

L'Océan au cœur de l'Humanité

Ce document est la transcription révisée, chapitrée et illustrée, d'une vidéo du MOOC UVED « L'Océan au cœur de l'Humanité ». Ce n'est pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots et l'articulation des idées sont propres aux interventions orales des auteurs.

Le puits de carbone et l'acidification de l'océan

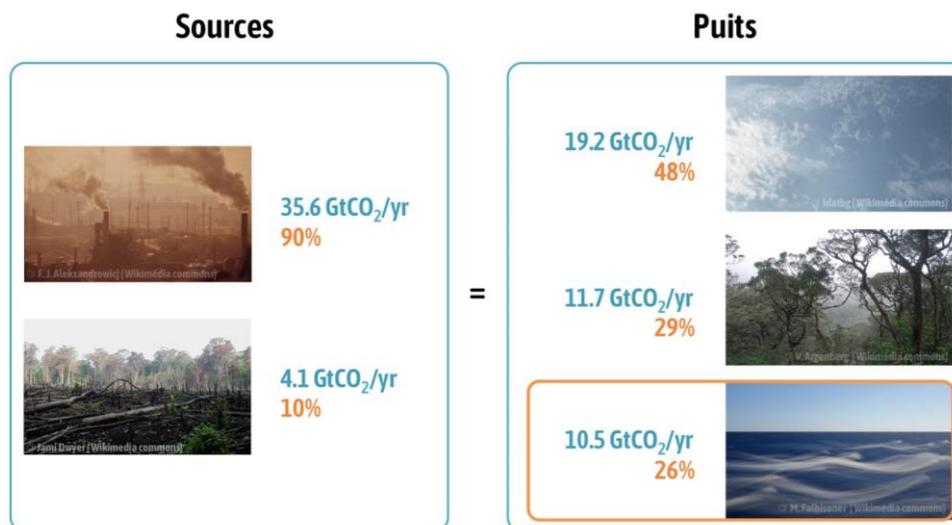
Laurent Bopp

Directeur de recherche au CNRS à l'Institut Pierre Simon Laplace et directeur du département de Géosciences à l'École normale supérieure

L'océan est un acteur essentiel dans le système climatique, en particulier en raison de son rôle dans le cycle du carbone planétaire. En effet, il absorbe des quantités très importantes de CO₂ chaque année, et cette absorption de carbone permet de limiter la vitesse à laquelle le CO₂ augmente et le climat change.

1. L'absorption de carbone par l'océan en chiffres

Si on regarde les chiffres des derniers dix ans, par exemple, nos émissions de carbone, qui sont liées à la combustion du pétrole, du charbon et du gaz, qui sont liées aussi à la déforestation, sont autour de 40 milliards de tonnes de CO₂ par année. Sur ces 40 milliards de tonnes de CO₂ par année, seule la moitié s'accumule dans l'atmosphère et est responsable de l'augmentation de l'effet de serre et du changement climatique. Et l'océan joue un rôle clé car il absorbe plus de 25 % de ces émissions de CO₂ chaque année, et en absorbant du CO₂, il ralentit la vitesse à laquelle le CO₂ augmente.

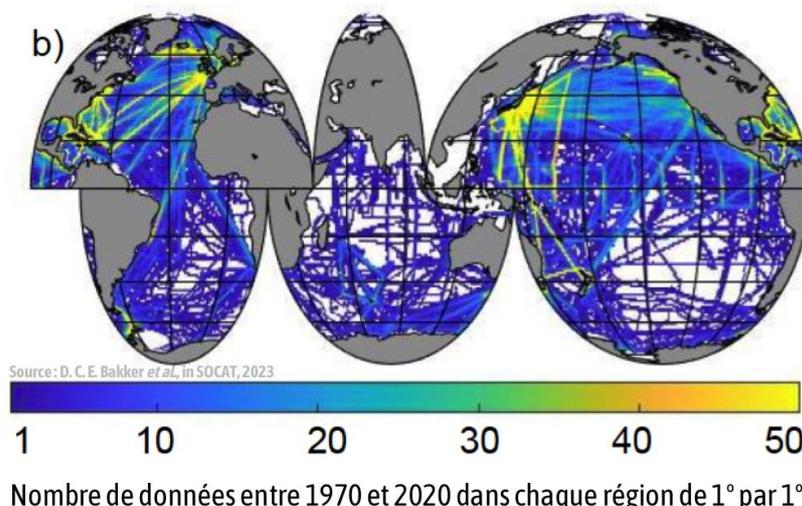


2. Mesure de la quantité de carbone absorbée par l’océan

Comment on est capables de mettre des chiffres, de mesurer, d'estimer la quantité de CO₂ qui est absorbée par l’océan aujourd’hui ? On utilise deux méthodes principales.

La première est basée sur des observations directes de la mesure du CO₂ dans les eaux de surface océaniques. Les campagnes océanographiques menées par les scientifiques depuis des dizaines d’années ont permis de collecter et de mettre en commun plus de 35 millions de points de données. A partir de ces 35 millions de points de données, on est capables, en utilisant des méthodes statistiques, d’extrapolation, de calculer, à l’échelle de chaque mois et à l’échelle de la planète, la quantité de CO₂ qui est absorbée par l’océan chaque mois, chaque année, et donc de calculer ce puits de carbone dans l’océan.

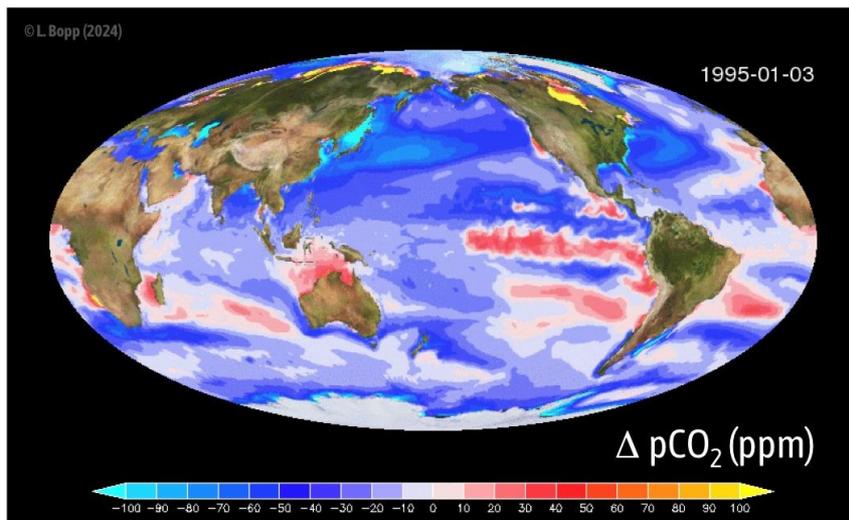
Première méthode : mesure de la pCO₂ océanique



On utilise une autre méthode, qui est construite à partir de modèles numériques, de modèles du cycle du carbone dans l’océan. On représente, grâce à ces outils, la circulation de l’océan,

mais aussi les principaux processus qui régissent le cycle du carbone dans l'océan, le rôle de la biologie, du plancton, le rôle de la physique, de la circulation, et puis la chimie du carbone. A partir de la représentation de ces différents processus, on est capables de calculer combien l'océan absorbe de CO₂ en fonction des conditions météorologiques : de la vitesse des vents, de l'augmentation des températures, de la variation des précipitations au-dessus de l'océan.

Seconde méthode : utilisation des modèles du cycle du carbone



La bonne nouvelle est que ces deux types d'estimations convergent. Elles nous montrent que, au cours des dernières décennies, l'océan a absorbé de plus en plus de carbone, avec, aujourd'hui, près de dix milliards de tonnes de CO₂ absorbées au cours des dix dernières années. L'océan est donc un acteur majeur du système climatique. Il est un allié face au changement climatique, et il réduit la vitesse à laquelle le CO₂ augmente et le changement climatique se met en place.

3. Le processus d'absorption de carbone par l'océan

Pourquoi est-ce que l'océan absorbe chaque année des quantités très importantes de CO₂ ? Le mécanisme principal est physico-chimique. Le CO₂ augmente rapidement dans l'atmosphère, et l'océan absorbe cet excès de CO₂ atmosphérique dans ses eaux de surface. Une fois que le CO₂ est absorbé dans les eaux de surface, il se combine avec des molécules d'eau pour donner des ions, en particulier des ions bicarbonate, qui ensuite vont être transportés, par les courants marins, en profondeur. Ce sont vraiment les processus physico-chimiques qui expliquent le puits de carbone. Le rôle de la biologie est important pour réguler le cycle du carbone naturel, mais il ne joue vraiment qu'au second ordre pour expliquer le puits de carbone océanique aujourd'hui.

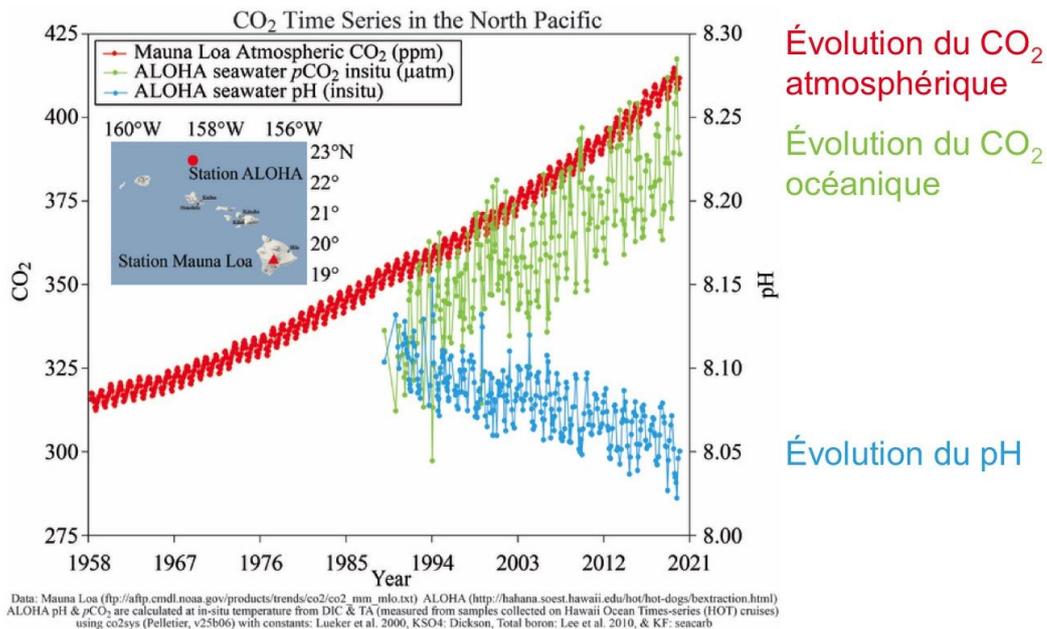
On a encore beaucoup de questions. On a des questions, en particulier, sur l'évolution de ce puits de carbone au cours des prochaines décennies. On a besoin de connaître la quantité de CO₂ qu'absorbera l'océan demain, parce que c'est une donnée importante pour comprendre à quelle vitesse il faudrait réduire nos émissions pour stabiliser la température globale. L'océan va continuer à absorber du carbone, principalement en fonction de la vitesse à laquelle le CO₂ augmente dans l'atmosphère. C'est le principal moteur du puits : plus le CO₂ augmente, plus l'océan absorbe du carbone.

Mais beaucoup d'autres phénomènes viennent moduler cette absorption de carbone et viennent réduire l'efficacité de l'océan à absorber du carbone. Parmi ces phénomènes, on peut mentionner la chimie du carbone dans l'eau de mer : plus l'océan absorbe du carbone, plus il s'acidifie. Et quand il s'acidifie, il est de moins en moins efficace pour absorber du CO₂. C'est le premier phénomène qui va limiter l'efficacité de l'océan à absorber du CO₂. Ensuite, on a d'autres processus qui sont liés au changement climatique lui-même. Le fait que l'océan se réchauffe va faire baisser la solubilité du gaz dans les eaux de surface. Or si la solubilité du gaz baisse, ça diminue l'efficacité de l'océan à absorber du carbone. Enfin, on a d'autres processus qui sont liés aux modifications de la circulation de l'océan. Plus l'océan se réchauffe, en surface principalement, plus il va être stratifié et plus il va être moins bien ventilé. Or un océan plus stratifié et moins bien ventilé absorbe moins bien le carbone et le transfère moins facilement dans les eaux en profondeur, et c'est donc une baisse d'efficacité du puits en surface. Enfin, il y a toute une série de processus pour lesquels on a beaucoup d'incertitudes. C'est la réponse de la pompe biologique, de la quantité de CO₂ prélevée par le plancton et de la quantité de carbone qui va être envoyée en profondeur par cette pompe biologique. On ne sait pas tellement comment ces phénomènes vont répondre au changement climatique.

4. L'acidification de l'océan

L'océan est un puits important de carbone, et il sera sans doute encore un puits important de carbone dans les années à venir. Mais le revers de la médaille, c'est l'impact potentiel de ce puits de carbone sur les écosystèmes marins. On parle d'acidification de l'océan.

Quand l'océan absorbe du CO₂, ce CO₂ se combine avec des molécules d'eau pour donner des ions et pour donner des protons, des ions H⁺, qui sont le signe de l'acidité de l'eau de mer. Au fur et à mesure que le CO₂ augmente dans l'atmosphère, on voit le CO₂ qui augmente également en surface, et en parallèle, on voit le pH de l'eau de mer qui diminue.

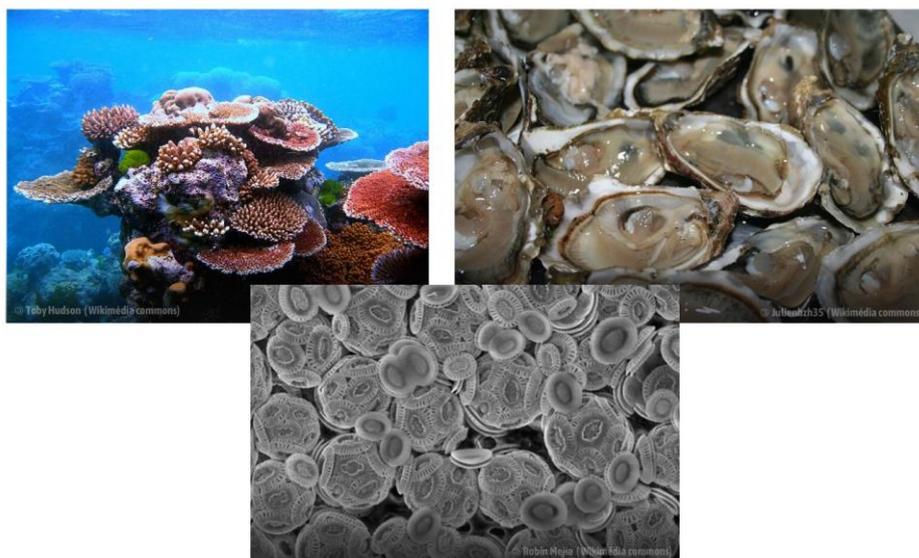


C'est un processus très bien connu d'un point de vue théorique, et c'est un phénomène qu'on observe aussi en mesurant le CO₂ et le pH dans les eaux de surface de l'océan mondial.

Pourquoi est-ce que l'acidification pose un problème aux organismes marins ? Elle pose un problème principalement aux organismes dits calcifiants : tous les organismes qui fabriquent, produisent des squelettes ou des coquilles en calcaire. Pourquoi ?

Quand on produit du calcaire, on utilise des ions : les ions carbonate, CO₃²⁻. Les réactions un peu complexes de la chimie du carbone dans l'eau de mer font que, quand l'océan absorbe du CO₂, il produit des ions H⁺, c'est l'acidification, mais il consomme des ions carbonate. Plus on a de CO₂ dans l'eau de mer, moins on a d'ions carbonate, et plus il est compliqué, pour les espèces calcifiantes, de fabriquer, de produire, ces coquilles et ces squelettes en calcaire.

Ces espèces calcifiantes sont très nombreuses dans l'eau de mer. On pense évidemment aux organismes coralliens, qui constituent les grands récifs coralliens des mers chaudes tropicales. Mais on a d'autres organismes plus près de nos côtes, par exemple, les huîtres, les moules, qui sont aussi des organismes calcifiants et qui sont, dans certaines zones, déjà impactés par l'acidification de l'océan. Enfin, on a des organismes de beaucoup plus petite taille : du phytoplancton calcifiant, comme les coccolithophoridés, ou du zooplancton calcifiant, comme les ptéropodes, qui font aussi partie des organismes menacés par l'acidification.



5. Conclusion

L'océan est un acteur clé. Il nous aide dans notre lutte contre le changement climatique en absorbant du CO₂. Mais le revers de la médaille, c'est cette acidification et les impacts potentiels de ce mécanisme, sur les organismes marins et sur l'écosystème marin de façon générale.