

# LES OCÉANS, UN PUITIS EN SATURATION

Avec ses 38 000 milliards de tonnes de  $\text{CO}_2$  – c'est-à-dire 50 fois la quantité de carbone de l'atmosphère – l'océan est le plus gros réservoir de carbone de la planète et donc un allié indispensable dans la lutte contre le changement climatique. À ce jour, on estime qu'il a absorbé plus du quart des émissions anthropiques de  $\text{CO}_2$  à lui seul et 94 % de l'excès de chaleur dû aux émissions de gaz à effet de serre<sup>1</sup>. Pourtant, ce gigantesque puits de carbone s'essouffle peu à peu sous l'effet des émissions anthropiques de  $\text{CO}_2$ .

## Les deux “pompes à carbone” naturelles de l'océan

À l'état naturel, le stockage du carbone dans les océans s'explique par deux principaux mécanismes, qu'on appelle “pompes à carbones” : la pompe biologique et la pompe physique.

### 1. La pompe biologique

La pompe biologique de carbone joue un rôle fondamental dans le cycle naturel du carbone et fonctionne grâce aux mécanismes de photosynthèse du phytoplancton et de certains organismes marins. Elle désigne le processus par lequel le carbone fixé par les organismes marins dans la couche de surface est transporté vers les profondeurs, où une partie est reminéralisée en  $\text{CO}_2$ .

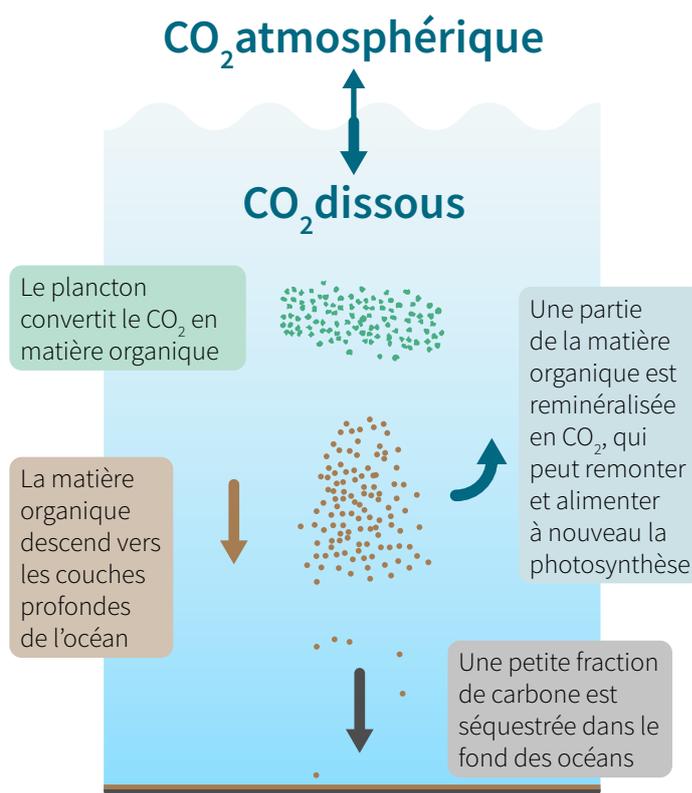
#### Fonctionnement :

(voir schéma ci-contre)

- À la surface de l'océan, un échange se produit par équilibre gazeux à l'interface entre l'atmosphère et la surface de l'océan, le  $\text{CO}_2$  de l'air se dissout dans l'eau.
- Dans la couche de surface éclairée de l'océan : le phytoplancton (des organismes végétaux généralement invisibles à l'œil nu) convertit, par photosynthèse, le  $\text{CO}_2$  présent dans l'eau en matière organique (cellules mortes, détritiques...). Le zooplancton (le plancton animal qui consomme ce phytoplancton), produit également de la matière organique.
- Cette matière organique descend vers les couches profondes de l'océan (par gravitation, courants, migration d'organismes). Ce processus crée un

gradient vertical de carbone, c'est-à-dire qu'il y a plus de carbone dans le fond que vers la surface.

- Une partie de la matière organique est reminéralisée en  $\text{CO}_2$  par des bactéries au fur et à mesure de sa descente. Ce carbone peut alors remonter et alimenter à nouveau la photosynthèse.
- Seule une petite fraction de ce carbone atteint le fond des océans pour une séquestration à long terme : sous cette forme, il est séquestré pendant des millénaires... Sauf si les fonds marins sont dégradés, par exemple pour récupérer les hydrocarbures formés à partir des sédiments du sol.



Ce mécanisme existe partout à la surface des océans, mais avec une efficacité très contrastée selon les régions : la photosynthèse est par exemple très intense dans les latitudes tempérées, mais très peu dans les latitudes tropicales. Cela dépend de multiples facteurs multiples : température, éclaircissement, disponibilité en sels nutritifs, circulation océanique...

**La pompe biologique explique la majeure partie de la distribution verticale du carbone dans les océans et contribue à réduire fortement la quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.**

### La pompe physique (ou physico-chimique)

Ce phénomène est complémentaire de la pompe biologique dans le cycle naturel du carbone. **Un échange se produit par équilibre gazeux à l'interface entre l'atmosphère et la surface de l'océan.** Cela est facilité dans les hautes latitudes car les températures moins élevées favorisent la dissolution du CO<sub>2</sub> atmosphérique. **Aux pôles, le CO<sub>2</sub> plonge vers les profondeurs** avec les eaux plus denses (car elles sont chargées en sel, qui ne gèle pas). Le CO<sub>2</sub> reste alors très longtemps en profondeur (100 à 1000 ans), or plus il descend profondément, plus il reste longtemps dans les océans.

**Ce sont ensuite les courants marins qui transportent le CO<sub>2</sub> vers des zones plus chaudes**, notamment dans les régions équatoriales, où le carbone peut resurgir en surface.

## Un cycle perturbé par les émissions anthropiques

### Une augmentation du puits pour s'adapter aux émissions

Bien qu'il ne représente qu'une toute petite portion par rapport au réservoir de l'océan (environ 0,5 % du stock), le carbone anthropique perturbe le cycle naturel du carbone. Heureusement, **le puits naturel de carbone a augmenté en même temps que les émissions** depuis le début de la période industrielle et absorbe une part constante du CO<sub>2</sub> anthropique (voir graphique). C'est un phénomène naturel qui se fait par équilibration des gaz entre l'océan et l'atmosphère : plus il y a de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, plus l'océan en absorbe. Ce sont les processus physico-chimiques (et donc la pompe physique) qui expliquent la totalité de cette évolution.

**L'océan a ainsi capturé 25 à 30 % des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> depuis l'ère pré-industrielle, et en moyenne 26 % sur la dernière décennie<sup>2</sup>.**

# 26 %

**L'océan a capturé 25 à 30 % des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> depuis l'ère pré-industrielle, et en moyenne 26 % sur la dernière décennie**

À noter que l'absorption est très variable selon les régions de l'océan, et ce même avant l'ère industrielle : il existe des régions où l'océan émet du CO<sub>2</sub>, d'autres où il en capture. Cela varie d'un jour sur l'autre, d'un mois sur l'autre, d'un kilomètre à l'autre... Sans oublier une variabilité naturelle due aux courants marins, comme El Niño, qui revient périodiquement et favorise le stockage du carbone en empêchant la remontée d'eaux riches en CO<sub>2</sub>.

### Un puits saturé par les émissions anthropiques

Toutefois, les études scientifiques projettent une amoindrissement du puits de carbone naturel de l'océan. **Ce risque de baisse s'explique par deux principaux facteurs :**

- 1) **La saturation en CO<sub>2</sub> :** la proportion de CO<sub>2</sub> dans l'eau devient trop élevée par rapport à ce que l'océan peut absorber
- 2) **En lien avec certaines conséquences du changement climatique :**
  - Hausse des températures : plus les eaux sont chaudes, moins elles sont capables d'absorber du CO<sub>2</sub>
  - Modification des courants marins
  - Modification de la production biologique océanique
  - Acidification des océans, due à l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère : plus l'océan absorbe de carbone, plus il devient acide.

Ce ralentissement n'a pas encore été observé, mais c'est ce qui est projeté dans les modèles climatiques d'ici la fin du siècle. Il est certain que **le changement climatique altère le fonctionnement du puits de carbone et entraîne un déséquilibre des deux pompes.**

# Est-il possible d'améliorer le stockage par les océans ?

En termes de projection, on sait très peu de choses sur les capacités futures des océans à stocker du carbone. Cela s'explique d'une part car le ralentissement prévu du cycle du carbone n'est pas encore observé, d'autre part parce qu'il existe peu de solutions pour améliorer le stockage de carbone de l'océan. De plus, il est difficile de mesurer l'efficacité de la pompe physique (contrairement à la pompe biologique), qui explique l'absorption des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>.

Certaines études suggèrent qu'il est possible d'améliorer artificiellement la pompe de carbone océanique. Il existe deux types de méthodes :

- Inorganiques : méthodes visant à augmenter l'efficacité de la pompe physique de carbone, en faisant plonger les eaux plus vites, en injectant le CO<sub>2</sub> directement au fond des océans, ou en augmentant les capacités de l'océan à absorber du CO<sub>2</sub> ;
- Organiques : pour simplifier, il s'agit d'augmenter la fertilisation pour renforcer la photosynthèse.

Toutefois, il est important de noter que **l'efficacité à grande échelle des différentes techniques pour améliorer artificiellement le stockage des océans n'a pas été démontrée**, et il existe de grandes difficultés pour vérifier l'efficacité de ces techniques. De plus, les effets collatéraux (positifs comme négatifs) n'ont pas été évalués.

La méthode qui semble la plus prometteuse aujourd'hui est la conservation (et, dans une moindre mesure, la restauration) des mangroves, herbiers et marais salés. Cela n'offre pas un fort potentiel d'atténuation (0,5 % de nos émissions actuelles), mais présente des co-bénéfices importants : protection contre les tempêtes, nurseries pour les poissons, amélioration de la qualité de l'eau, bien-être...

Alors qu'il est indispensable de protéger le puits de carbone océanique, **cela ne peut se faire qu'en préservant les océans, la vie marine et les écosystèmes planctoniques**. En parallèle d'une nécessaire réduction drastique de nos émissions de gaz à effet de serre, la recherche sur le sujet doit continuer à progresser pour mieux comprendre le fonctionnement du puits de carbone océanique.

## Le cas des écosystèmes côtiers

Mangroves, herbiers marins, marais salés : ces écosystèmes de "carbone bleu" jouent un rôle essentiel dans la régulation du climat et stockent environ 10 fois plus que les forêts continentales pour une même unité de surface.

Comme pour les forêts (cf. fiche forêts), ces végétaux captent du carbone par photosynthèse et rejettent de l'oxygène. Le carbone est stocké sous terre, par l'intermédiaire des racines et de la matière organique (feuilles, branches mortes...) qui tombent au sol et sédimentent. On estime qu'ils absorbent ainsi 0,5 % à 2 % de nos émissions de CO<sub>2</sub>, toutefois ces puits sont en très mauvais état car très exposés aux activités humaines (habitat, industrie...) et aux conséquences du changement climatique.



## Références

- <sup>1</sup> Cheng et al., 2019 via la [Plateforme Océan & Climat](#)
- <sup>2</sup> [Global Carbon Budget, 2024](#)