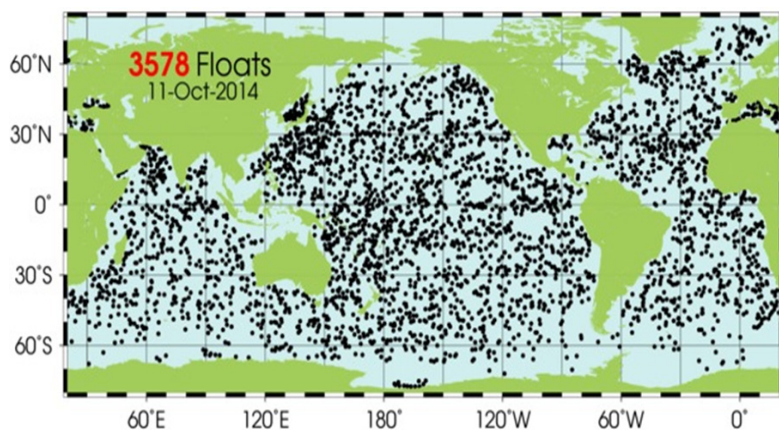
Les océans représentent environ 71% de la surface terrestre, ce qui en fait un élément essentiel de notre système climatique et écologique. L'hydrosphère et ses dynamiques n'échappent pas aux effets des changements climatiques. Or comme susmentionné, le réchauffement des couches supérieures des océans a été largement sous-estimé (Durack *et al.*, 2014). Ces variations sont largement supérieures aux variations de températures naturelles – c'est-à-dire hors effets de l'activité humaine. La mesure des températures océaniques est confrontée à un certain nombre de difficultés qui la rendent plus délicate que la température terrestre. Les scientifiques peuvent utiliser de multiples méthodes afin de collecter ces données océaniques :

- Lâchées depuis des bateaux ou des avions, les sondes peuvent mesurer la conductivité de l'océan, sa température, sa densité et ont l'avantage de fournir des données verticales (de la surface aux eaux profondes) continues, à un

instant t. Cependant, il est difficile d'obtenir des données longitudinales car les sondes sont rarement lâchées à nouveau exactement au même endroit.

- Des appareils immergés peuvent mesurer la température des eaux profondes, et faire surface périodiquement pour transmettre les données par satellite.
- Les corps morts des mouillages peuvent servir de support à des instruments de mesure qui permettent donc de collecter des données à des distances fixes.
- Le plus souvent cependant, les mesures se font à la surface de l'eau et sont combinées avec des mesures terrestres qui permettent de calculer des moyennes globales.

Figure 2 : Positions des flotteurs au 11 octobre 2014 (Argo Information Center)



Un programme international « Argo » entamé en 2000 a pour objectif de mesurer la température des océans de façon systématique : c'est un réseau mondial de plus de 3 000 flotteurs profilers dérivants (Figure 2) qui mesurent la température et la salinité des couches supérieures de l'océan (c'est-à-dire au-dessus de 2 000 m). Les observations contredisent les résultats de modélisations faites jusqu'ici. La partie supérieure des océans se serait en effet réchauffée de 24% à 58% plus vite qu'évalué auparavant. Ainsi, le résultat le

plus inquiétant est que 90% du réchauffement climatique mondial se fait sentir non pas sur terre, mais sous l'eau (DOE/Lawrence Livermore National Laboratory, 2014).

Le réchauffement des océans risque d'accélérer le réchauffement climatique global. Combinée à la fonte des glaces, la dilatation de l'eau chaude de l'océan menace non seulement les populations côtières – habitant à moins de 100 km de la mer, qui représentent 40% de la population mondiale – augmente les coûts d'infrastructures, met en danger la faune polaire mais aussi les récifs coralliens et les pêcheries, et compromet les nappes phréatiques, selon le site Climate Hot Map, de The Union of Concerned Scientists.

En outre, la recherche récente tend aussi à montrer qu'il est nécessaire de prendre en compte le rôle du phytoplancton dans les dynamiques du changement climatique. En effet, le phytoplancton constitue une espèce majeure des écosystèmes marins car il est à la base de la chaîne alimentaire et c'est un organisme photosynthétique qui représente un puits pour le gaz carbonique. Le phytoplancton assure environ 45% de la « productivité primaire ». En effet, le phytoplancton transforme le CO₂ dissous en O₂ et en matière organique grâce à l'énergie fournie par la lumière. Contrairement aux écosystèmes terrestres de plantes, la quantité de phytoplancton dans l'océan est en lien très étroit avec la

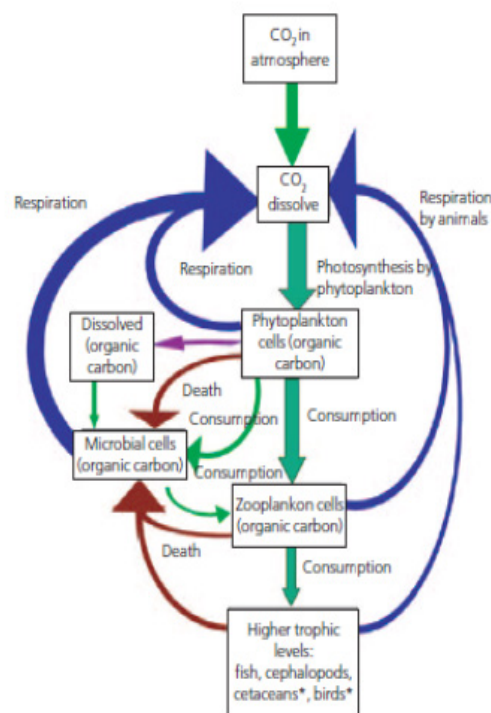


Figure 3 : Importance des micro-organismes (phytoplancton et zooplankton et cellules microbiennes non-photosynthétiques) et des autres animaux dans le cycle carbone marin. L'épaisseur des traits traduit l'importance relative des flux de carbone (Royal Society of Britain, 2005, p. 15)

population des animaux s'en nourrissant (voir Figure 3) : ainsi la moindre variation de phytoplancton influence très rapidement ses prédateurs. Une étude récente (Behrenfeld, 2014) montre que de minuscules variations dans cet équilibre de la relation entre prédateurs et proies peuvent donner lieu à des floraisons ou non massives de phytoplancton, avec de larges impacts sur la productivité océanique, les ressources halieutiques, le cycle carbone et le changement climatique.

Ainsi, non seulement les océans participent à la photosynthèse mais ils absorbent aussi environ un quart des émissions de dioxyde de carbone ce qui conduit à son acidification.

L'ampleur de l'acidification d'origine anthropique des océans et ses risques

L'acidification est un phénomène qui se produit lorsque les océans absorbent le CO₂ de l'atmosphère, elle comporte des risques à la fois environnementaux et économiques.

Dans l'océan on trouve trois formes dissoutes de carbone inorganique : la majorité sous forme de bicarbonate, une faible partie sous forme de carbonate, et une encore plus faible sous forme de dioxyde de carbone ou CO₂. Avec l'augmentation du CO₂ de l'atmosphère qui se dissout dans l'océan, les proportions relatives de chaque forme sont bouleversées, ce qui a pour effet de rendre l'eau plus acide. En réalité, le terme acidification est légèrement impropre, car les océans sont plutôt en train de devenir moins alcalins : le pH de l'eau à la surface est passé de 8,2 à 8,1 en quelques centaines d'années, alors qu'il n'avait pas bougé pendant les dernières 420 000 années, potentiellement depuis des millions d'années (Royal Society of Britain, 2005, p. 7). Cette diminution de 0,1 se traduit en échelle logarithmique du pH en une augmentation de l'acidité de 30%. Or les scénarios long terme de l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) prédisent une diminution du pH de 0,3 à 0,4 d'ici 2100, augmentant ainsi les ions hydrogène (responsables du caractère acide) de 100 à 150% (Orr *et al.*, 2005). Cette augmentation a pour conséquence de diminuer la concentration en ions carbonates. Selon la Royal Society of Britain (2005), il faudrait plusieurs dizaines de milliers d'années pour retrouver une chimie océanique équivalente à ses niveaux préindustriels.

Les ions carbonate sont nécessaires à la fabrication des squelettes de coraux et des coquilles d'animaux marins, ce sont les espèces les plus directement touchées par l'acidification des océans. Ainsi, la diminution des ions carbonate conduit à la réduction de l'aragonite et la calcite dans l'eau, qui servent à la construction des squelettes et coquilles, voire carrément à la dissolution de ces organismes. Les scientifiques estiment que l'océan austral devrait être sous-saturé en aragonite d'ici 2050, et la partie subarctique de l'Océan Pacifique d'ici 2100 (Orr *et al.*, 2005). Les ptéropodes, une minuscule espèce de zooplancton, en bas de la chaîne alimentaire aquatique, sont gravement affectés par ce phénomène. Or si les quantités de ptéropodes diminuent, cela risque d'engendrer un effondrement de certaines ressources halieutiques, notamment des populations de saumons, dont l'alimentation repose sur ces petits organismes. En ce qui concerne le corail, presque 30% des espèces de coraux d'eaux chaudes ont disparu depuis les années 1980, ce qui est largement dû à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des périodes de températures élevées dans l'eau ce qui cause le blanchiment des coraux et leur mort (Royal Society of Britain, 2005).

Un rapport des Nations Unies, tout juste publié par le Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique (2014), évalue le coût de l'acidification des océans à un

trillion de dollars par an d'ici 2100 (si l'on passe en euros, on n'atteint pas le milliard de milliard, ou 10^{18}). La disparition des récifs coralliens tropicaux pourrait en effet mener à la perte des protections côtières, et à des pertes en termes de revenus liés au tourisme et aux industries alimentaires. En effet, le rapport cite comme cas, le taux de mortalité en augmentation dans les écloseries d'huîtres de la côte Nord-Ouest des États-Unis – la pêche des mollusques risque de perdre 110 milliards d'euros annuellement. Ces coûts globaux pourraient être encore plus élevés étant donné que le rapport ne se concentre pas vraiment sur le coût de la protection côtière réduite contre les vagues. Les récifs coralliens absorbent l'énergie des vagues et aident ainsi à réduire l'érosion côtière, dont l'évaluation des coûts n'a pas été faite (Royal Society of Britain, 2005).

L'acidification aux causes anthropiques apparaît donc comme un des défis les plus importants auxquels le monde des océans ait jamais été confronté. Ce phénomène résulte largement des émissions de dioxyde de carbone dues aux activités humaines et appelle des initiatives globales, notamment en recherche car les connaissances en la matière sont encore trop faibles pour comprendre l'impact du changement climatique sur les différentes parties de l'écosystème océanique et vice versa.

Conclusion

L'acidification d'origine anthropique des océans, résultat des émissions excessives de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, semble atteindre des vitesses record à l'échelle des temps géologiques. C'est probablement un des plus grands défis auxquels est confrontée la société contemporaine, et pourtant la connaissance scientifique en demeure bien trop faible.

Les politiques visant à rétablir et à maintenir la « santé » océanique doivent être soutenues par un effort de recherche tant en sciences naturelles qu'en sciences sociales. Une enquête auprès de 2 000 chercheurs dans le domaine de l'océan a identifié trois principales priorités pour la recherche (Rudd, 2014) : la diminution de la productivité océanique, l'accélération du phénomène d'acidification de l'océan, et les effets cumulatifs de multiples facteurs de stress sur la santé des océans. Les priorités des chercheurs en sciences sociales diffèrent cependant et portent sur la nécessité de définir des solutions managériales et sur le besoin de remise en question des valeurs et des comportements. Cet effort est clairement encouragé à l'échelle globale par les instances nationales ou internationales. Par exemple, la National Science Foundation (NSF) aux États-Unis vient de terminer une campagne de financement de la recherche sur l'acidification à hauteur de 9 millions d'euros. Le European Maritime and Fisheries Fund (EMFF) quant à lui finance des politiques de promotion de l'entrepreneuriat et de l'innovation marines en Europe jusqu'en 2020. La collaboration de la recherche, des firmes et des gouvernements est à la base de la nécessaire gouvernance océanique globale.

Ces efforts peuvent paraître vains s'ils ne sont pas combinés à une réduction drastique des émissions de CO_2 . Certes, les amateurs de baignades dans l'océan ne ressentiront pas soudainement une sensation de brûlure en mettant les pieds dans l'eau car l'océan reste encore officiellement de pH basique. Cependant déjà, plus de 50% de la grande barrière de corail australienne, joyau des mers tropicales, a disparu en 27 ans, selon un rapport fondé sur 2 258 études réalisées sur 214 récifs entre 1985 et 2012 par l'AIMS, l'Australian Institute of Marine Science, (De'ath *et al.*, 2012). Nous avons été habitués à penser le « vert » comme chemin du développement durable,

les énergies « vertes » comme opportunités de relancer la croissance économique. Et pourtant, au vu des graves conséquences de l'activité humaine sur les océans, et de leur place incommensurable dans l'économie mondiale, le développement durable ne peut qu'être bleu ■

Références

- Behrenfeld Michael J. (2014) "Climate-mediated dance of the plankton", *Nature Climate Change*, vol. 4, n° 10, pp. 880-887.
- Berry Michel (1983) *Une technologie invisible ? L'impact des instruments de gestion sur l'évolution des systèmes humains*, Paris, Centre de Recherche en Gestion de l'École polytechnique.
- De'ath Glenn, Fabricius Katharina E., Sweatman Hugh & Puotinen Marji (2012) "The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes", *National Academy of Sciences*, vol. 109, n° 44, pp. 17995-17999.
- DOE/Lawrence Livermore National Laboratory (2014) "Ocean warming in Southern Hemisphere underestimated, scientists suggest", *ScienceDaily*, 6th October.
- Durack Paul J., Gleckler Peter J., Landerer Felix W. & Taylor Karl E. (2014) "Quantifying underestimates of long-term upper-ocean warming", *Nature Climate Change*, advance online publication.
- Herring Stephanie C., Hoerling Martin P., Peterson Thomas C. & Stott Peter A. [eds] (2014) "Explaining extreme events of 2013 from a climate perspective", *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 95, n° 9, pp. S1-S96.
- Lllovel William, Willis Josh K., Landerer Felix W. & Fukumori Ichiro (2014) "Deep-ocean contribution to sea level and energy budget not detectable over the past decade", *Nature Climate Change*, advance online publication.
- Meur-Férec Catherine (2007) "Entre surfréquentation et sanctuarisation des espaces littoraux de nature", *L'espace géographique*, n° 1, pp. 41-50.
- Orr James C., Fabry Victoria J., Aumont Olivier, Bopp Laurent, *et al.* (2005) "Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms", *Nature*, vol. 437, n° 7059, pp. 681-686.
- Petes Laura E., Howard Jennifer E., Helmuth Brian S. & Fly Elizabeth K. (2014) "Science integration into US climate and ocean policy", *Nature Climate Change*, vol. 4, n° 8, pp. 671-677.
- Potocnik Janez (2014) "Joined up thinking", *International Innovation*, vol. 141, pp. 78-81.
- Royal Society of Britain (2005) *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*, London, Royal Society.
- Rudd Murray A. (2014) "Scientists' perspectives on global ocean research priorities", *Marine Affairs and Policy*, vol. 1, p. 36.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014) *Global Biodiversity Outlook 4*, Montréal.
- Spanger-Siegfried Erika, Fitzpatrick Melanie & Dahl Kristina (2014) *Encroaching tides: How sea level rise and tidal flooding threaten U.S. East and Gulf Coast communities over the next 30 years*, Cambridge (MA), Union of Concerned Scientists.