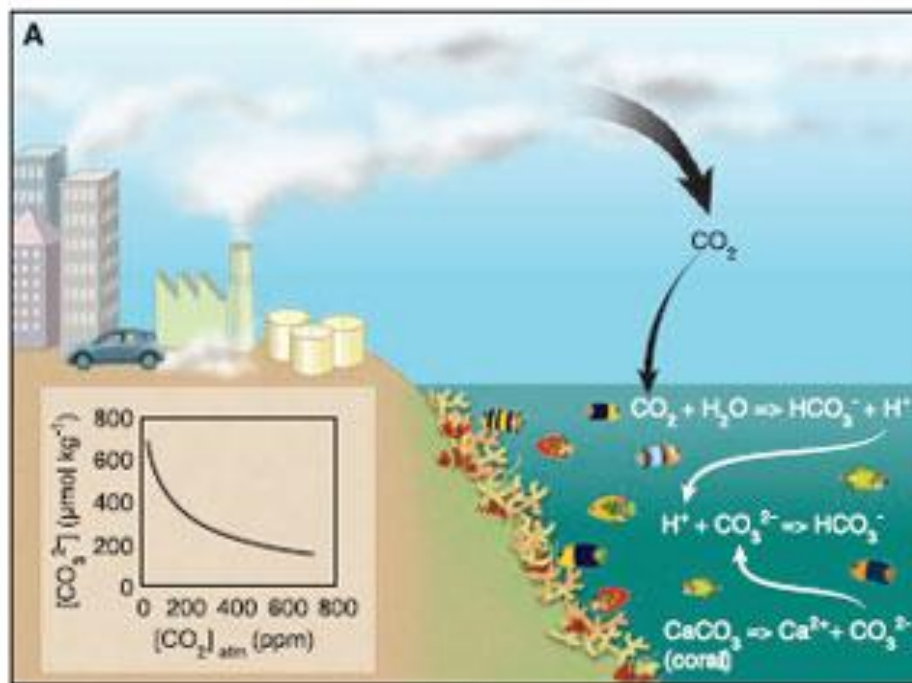


Failles métaboliques. Triple crise dans l'océan Anthropocène (I)



Acidification des

océans depuis le début de révolution industrielle

Par Ian Angus

Les scientifiques les appellent un «trio mortel». Si l'acidification, la perte d'oxygène et la surchauffe ne cessent pas rapidement, la vie dans les océans risque de disparaître massivement.

Introduction. Il est impossible de surestimer l'importance de l'océan pour la vie sur Terre. Couvrant 71% de la surface de la planète, il contient 97% des eaux de surface du monde et est au centre des grands cycles biogéochimiques qui définissent la biosphère et rendent la vie possible. Les plantes marines génèrent la moitié de l'oxygène respirable dans le monde.

Des millions d'espèces animales vivent dans l'océan. Les fruits de mer sont une source primaire de protéines pour trois milliards de personnes, et des centaines de millions travaillent dans l'industrie de la pêche.

Le métabolisme de l'océan – les flux et échanges constants d'énergie et de matière qui se poursuivent depuis des centaines de millions d'années – est un élément vital du système terrestre. Comme l'écrit la célèbre océanographe Sylvia Earle, notre destin et celui de l'océan sont inextricablement liés.

«Nos vies dépendent de l'océan vivant – non seulement des roches et de l'eau, mais aussi de systèmes vivants stables, résistants et diversifiés qui maintiennent le monde sur un chemin régulier favorable à l'humanité.» [1]

«L'océan vivant est le moteur de la chimie planétaire, il régit le climat et le temps, et constitue la pierre angulaire du système de survie de toutes les créatures de notre planète, des étoiles de mer des profondeurs aux armoises du désert... Si la mer est malade, nous le sentirons. Si elle meurt, nous mourrons. Notre avenir et l'état des océans ne font qu'un.» [2]

L'océan vivant est aujourd'hui perturbé à grande échelle. Il a déjà changé, mais jamais depuis qu'un astéroïde a tué les dinosaures, aussi rapidement qu'aujourd'hui. Ces changements sont des éléments majeurs de la transition planétaire hors des conditions qui ont prévalu depuis la fin de la dernière période glaciaire, vers une biosphère profondément différente – de l'Holocène à l'Anthropocène. «Nous entrons dans un territoire inconnu de changement de l'écosystème marin... les implications pour l'océan, et donc pour tous les humains, sont énormes.» [3]

La plupart des récits populaires sur la relation entre l'océan et le changement climatique se concentrent sur la fonte des glaces et l'augmentation du niveau des mers, et ce sont là des questions cruciales. À lui seul, le Groenland perd plus de 280 milliards de tonnes de glace par an, ce qui suffit à modifier de manière mesurable la force de gravité de l'île. Au rythme actuel, d'ici à 2100, la combinaison de la fonte des glaces et de l'expansion des eaux de surface chaudes à l'échelle mondiale inondera les zones côtières où vivent aujourd'hui plus de 630 millions de personnes. Plus d'un milliard de personnes vivent dans des zones qui seront touchées par marées et des ondes tempêtes rendues plus importantes et plus destructrices par l'eau de mer plus chaude. Une action rapide pour réduire les émissions de gaz à effet de serre serait pleinement justifiée, même si la montée des eaux était la seule conséquence attendue du réchauffement climatique.

Cependant, l'augmentation du niveau de la mer sera plus dévastatrice, car les dommages à long terme causés au système terrestre sont dus à ce que le biogéochimiste Nicolas Gruber appelle un «triple coup» de stress sur les océans, causé par la faille croissante dans le métabolisme du carbone de la Terre.

«Au cours des décennies et des siècles à venir, les cycles biogéochimiques et les écosystèmes des océans seront de plus en plus soumis à des pressions exercées par au moins trois facteurs indépendants. L'augmentation des températures, l'acidification et la désoxygénation des océans entraîneront des changements importants dans l'environnement physique, chimique et biologique, qui affecteront alors les cycles biogéochimiques et les écosystèmes océaniques d'une manière que nous commençons à peine à comprendre...

«Le réchauffement, l'acidification et la désoxygénation des océans sont pratiquement irréversibles à l'échelle du temps humain. Cela est dû au fait que le principal facteur de stress pour ces trois facteurs, à savoir l'émission de CO₂ dans l'atmosphère, provoquera des changements planétaires qui nous accompagneront pendant plusieurs centaines, voire milliers d'années.» [4]

D'autres écologistes marins ont décrit le réchauffement des océans, l'acidification et la perte d'oxygène comme un «trio mortel», car lorsqu'ils se sont produits ensemble dans le passé, des extinctions massives de la vie animale et végétale ont suivi [5].

Nous examinerons les éléments du trio mortel séparément, mais il est important de garder à l'esprit qu'ils sont étroitement liés, ont les mêmes causes et se renforcent souvent les uns les autres.

Première partie: mers corrosives

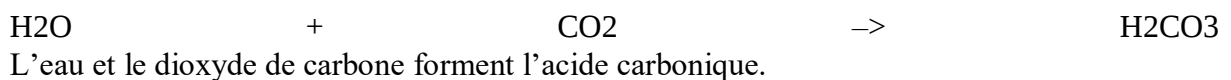
«L'acidification des océans... implique un impact lent mais accéléré qui va éclipser tous les déversements de pétrole qui se sont jamais produits mis ensemble.» – Sylvia Earle [6]

L'acidification des océans a été appelée le jumeau tout aussi diabolique du réchauffement climatique. Tous deux sont causés par l'augmentation radicale du CO₂ atmosphérique, et tous deux sapent les systèmes de maintien de la vie sur Terre.

Il y a toujours un échange constant de molécules de gaz à travers l'interface air-mer, entre l'atmosphère et l'océan. Le CO₂ de l'air se dissout dans l'eau; le CO₂ de l'eau fait des bulles dans l'air. Jusqu'à récemment, les deux flux étaient à peu près équilibrés: la quantité de dioxyde de carbone dans chaque élément n'a pas beaucoup changé depuis des centaines de milliers d'années. Mais aujourd'hui, alors que le CO₂ atmosphérique a augmenté de 50%, le flux est déséquilibré. Il y a plus de dioxyde de carbone qui entre dans la mer que celui qui en sort.

C'est une bonne nouvelle pour le climat. L'océan a absorbé environ 25% des émissions de CO₂ anthropiques et plus de 90% de la chaleur solaire supplémentaire, dont la moitié depuis 1997. Si cela n'avait pas été le cas, le réchauffement climatique aurait déjà atteint des niveaux catastrophiques. Comme l'a écrit Rachel Carson il y a des années, «pour l'ensemble du globe, l'océan est le grand régulateur, le grand stabilisateur des températures... Sans l'océan, notre monde serait visité par des températures extrêmes d'une dureté impensable.» [7]

Mais il y a un prix à payer pour ce service. L'ajout de CO₂ modifie la chimie de l'océan. La formule est très simple:



L'ajout de CO₂ rend l'eau de mer plus acide.

Au cours du siècle dernier, le pH de l'océan est passé de 8,2 à 8,1. Cela ne semble pas beaucoup, mais l'échelle du pH est logarithmique, donc une baisse de 0,1 signifie que les océans sont maintenant environ 30% plus acides qu'ils ne l'étaient auparavant [8]. C'est une moyenne mondiale – les 250 premiers mètres environ sont généralement plus acides que les profondeurs, et l'acidification est plus grave sous les hautes latitudes, car le CO₂ se dissout plus facilement dans l'eau plus froide.

Le taux actuel d'acidification est cent fois plus rapide que tout changement naturel en au moins 55 millions d'années. Si elle se poursuit, l'acidité des océans atteindra trois fois le niveau préindustriel d'ici la fin de ce siècle.

Impact

Étonnamment, étant donné que les préoccupations scientifiques concernant les émissions de CO₂ ont commencé dans les années 1950, l'acidification des océans a fait l'objet de peu d'attention jusqu'à récemment. Elle a été nommée et décrite pour la première fois dans un bref article paru dans *Nature* en septembre 2003, et discutée pour la première fois en détail dans un rapport de la Royal Society de 2005 qui concluait que l'acidification allait bientôt «dépasser la gamme de variabilité naturelle actuelle et probablement atteindre un niveau qui n'avait pas été connu depuis au moins des centaines de milliers d'années et peut-être même beaucoup plus longtemps» [9].

Ces réveils ont déclenché le lancement de centaines de projets de recherche visant à quantifier plus précisément l'acidification et à déterminer ses effets. Bien qu'il y ait encore de grandes lacunes dans les connaissances scientifiques, il ne fait maintenant aucun doute que l'acidification des océans est une menace majeure pour la stabilité du système terrestre, qui pousse vers une sixième extinction massive de la vie sur notre planète [10].

Bien que formellement correct, le mot «acidification» est trompeur, car les océans sont en fait légèrement alcalins, et le changement en cours ne fait que les rendre un peu moins alcalins. Même dans le scénario le plus extrême, un millier de litres d'eau de mer contiendrait toujours moins d'acide carbonique qu'un petit verre de cola.

Cependant, tout comme l'augmentation de la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone à 0,041% provoque un changement climatique mondial, une légère augmentation de la quantité de CO₂ dans l'eau de mer constitue une menace majeure pour les organismes qui vivent dans cette eau. La réduction du pH a déjà considérablement modifié les habitats dont dépendent les plantes et les animaux marins: une nouvelle réduction pourrait être mortelle pour nombre d'entre eux.

Les victimes les plus étudiées de l'acidification des océans sont les calcificateurs, ces nombreux organismes qui prélèvent le carbonate de l'eau environnante pour construire leur coquille et leur squelette. Dans l'eau de mer, l'acide carbonique se combine rapidement avec le carbonate disponible, le rendant indisponible pour la construction des coquilles et des squelettes. L'eau contenant moins d'une certaine concentration de carbonate devient corrosive, et les coquilles et squelettes existants commencent à se dissoudre.

Comme l'écrit Callum Roberts, biologiste spécialiste de la conservation marine, la baisse du pH affaiblit déjà les récifs coralliens, et le problème s'aggraverait encore si les émissions de CO₂ ne sont pas bientôt radicalement réduites.

«Les squelettes des coraux de la Grande Barrière de corail d'Australie se sont affaiblis de façon mesurable au cours des vingt-cinq dernières années et contiennent maintenant 14% de carbonate en moins en volume qu'auparavant... L'acidification des océans a été surnommée «l'ostéoporose des récifs» en raison de cet affaiblissement du squelette...

«Si le dioxyde de carbone dans l'atmosphère double par rapport à son niveau actuel, tous les récifs coralliens du monde passeront d'un état de construction à l'érosion. Ils commenceront littéralement à s'effriter et à se dissoudre, car l'érosion et la dissolution des carbonates dépassent les dépôts. Le plus inquiétant est que ce niveau de dioxyde de carbone sera atteint d'ici 2100 selon un scénario de faibles émissions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.» [11].

Environ 25% de tous les poissons dépendent des récifs coralliens pour se nourrir et s'abriter des prédateurs, de sorte que le changement décrit par M. Roberts serait désastreux pour la biodiversité marine.

Parmi les autres calcifiants affaiblis par l'acidification des océans figurent les huîtres, les moules, les crabes et les étoiles de mer. Les minuscules animaux décortiqués situés au bas de la chaîne alimentaire sont particulièrement préoccupants: si leur nombre diminue, de nombreux poissons et mammifères marins mourront de faim. En particulier:

- Les foraminifères unicellulaires sont abondants dans toutes les parties de l'océan et sont directement ou indirectement consommés par une grande variété d'animaux. Une étude récente a comparé les foraminifères d'aujourd'hui avec des échantillons prélevés il y a 150 ans dans le Pacifique par la célèbre expédition Challenger. Les chercheurs ont constaté que «sans exception, tous les spécimens modernes de foraminifères avaient une coquille sensiblement plus fine que leurs homologues historiques». Pour certains types de foraminifères, l'épaisseur de la coquille est aujourd'hui inférieure de 76% à celle des années 1800 [12].
- Les ptéropodes de la taille d'un petit pois, parfois appelés papillons de mer, vivent principalement dans l'eau froide. Un article de la revue *Nature Geoscience* fait état de «graves niveaux de dissolution des coquilles» chez les ptéropodes vivants capturés dans l'océan près de l'Antarctique, ce qui entraîne une «vulnérabilité accrue à la prédation et à l'infection» [13].

L'interférence avec la formation des coquilles et du squelette n'est peut-être pas l'effet le plus meurtrier de l'acidification des océans. Les systèmes métaboliques de tous les organismes fonctionnent mieux lorsque le niveau de pH de leurs fluides internes reste dans une fourchette étroite. Ceci est particulièrement problématique pour les animaux marins, y compris les poissons, dont le pH du sang a tendance à correspondre à celui de l'eau environnante. Pour certaines espèces, même une petite réduction du pH sanguin peut entraîner de graves problèmes de santé et de reproduction, voire la mort [15]. Un nombre croissant de recherches suggère que l'acidification des océans décimera à elle seule certaines espèces de poissons au cours de ce siècle, provoquant l'effondrement des principales pêcheries [16].

Seules des études à long terme peuvent déterminer exactement comment l'acidification affectera les populations mondiales de poissons, mais attendre des certitudes est dangereux, car une fois que l'acidification se produit, nous sommes coincés avec elle. Une étude récente a confirmé qu'«une fois que l'océan est sévèrement touché par une forte concentration de CO₂, il est pratiquement impossible d'annuler ces altérations à l'échelle d'une génération humaine». Même si un système de géoingénierie inconnu (et probablement impossible) ramène rapidement le CO₂ atmosphérique au niveau préindustriel, «un héritage substantiel d'émissions de CO₂ anthropogéniques persisterait dans les océans pendant une longue période» [17].

Des avertissements ignorés

En 2008, 155 scientifiques de 26 pays ont signé une déclaration «fondée sur des découvertes scientifiques irréfutables» concernant «les changements récents et rapides de la chimie des océans et leur potentiel, d'ici quelques décennies, à affecter gravement les organismes marins, les réseaux alimentaires, la biodiversité et les pêcheries».

«Pour éviter des dommages graves et étendus, qui sont tous dus en fin de compte à l'augmentation des concentrations de dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique, nous demandons aux décideurs politiques d'agir rapidement pour intégrer ces préoccupations dans les plans visant à stabiliser le CO₂ atmosphérique à un niveau sûr afin d'éviter non seulement un changement climatique dangereux mais aussi une acidification dangereuse des océans...

«Les décideurs politiques doivent réaliser que l'acidification des océans n'est pas une question périphérique. C'est l'autre problème de CO₂ qui doit être abordé en même temps que le changement climatique. Le défi du siècle consiste à contenir cette double menace, causée par notre dépendance aux combustibles fossiles...» [18]

En 2009, vingt-neuf éminents scientifiques du système terrestre ont identifié le niveau d'acidification des océans comme l'une des neuf limites planétaires – «conditions préalables planétaires non négociables que l'humanité doit respecter afin d'éviter le risque de changement environnemental délétère, voire catastrophique, à l'échelle continentale ou mondiale» [19].

En 2013, le toujours prudent Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a exprimé sa grande confiance dans le fait que l'absorption du dioxyde de carbone «modifie fondamentalement la chimie des carbonates dans toutes les sous-régions océaniques, en particulier aux hautes latitudes».

«Le réchauffement des températures et la baisse du pH et des concentrations d'ions carbonate représentent des risques pour la productivité de la pêche et de l'aquaculture, ainsi que pour la sécurité des moyens de subsistance régionaux étant donné les effets directs et indirects de ces variables sur les processus physiologiques (par exemple, la formation du squelette, l'échange de gaz, la reproduction, la croissance et la fonction neurale) et les processus des écosystèmes (par exemple, la productivité primaire, la construction des récifs et l'érosion).» [20]

Le rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère, publié en 2019, conclut que «l'océan continue de s'acidifier en réponse à l'absorption continue de carbone par l'océan», qu'«il est très probable que plus de 95% de la surface proche de l'océan a déjà été touchée» et que «la survie de certains écosystèmes clés (par exemple, les récifs coralliens) est menacée» [21].

Malgré les preuves scientifiques accablantes que l'acidification est une menace majeure pour le plus grand écosystème du monde, les gouvernements des pays les plus riches du monde restent silencieux. Le mot «océans» n'est apparu qu'une seule fois dans leur accord de Paris et l'acidification n'a pas été mentionnée du tout. Il reste à voir si la prochaine conférence des Nations unies sur le changement climatique, qui a été reportée à décembre 2021, réagira de manière appropriée – si elle réagit du tout. (Article publié sur le site *Climate & Capitalisme*, le 7 septembre 2020; traduction rédaction *A l'Encontre*)

Note rédaction A l'Encontre: La deuxième partie de «Triple crise dans l'océan Anthropocène» sera publiée à la mi-septembre par Ian Angus.

Voir sur ce site les autres contributions, sur ce thème des «failles métaboliques» sous l'onglet «Ecologie» et notamment [celui en date du 21 août 2020](#).

- [1] Sylvia A. Earle, *The World Is Blue: How Our Fate and the Oceans Are One* (Washington, DC: National Geographic, 2010), 20.
- [2] Sylvia A. Earle, *Sea Change: A Message of the Oceans* (New York: Ballantine Books, 1995), xii.
- [3] Jelle Bijma et al., “[Summary of ‘Climate Change and the Oceans.’](#)”
- [4] Nicolas Gruber, “[Warming Up, Turning Sour, Losing Breath: Ocean Biogeochemistry Under Global Change](#),” *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, May 2011, 1980, 1992.
- [5] Jelle D. Bijma et al., “[Climate Change and the Oceans — What Does the Future Hold?](#)” *Marine Pollution Bulletin* Sept., 2013.
- [6] Interviewed in John Collins Rudolf, “[Q. and A.: For Oceans, Another Big Headache.](#)” *New York Times*, May 5, 2010.
- [7] Rachel L. Carson, *The Sea Around Us* (New York: Oxford University Press, 2018 [1950]), 163-4.
- [8] More precisely, there are 30% more hydrogen (H⁺) ions.
- [9] Ken Caldeira and Michael E. Wickett, “[Anthropogenic Carbon and Ocean pH](#),” *Nature*, Sept. 25, 2003, 365; Royal Society, [Ocean Acidification Due to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide](#) (London: Royal Society, 2005), 39.
- [10] Some argue that a mass extinction has already begun.
- [11] Callum Roberts, *The Ocean of Life: The Fate of Man and the Sea* (New York: Penguin, 2013), 108,110.
- [12] Lyndsey Fox et al., “[Quantifying the Effect of Anthropogenic Climate Change on Calcifying Plankton](#),” *Scientific Reports*, January 31, 2020.
- [13] N. Bednaršek et al., “[Extensive Dissolution of Live Pteropods in the Southern Ocean](#),” *Nature Geoscience*, (December 2012) 881, 883.
- [14] Matthias Hofmann and Hans Joachim Schellnhuber, “[Ocean Acidification: A Millennial Challenge](#),” *Energy & Environmental Science* (September 2010), 1888-89
- [15] This is also true of humans. Our normal blood pH is 7.4: a drop of 0.2 can be fatal.
- [16] See, for example, Martin C. Hänsel et al., “[Ocean Warming and Acidification May Drag down the Commercial Arctic Cod Fishery by 2100](#),” *PLOS ONE*, April 22, 2020. For a summary of research on biological and other effects of ocean acidification, see [An Updated Synthesis of the Impacts of Ocean Acidification on Marine Biodiversity](#), published by the Secretariat of the Convention on Biological Diversity.

- [17] Sabine Mathesius et al., “[Long-term Response of Oceans to CO2 Removal from the Atmosphere](#),” *Nature Climate Change*, December 03, 2015, 1107-14.
- [18] “[Monaco Declaration](#),” proceedings of Second International Symposium on the Ocean in a High-CO2 World (Unesco, 2008).
- [19] Johan Rockström et al., “[Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity](#),” *Ecology and Society* 14, no. 2 (2009)
- [20] Ove Hoegh-Guldberg et al., “The Ocean,” in *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. (Cambridge University Press, 2014), 1658.
- [21] IPCC, [Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate](#) (2019), 59, 66.