



Acidification des océans et impacts sur les écosystèmes marins

[Laurent Bopp] Au cours des séances précédentes, vous avez déjà étudié le rôle clé de l'océan dans le système climatique.

Ce rôle est particulièrement important dans le cas du changement climatique anthropique et ceci pour deux raisons majeures : l'océan absorbe d'abord la très grande majorité de l'énergie en excès dans le système climatique, énergie qui est générée par l'augmentation des gaz à effet de serre, mais l'océan absorbe aussi une part importante de nos émissions de carbone.

En absorbant chaleur et carbone, l'océan nous fait gagner du temps, il nous évite une catastrophe climatique encore plus grande. Vous voyez sur ce premier graphe l'augmentation du CO_2 dans l'atmosphère depuis la fin des années 1950. La concentration de CO_2 a augmenté de plus de 30% en raison des émissions anthropiques de carbone et chaque année, l'océan a absorbé près de 25% de ces émissions anthropiques, ralentissant ainsi la vitesse à laquelle le CO_2 augmente dans l'atmosphère et perturbe le climat.

Mais cette absorption n'est pas sans conséquences, on peut même dire que c'est une bien mauvaise nouvelle pour de nombreux organismes marins. C'est ce que je vais vous expliquer aujourd'hui en vous parlant de l'acidification de l'océan.

Une fois dissous dans l'eau de mer, le CO_2 forme un acide faible, l'acide carbonique de formule H_2CO_3 , qui va pouvoir se dissocier en libérant des protons H^+ . Et donc plus l'océan absorbe de CO_2 plus la concentration d' H^+ plus augmente, c'est exactement ce que l'on mesure avec le pH ou potentiel hydrogène. Attention quand le pH baisse, vous avez de l'eau de plus en plus acide et qui contient de plus en plus d'ions H^+ . Attention également, l'échelle de pH c'est une échelle logarithmique : à une baisse d'une unité pH correspond une multiplication par 10 des concentrations d'ions H^+ dans le milieu considéré.

Regardez cette deuxième série de courbes : le pH de l'eau de surface est mesuré régulièrement au large de plusieurs stations marines, dans l'océan Pacifique à

Hawaï, mais aussi dans l'Atlantique aux Bermudes et aux Canaries. Ces mesures régulières démarrent à la fin des années 1980 ou au début des années 1990, nous avons donc 30 ans de recul sur l'évolution du pH. Vous le voyez ici, le même signal se dégage dans le Pacifique et dans l'Atlantique : le pH baisse, c'est le signal de l'acidification de l'océan, signal que l'on explique facilement par l'absorption de carbone anthropique par l'océan. Vous vous en doutez, si nous continuons à émettre du CO₂ au cours des prochaines années, l'acidification de l'océan va se poursuivre.

C'est ce que vous montre cette courte animation obtenue grâce à des modèles climatiques. Vous voyez pour deux scénarii d'émissions de CO₂, l'évolution de la température et du pH des eaux de surface au cours du XXI^e siècle : à gauche, un scénario où les émissions continuent à augmenter fortement et à droite, un scénario où nous parvenons à faire baisser nos émissions d'ici la fin du XXI^e siècle.

À partir de 2050 les deux mondes divergent, avec deux situations contrastées en fin de siècle. Dans le cas où les émissions continuent à croître, la température de surface augmente et le pH baisse de 0,4 unités en 2100. C'est une modification très importante de la chimie de l'eau de mer, cela correspond à une augmentation de la concentration des ions H⁺ de 100 à 150% à la fin du siècle.

Les conséquences pour la vie marine pourraient être dramatiques, nous en parlerons tout à l'heure. Dans le cas où nous maîtrisons nos émissions de carbone, la baisse du pH est bien moindre, nous limitons non seulement le changement climatique et le réchauffement de notre planète, mais aussi l'acidification de l'océan.

Alors pourquoi devons-nous nous inquiéter de cette acidification ? Les organismes marins les plus menacés sont sans doute les espèces calcifiantes, celles qui fabriquent des squelettes, des tests ou des coquilles en calcaire ou carbonate de calcium. Vous en voyez toute une série d'exemples sur cette planche : des coraux tropicaux d'eaux chaudes, des coraux profonds d'eaux froides, des oursins, des bivalves et en particulier des espèces utiles à l'Homme, comme les moules ou les huîtres, mais aussi des organismes microscopiques comme des foraminifères ou des algues microscopiques au nom barbare, les coccolithophoridés.

Cela va vous paraître contre-intuitif mais plus l'océan contient de carbone, plus il est difficile pour ces organismes de calcifier, c'est-à-dire de synthétiser leur coquille

ou squelette et ceci alors que la calcification consiste à précipiter un ion calcium avec un ion carbonate qui contient du carbone. En fait, quand le CO_2 en excès se dissout dans l'eau de mer, il réagit avec de l'eau, des ions carbonates, pour donner des ions hydrogénocarbonates. Plus l'océan absorbe du CO_2 , plus la concentration de carbonate diminue, il y a donc de moins en moins d'ions carbonates disponibles pour la calcification. Cette diminution des ions carbonates est une autre manifestation de ce qu'on appelle l'acidification de l'océan.

Beaucoup d'études scientifiques menées sur des organismes marins différents ont montré les impacts de l'acidification sur le comportement, la reproduction et la survie de ces organismes. Beaucoup de scientifiques étudient par exemple la réponse des espèces coralliennes.

Mais je vous montre ici le comportement d'un autre type d'organismes calcifiants, les ptéropodes, ce sont des petits escargots de mer, leur coquille fait seulement quelques millimètres. Sur cette courte vidéo vous voyez évoluer deux ptéropodes : à gauche dans une eau normale et à droite dans une eau acidifiée qui correspondrait à la situation à la fin du XXI^e siècle, dans le cas où, un scénario où les émissions continuent à augmenter.

Dans l'eau acidifiée les mouvements du ptéropode sont beaucoup plus difficiles et la coquille montre des signes de dissolution en raison de cette acidification. Vous ne le savez peut-être pas mais ces ptéropodes sont à la base de nombreuses chaînes alimentaires dans les océans polaires de l'hémisphère nord et de l'hémisphère sud. On se pose donc aujourd'hui beaucoup de questions sur l'évolution potentielle des écosystèmes marins associés à ces espèces.

Pour continuer avec les mauvaises nouvelles, il vous faut imaginer que l'acidification de l'océan n'est pas la seule menace qui pèse sur les écosystèmes marins. Au réchauffement de l'eau de mer dont nous avons déjà parlé et qui modifie l'aire de répartition de nombreuses espèces marines, il faut aussi parler d'un autre phénomène : la désoxygénation de l'océan.

En effet avec le changement climatique, l'océan perd de l'oxygène, en partie parce qu'il est plus chaud et que le gaz O_2 est moins soluble dans l'eau chaude et cette désoxygénation pourrait impacter de nombreuses espèces, en particulier celles qui ont besoin d'oxygène pour la respiration.

Enfin pour projeter l'évolution des écosystèmes marins au cours des prochaines

décennies, il faudrait aussi tenir compte d'autres perturbations parallèles au changement climatique, comme la pollution plastique ou la surpêche.

Même en si peu de temps, je ne peux pas terminer sans parler de solutions pour lutter contre l'acidification. Je commence par une solution peu glorieuse : la fuite.

Certains industriels ostréicoles de la côte ouest des États-Unis devant la baisse des rendements en lien avec l'acidification, se sont déplacés dans d'autres régions du monde, comme à Hawaï où l'acidité naturelle de l'eau de mer est moins importante. On peut aussi aider ces industriels à mieux anticiper les variations naturelles de l'acidité, pour qu'ils évitent d'exposer les larves de bivalves à des eaux plus acides.

Enfin, certains ont même imaginé corriger de façon artificielle l'augmentation de l'acidité de l'eau de mer en ajoutant à l'eau de mer des composés alcalins comme ce que l'on fait dans une piscine pour corriger le pH. Cela peut sembler réaliste à toute petite échelle. À l'échelle de l'océan mondial les quantités impliquées seraient juste astronomiques.

Évidemment, vous l'avez compris la seule vraie solution consiste à limiter puis réduire fortement les émissions de CO₂. Cela permettrait d'atténuer à la fois le changement climatique et l'acidification de l'eau de mer.