

## Échanges entre l'océan et l'atmosphère

Auteur : **Paul NIVAL**

Professeur émérite

Laboratoire d'Océanographie de Villefranche

**Secrétaire du Conseil scientifique de l'Institut océanographique, Fondation Albert I<sup>er</sup>, Prince de Monaco**

La mer échange constamment avec l'atmosphère, du mouvement, de la chaleur et des substances.

**Le mouvement** : Le vent déforme la surface de la mer et lui transmet de l'énergie. Sur une mer d'abord calme, le vent crée des rides, puis des vagues, puis de la houle. Il entraîne des embruns. Le vent produit ainsi de la turbulence dans la couche de surface qu'il pousse devant lui. Cette couche en mouvement entraîne alors les couches plus profondes, mais, parce que l'océan se trouve sur une sphère qui tourne, celles-ci sont déviées par l'effet de Coriolis. Le transport d'eau qui en résulte dans la couche de mélange d'Ekman (de quelques dizaines de mètres de profondeur) se fait sur la droite du vent dans l'hémisphère nord, et sur la gauche dans l'hémisphère sud. C'est l'origine des remontées d'eau profonde riche en sels nutritifs, le long des côtes, qui rendent ces régions très productives et poissonneuses (« zones de remontées » que les Anglo-Saxons appellent « upwelling regions »).

**La chaleur** : L'air, et l'eau plus encore, absorbent le rayonnement solaire. La mer constitue un réservoir de chaleur, qui est en partie restituée à l'atmosphère. Par exemple, un vent froid et sec entraîne le refroidissement et l'évaporation de l'eau. Il produit ainsi une eau froide et dense. La plongée de cette eau crée un mélange profond en automne et en hiver, qui apportera ainsi dans la couche de surface les sels nutritifs nécessaires au développement du phytoplancton au printemps. Quelques phénomènes remarquables doivent être notés :

- 1- Dans le Pacifique, l'interaction à grande échelle spatiale dans la zone équatoriale. La mer chaude en Indonésie est le moteur des vents transpacifiques en haute atmosphère, responsables<sup>1</sup> d'une cellule de Walker. Mais ce phénomène s'affaiblit tous les 3 à 7 ans. L'eau chaude se déplace alors vers l'est et engendre le phénomène « El Niño » ;
- 2- La douceur du climat de l'Europe serait due au transport de chaleur du golfe du Mexique vers l'Europe par le Gulf Stream, mais aussi (seconde hypothèse) au réchauffement des masses d'air qui se déplacent vers l'Europe en descendant sur l'Atlantique.
- 3- À plus petite échelle temporelle, la formation et la destruction de la thermocline journalière qui dépend de l'échange de chaleur entre la mer et l'atmosphère est un mécanisme très important pour le développement du phytoplancton au printemps dans les mers des régions tempérées.

**Les substances** : Les liquides : Les embruns formés par le déferlement des vagues, entraînent dans les gouttelettes d'eau tous les composants de la couche de surface de la mer (substances chimiques et plancton).

Les bulles d'air formées par le même processus produisent, en éclatant à la surface, des microgouttes qui deviennent aussitôt des aérosols entraînés par le vent. Les composants chimiques se modifient dans l'atmosphère sous l'effet du rayonnement solaire et par interaction chimique. Si les gouttelettes ne se déposent pas rapidement, elles engendrent des particules ou des gaz, et constituent un dépôt très agressif pour la surface continentale. La chimie atmosphérique doit être présentée par des exemples.

Le phénomène inverse est lié à la pluie sur la mer. Les gouttes de pluie qui traversent la basse atmosphère dissolvent les gaz et capturent les particules. Elles transportent à la surface de la mer des substances variées (sels nutritifs, composés organiques, métaux lourds, etc.) souvent produites à des distances considérables (zones industrielles et urbaines en particulier). Le vent distribue la matière sur les surfaces océaniques, ce qui peut contaminer ou fertiliser la couche de surface par dépôt de nutriments sur des zones oligotrophes. Le vent venant des déserts apporte en particulier le fer indispensable au phytoplancton.

Les gaz : Les gaz peuvent traverser la surface de la mer. Le flux de gaz, sa valeur et son sens, dépend de la différence de concentration entre l'air et l'eau au voisinage de la surface, c'est-à-dire dans la couche de mélange.

L'oxygène produit par le phytoplancton dans la couche superficielle diffuse vers l'atmosphère, lorsqu'il est en sursaturation. Il peut au contraire être absorbé par l'eau lorsque celle-ci est sous-saturée. On peut citer deux phénomènes : le cycle diurne de la production primaire, photosynthèse le jour, respiration la nuit, dont dépend la concentration d'oxygène dans la mer ; l'arrivée en surface d'une eau sous-saturée en oxygène, dans les zones de remontée d'eau profonde.

Le gaz carbonique est produit, en mer, par la respiration (bactéries et autres êtres vivants), et consommé par le phytoplancton. Il entre comme élément dans le système tampon, gaz carbonique, bicarbonates, carbonates, qui déterminent le pH de la mer. Sa concentration dans l'atmosphère dépend de la végétation continentale et de l'activité humaine qui en produit en excès (industrie, combustion de ressources fossiles, feux de forêts). Le flux de gaz traversant la couche de surface de la mer dépend du gradient du gaz entre l'atmosphère et la mer, de la température et de la turbulence locale due au vent. La capacité d'absorption du CO<sub>2</sub> par l'océan est limitée. Actuellement, le système tampon laisse le pH diminuer. Une estimation des masses échangées entre l'atmosphère et l'océan mondial montre l'ampleur du phénomène. Environ 4 Pg (pétagrammes) de CO<sub>2</sub> par an sont transférés à l'océan (1 Pg = 10<sup>15</sup> g), mais ce sont 3 Pg de CO<sub>2</sub> qui sont ajoutés chaque année à l'atmosphère et qui accroissent l'effet de serre.

#### Cycle des éléments chimiques :

Dans le cycle d'un élément chimique en mer, il n'est pas rare qu'il existe une composante volatile qui peut traverser la surface. Prenons le cycle du soufre. Dissous sous forme de sulfate, il est absorbé par les êtres vivants (phytoplancton, bactéries). Ce n'est pas un élément essentiel puisqu'il est en grande quantité dans l'eau de mer, mais il intervient dans quelques molécules indispensables à la vie. La nutrition le fait cheminer dans tout le réseau trophique. Enfin il se rencontre, sous forme de diméthyl sulfure (DMS), dans la matière organique dégradée lors de la mort des êtres planctoniques. Le DMS est un gaz qui va, comme les autres gaz, diffuser dans l'atmosphère. Transformé par les mécanismes chimiques, il favorise alors la formation de particules qui deviennent des noyaux de condensation pour des gouttelettes d'eau.

On peut évoquer aussi, la dynamique des cycles chimiques dans les sédiments côtiers et le transfert rapide des phases gazeuses vers l'atmosphère à marée basse. C'est le cas dans les grandes vasières qui découvrent à chaque marée sur la côte atlantique française, mais aussi en Chine, Corée, Amazonie, Louisiane, etc.

**Références d'ouvrages** pour compléter :

Les manuels d'océanographie

Sarmineto J.L., Gruber N. (2006) Ocean biogeochemistry dynamics, Princeton Univ. Press., 503 p.

Wells N.C. (2011) The Atmosphere and Ocean. A physical introduction. Wiley, 411 p.