



Les effets du dioxyde de carbone (CO₂) sur les océans



Les océans absorbent une partie du CO₂ émis par les humains, atténuant ainsi le réchauffement climatique des [gaz à effet de serre](#) (GES) présents dans l'atmosphère.

Mais cette absorption n'est pas sans conséquences : elle provoque une acidification de l'eau de mer et une diminution des ions carbonate disponibles, deux phénomènes qui représentent une menace aussi importante que le réchauffement de la planète.

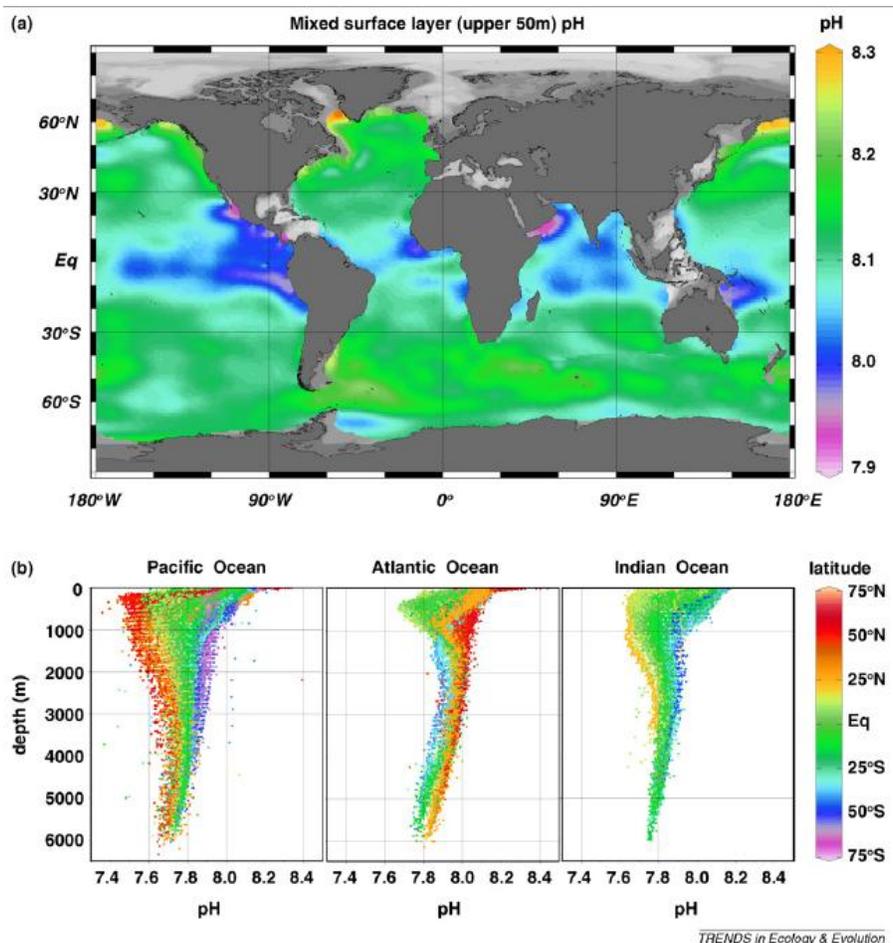
En effet, ces modifications chimiques ont et auront des répercussions importantes sur la faune et la flore marine, notamment pour les organismes qui possèdent une coquille ou un squelette de carbonate de calcium.

Le pH des océans n'est pas uniforme

Le pH (ou potentiel d'hydrogène) mesure le caractère acide ou basique de l'eau. Le pH est compris entre 0 et 14. Les valeurs inférieures à 7 correspondent à de l'eau acide, les valeurs supérieures à 7 à de l'eau basique. Les conditions dites physiologiques correspondent à un pH de 7.4.

Le pH moyen des océans est de 8,16, soit légèrement basique. Cependant, le pH n'est pas le même partout autour de la planète et il varie avec la profondeur. La figure ci-dessous montre les variations en fonction de la longitude et la latitude (figure du haut) et en fonction de la profondeur (figure du bas).





Valeur du pH océanique : variations (a) horizontales et (b) en fonction de la profondeur. (Source : Pelejero et coll. Paleo-perspectives on ocean acidification, *Trends in Ecology and Evolution* (2010) **25** 233)

Les variations horizontales sont le résultat principalement des variations de températures et du brassage vertical des eaux océaniques. Certaines zones sont particulièrement soumises à ce régime dans lequel les eaux froides du fond marin, riches en carbone inorganique dissout et caractérisées par un pH bas, remontent vers la surface. Ce phénomène est bien visible sur la côte est de l'océan Pacifique, près des côtes de la Somalie et du sultanat d'Oman et sur la côte ouest du continent africain.

Pour les régions moins affectées par ce mouvement d'advection, les régions où la production biologique est la plus importante

tendent à être caractérisées par les valeurs de pH les plus hautes. La fixation du carbone inorganique dissout par le phytoplancton est transporté vers les profondeurs (un phénomène appelé « pompe biologique »), ce qui accroît le pH de surface.

Ce processus influence aussi le pH des profondeurs. Comme le montre la figure du bas, le pH a tendance à diminuer lorsqu'on descend vers le fond océanique. On peut observer également une réduction progressive de l'étendue de la variation du pH pour des couches d'eau situées plus en profondeur. Cette caractéristique laisse supposer que les contraintes que peut



Planète
viable

<http://planeteviable.org/> | Les résultats de la recherche en science du développement durable

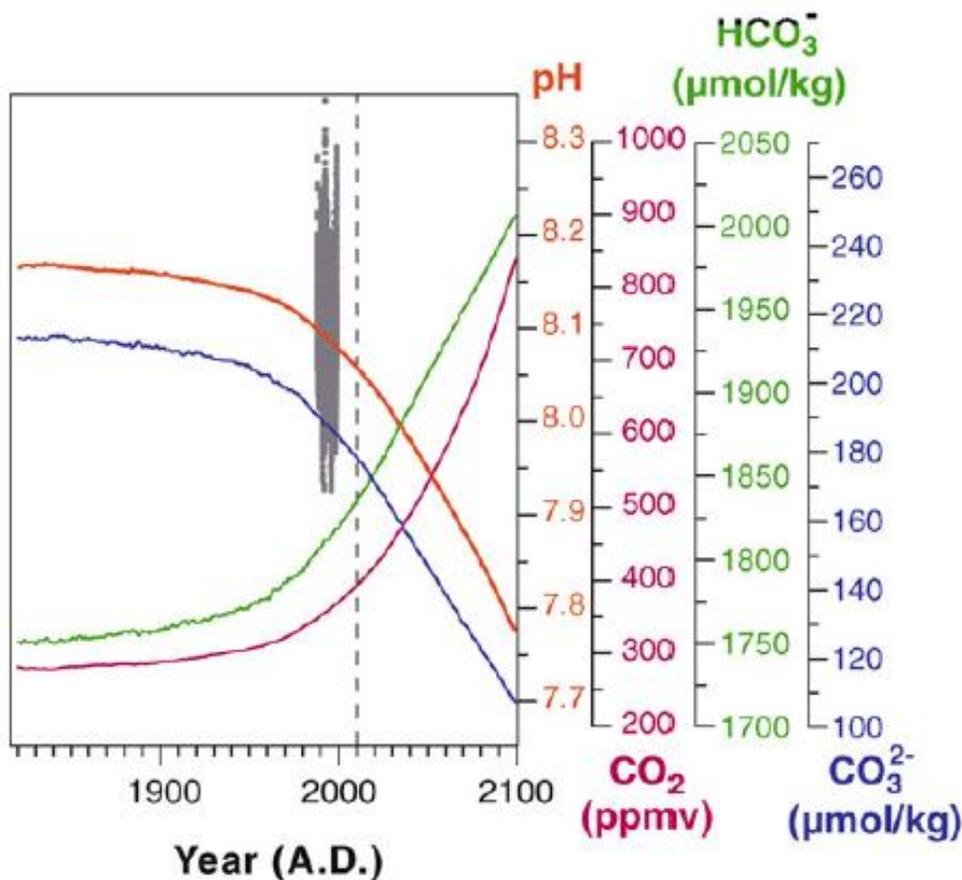
supporter la faune et la flore benthique et que leur tolérance aux variations de leur environnement sont plus faibles que celles des espèces vivant plus en surface. Cet aspect est certainement à prendre en considération quand on considère les changements climatiques et la détérioration de l'environnement.

Le pH des océans présente également des variations cycliques d'amplitude et de périodicité différentes qui dépendent de la température, des courants marins verticaux et horizontaux, du ruissellement des fleuves, de la fonte des glaces, de la photosynthèse et

de la calcification. Ces variations sont accentuées près des côtes.

Le CO₂ dissout diminue le pH des océans

Les océans absorbent 50% du dioxyde de carbone (CO₂ ou gaz carbonique) émis par les énergies fossiles, soit 30% du CO₂ si on considère les changements d'utilisation des terres comme la déforestation. Ainsi, à l'instar des aérosols présents dans l'atmosphère, les océans limitent l'augmentation de la température planétaire résultant de l'[effet de serre](#).



Variation du pH océanique et de la concentration du CO₂ atmosphérique entre 1800 et aujourd'hui, et les variations prédites selon le scénario d'émissions de CO₂ A2 du GIEC. Le graphe montre en parallèle l'évolution de la concentration en carbonate et en bicarbonate. La zone grise correspond à un ensemble de mesures réalisées à travers le monde. (Source : Pelejero et coll. Paleo-perspectives on ocean acidification, *Trends in Ecology and Evolution* (2010) **25** 233).



Planète
viable

<http://planeteviable.org/> | Les résultats de la recherche en science du développement durable

À mesure que du CO_2 se dissout dans les mers et océans, l'eau devient plus acide (son pH diminue). La réaction en cause produit de l'acide carbonique (H_2CO_3) comme suit :



Et celui-ci se dissout dans l'eau en formant des ions bicarbonate (HCO_3^-) selon la réaction :



C'est l'augmentation de la concentration en protons H^+ qui réduit le pH de l'eau ($\text{pH} = \log [\text{H}^+]$).

La valeur normale du pH moyen des océans, si on se réfère aux époques géologiques, est 8,16, une valeur correspondant à un pH très légèrement basique. Depuis l'ère industrielle, le pH a diminué de 0,1 unité, une modification très significative. Actuellement, la diminution du pH est d'environ 0,017 à 0,02 unités par décennies, mais le phénomène est plus rapide aux hautes latitudes.

Un tel changement du pH affecte les organismes, les écosystèmes marins et les réseaux trophiques. Par exemple, le stade larvaire de certains organismes est très dépendant de son environnement physico-chimique. On observe ainsi une diminution de la fertilisation causée par la perturbation de la structure squelettique ou de la coquille de certaines larves.

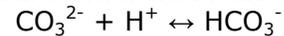
La réduction du pH affecte également l'éclosion des larves, leur développement, et l'étape de colonisation de leur milieu. Elle peut également altérer des processus tels que le transport des ions, l'activité des enzymes et la structure des protéines. De plus, les détériorations subies par une espèce peuvent avoir des répercussions sur la chaîne alimentaire et donc sur d'autres espèces.

Par ailleurs, la valeur du pH océanique n'est pas uniforme ni autour du globe, ni en profondeur, ni dans le temps. La diminution du pH affecte et affectera donc plus certaines régions que d'autres. Les latitudes les plus

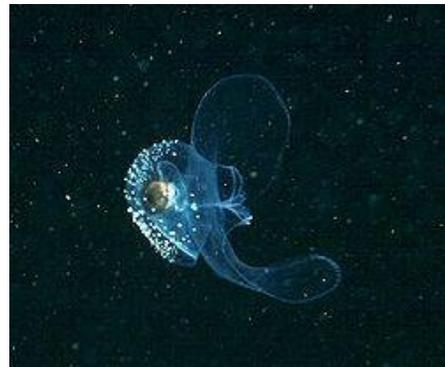
élevées par exemple connaîtront les changements les plus importants alors que les tropiques seront moins affectés.

Le CO_2 dissout affecte la disponibilité des ions carbonate

En plus des réactions ci-dessus résultant de la dissolution du CO_2 dans l'eau, les ions hydrogène H^+ se lient aux molécules de carbonate pour former du bicarbonate :



Le bilan net des réactions est une perte progressive d'ions carbonate. Les conséquences pour les organismes qui dépendent de la calcification (ptéropodes, foraminifères, coccolithophoridés, coraux, etc.) sont critiques.



Un ptéropode
(téléchargé sur Wikipédia le 20100510.
Image originale : United States Geological
Survey (<http://pubs.usgs.gov/of/of00-304/html/docs/chap11/> USGS))

En effet, de nombreux organismes marins précipitent le carbonate de calcium sous la forme de calcite ou d'aragonite. La stabilité de ces structures est directement reliée à l'état de saturation des océans en ions calcium (Ca^{2+}) et carbonate. Cet état de saturation se mesure par :

$$\Omega = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] / K_{sp}, \text{ où } K_{sp} \text{ est la solubilité de chaque phase minérale.}$$



Planète
viable

<http://planeteviable.org/> | *Les résultats de la recherche en science du développement durable*

- Si $\Omega > 1$ (conditions actuelles), la précipitation du calcium est thermodynamiquement favorisée
- Si $\Omega < 1$ (conditions de sous-saturation), la précipitation est défavorable

Il est à noter cependant que la valeur de Ω optimale dépend de l'espèce considérée. Les barrières coralliennes par exemple demandent des valeurs de Ω supérieures à 3,3 pour leur développement, car dans ce cas le processus de calcification doit être supérieur au taux d'érosion.

À mesure que les océans absorbent le CO_2 , l'état de saturation diminue, altérant le mécanisme de calcification et ainsi le développement de certains organismes. Ces problèmes risquent de conduire *in fine* à des déplacements de population d'espèces et à des perturbations de la chaîne alimentaire.

Les barrières de coraux sont les organismes les plus à risque. Cela vient notamment du fait que le taux d'érosion du corail représente 90% du taux de calcification. Par suite, une modification même mineure du taux de calcification peut se répercuter en un bilan de carbonate négatif pour le corail. L'effet est accru lorsque par une hausse des températures. Le corail ne peut alors se renouveler et disparaît progressivement. C'est exactement ce que nous vivons à l'heure actuelle.

Il est inquiétant de constater que la barrière corallienne des tropiques a diminué de 30 à 50% depuis le début des années 80. Les scientifiques prédisent une disparition totale du corail si la concentration en CO_2 dans l'atmosphère approche 450 ppm (la teneur actuelle est 380 ppm, elle était de 280 ppm avant la révolution industrielle).

Les conséquences de cette disparition incluent la perte de milliers d'espèces qui ont le corail pour habitat. La disparition du corail va également modifier les côtes puisqu'ils

représentent des barrières naturelles qui protègent les mangroves et les herbiers marins. Le corail est certainement une sentinelle pour nous avertir des profondes modifications du milieu marin qui s'opèrent actuellement.

Sources :

- Pelejero C., Calvo E. et Hoegh-Guldberg O. Paleo-perspectives on ocean acidification, *Trends in Ecology and Evolution* (2010) **25** 332-344
- The Ocean Acidification Network <http://ioc3.unesco.org/oanet/FAQacidity.html>



Planète
viable

<http://planeteviable.org/> | Les résultats de la recherche en science du développement durable