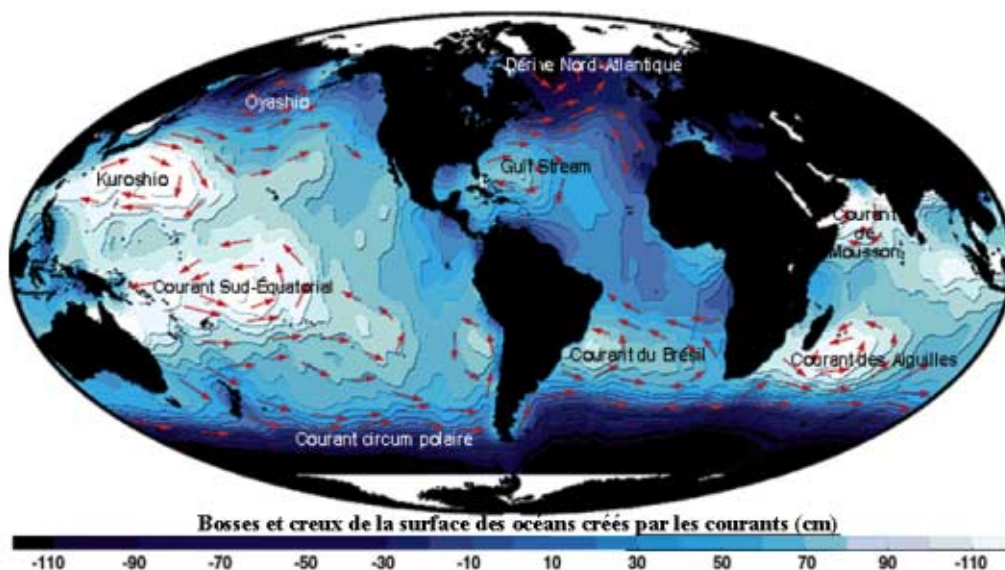


# La circulation océanique

*La surface des océans n'est jamais immobile. Un transport de colossales quantités d'eau et d'énergie s'opère à travers un système de circulation à l'échelle du globe. Les courants existent en surface et en profondeur, et sillonnent les océans tels des fleuves aux cours tranquilles ou capricieux. La circulation océanique est engendrée par les vents ainsi que par les différences de chauffage et d'apport d'eau douce induites par l'atmosphère et les fleuves. La rotation de la Terre et le relief sous-marin jouent également un rôle important sur la trajectoire des masses d'eau.*

## La circulation à la surface des océans

Le Soleil chauffe la Terre de façon inégale. Les océans répartissent la chaleur sur le globe, en transportant celle-ci des régions les plus chauffées (tropiques) vers les régions les moins chauffées (pôles). Les océans sont ainsi, en quelque sorte, un thermostat régulateur du climat. Par exemple, grâce au Gulf Stream et à la dérive Nord-Atlantique, le climat en Europe est plus tempéré qu'aux mêmes latitudes sur la côte est du continent américain. Les océans jouent aussi un rôle important dans les modifications climatiques à long terme (sur plusieurs dizaines comme sur plusieurs milliers d'années).



Carte des bosses et des creux de la surface de la mer créés par les grands courants océaniques (crédits CLS, Toulouse)

Ces courants marins sont semblables à de longs fleuves larges de plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres, constitués d'une suite de méandres, et formant des bosses ou des creux à la surface des océans. L'amplitude typique du relief de la surface des océans liée aux courants, appelée topographie dynamique, est de plus ou moins 1 mètre. La vitesse de ces courants est proportionnelle à la pente des bosses et des creux de la surface de l'eau. Par ailleurs, ils subissent l'effet de la force de Coriolis (engendrée par la rotation de la Terre) : dans l'hémisphère nord, les courants tournent dans le sens des aiguilles d'une montre autour des bosses et dans le sens inverse autour des creux. Ce phénomène s'inverse dans l'hémisphère sud (l'incidence de cet effet sur les masses d'air produit cyclones ou anticyclones, que nous avons l'habitude d'observer lors des bulletins météo). Les énormes masses d'eau de ces courants transportent avec elles la chaleur emmagasinée par l'océan et servent ainsi de régulateur thermique. Toute variation dans la quantité d'eau transportée ou dans la direction du courant aura donc une influence sur les phénomènes météorologiques (précipitations et évaporation) ou climatiques pour des modifications plus importantes et à long terme.

## La stratification des océans

On peut représenter la structure verticale des océans comme une superposition de couches qui présentent des caractéristiques propres. Celles-ci sont généralement identifiées par trois paramètres : la température, la salinité et la pression. À partir de ces trois quantités, on peut calculer la densité, autre grandeur importante pour comprendre la circulation océanique et en particulier la circulation verticale.

### - La température

La température des océans est principalement influencée par le chauffage ou refroidissement exercés par l'atmosphère. De façon générale, le rayonnement solaire réchauffe les eaux de surface (durant toute l'année dans les régions tropicales, mais en été seulement aux plus hautes latitudes). Les couches de surface en contact avec l'atmosphère sont séparées de l'océan profond par une couche dont l'épaisseur est de quelques centaines de mètres et dans laquelle la température diminue rapidement avec la profondeur. On appelle cette couche la "thermocline". La chaleur se répartit sur une couche d'épaisseur variable (quelques centaines de mètres), appelée thermocline. La température décroît avec la profondeur, mais elle varie peu dans les couches profondes de l'océan, par rapport aux variations observées en surface.

- *La salinité*

On appelle la salinité la teneur en sels de l'océan. Les sels constituent 3,5 % de l'eau de mer dont l'élément principal est le chlorure de sodium, ce que l'on appelle généralement "sel" pour notre alimentation. Si l'on considère le volume total de l'océan soit 1460 millions de kilomètres cubes, la quantité de sel est de 48 millions de tonnes, soit environ 35 grammes par kilo d'eau. Si l'on répartissait tout ce sel sur l'ensemble de la surface de la Terre, on aurait 95 tonnes de sel sur chaque carré de 1 mètre de côté. La salinité varie relativement peu à la surface de l'océan, mais suffisamment cependant pour avoir une influence sur la circulation des masses d'eau. La salinité est influencée par l'évaporation en surface et l'apport d'eau douce par l'atmosphère (pluie et neige), par les fleuves ou encore à la suite de la fonte de la glace de mer. La salinité, tout comme la température, varie aussi par mélange entre les masses d'eau distinctes.

- *La pression*

De façon simplifiée, on peut considérer que la pression, à une profondeur donnée de l'océan, est l'effet (ressenti à cette profondeur) du poids de la masse d'eau située entre la surface et cette profondeur. En conséquence, la pression croît avec la profondeur et augmente proportionnellement avec le poids des couches d'eau (l'eau étant un fluide quasiment incompressible). La profondeur moyenne des océans est de 3800 mètres et sa masse totale est de 1,4 milliards de milliards de tonnes, ce qui représente 300 fois la masse de l'atmosphère. À 11 kilomètres, profondeur maximale de l'océan, la pression est telle qu'elle représente 10 fois la pression nécessaire pour compresser un bloc de bois de près de la moitié de son volume initial.

- *La masse volumique*

C'est par définition, la masse d'eau contenue dans un volume d'eau donné. Par exemple, on a en moyenne 1 kilo d'eau dans 1 litre, soit une masse volumique de 1000 kilogrammes par mètres cube. Les océanographes parlent généralement de densité plutôt que de masse volumique, la densité étant le rapport de la masse volumique par une masse volumique de référence. Les masses d'eau ayant une faible densité sont donc légères, alors que celles qui ont une forte densité ont un poids plus grand. La densité augmente avec la profondeur. La température, la salinité et dans une moindre mesure la pression, déterminent la densité de l'eau de mer. Lorsque la température baisse la densité augmente, mais elle diminue lorsque la salinité décroît.

Les variations de densité dans le temps et entre deux régions géographiques génèrent des mouvements de masse d'eau, selon deux mécanismes distincts. Le premier se produit lorsqu'une masse d'eau voit sa densité augmenter : l'eau, qui devient plus lourde, est entraînée en profondeur sous l'action de son propre poids

(ce phénomène se produit durant l'hiver dans le Golf du Lion en Méditerranée, ainsi que dans certaines régions polaires). Dans les zones polaires, le refroidissement de l'hiver et la formation de glace de mer conduisent respectivement à une diminution de la température et une augmentation de la salinité, qui engendre une augmentation de la densité. L'eau peut alors "plonger" jusqu'à 2000 mètres de profondeur. Le deuxième mécanisme se produit sur des échelles spatiales beaucoup plus grandes : les variations de densité entre deux régions de l'océan peuvent engendrer des différences de pression. Si la Terre ne tournait pas, les masses d'eau seraient animées par un mouvement allant des zones de hautes pressions (anticyclones) vers celles de basses pressions (cyclones). Mais l'effet de la rotation de la Terre combiné à celui de la pression modifie la trajectoire des masses d'eau. C'est alors qu'il s'établit un équilibre entre ces différentes forces, appelé équilibre géostrophique. Les courants résultants sont dits géostrophiques.

## La circulation globale

L'action combinée des mouvements horizontaux et verticaux conduit à une circulation à l'échelle planétaire. Les échanges de masse et de chaleur entre l'océan et l'atmosphère modulent la température et la salinité de l'eau et agissent comme un moteur puissant d'une circulation océanique, appelée "circulation thermohaline". À l'échelle du globe, elle est constituée d'un ensemble de courants qui connectent d'une part les couches superficielles et les couches profondes, et d'autre part, les grands bassins océaniques : l'Océan Atlantique, l'Arctique, le Pacifique, l'Antarctique et l'Océan Indien. On a l'habitude de représenter cette circulation par un "tapis roulant". Cependant, les courants sont loin d'être tranquilles et derrière une telle représentation, se cache un réseau complexe de courants que l'on connaît encore fort peu. Il s'agit là d'une représentation de la circulation lente et "moyenne". Pour avoir une image de la circulation réelle, il faut superposer à cette circulation moyenne un ensemble complexe de courants et de tourbillons qui sont bien plus variables dans le temps. Certains tourbillons ont une durée de vie de quelques jours seulement !

La circulation thermohaline globale moyenne peut donc se résumer de la façon suivante : les eaux de l'Atlantique Nord sont refroidies en hiver tandis que leur salinité augmente du fait de l'évaporation provoquée par le vent et la formation de glace de mer. Ces masses d'eau, devenues plus denses, plongent dans les profondeurs, puis sont entraînées vers l'équateur et se dirigent ensuite vers l'Océan Indien en passant entre l'Arctique et le continent Antarctique. Elles se divisent alors en deux branches : l'une pénètre l'Océan Indien tandis que l'autre poursuit sa route vers l'Est et atteint le Pacifique dans l'Hémisphère Nord. Tout au long de ce périple, les masses d'eau se sont mélangées et réchauffées. Le

retour de cette grande circulation se fait par l'intermédiaire de courants chauds proches de la surface. C'est ainsi que dans l'Océan Indien et le Pacifique Nord, les masses d'eau se situent à des profondeurs très superficielles et sont animées par un courant (en surface), se dirigeant vers l'Atlantique Nord. Le processus peut alors recommencer. Il faut près d'un millier d'années pour parcourir ce circuit.

## Le Gulf Stream



Le Gulf Stream est un des plus puissants "fleuves" du monde. Ce courant océanique est le plus étudié car son rôle sur le climat et notamment celui de l'Europe de l'Ouest, est déterminant. Le Gulf Stream naît principalement dans le Golfe du Mexique. Puis il se dirige vers le Nord, longeant les côtes de 4 états américains (La Floride, la Géorgie, la Caroline du Nord et du Sud), avant de bifurquer vers l'Est. Une branche principale du Gulf Stream, appelée dérive Nord Atlantique, traverse l'Atlantique jusqu'aux côtes de la Scandinavie. Des branches secondaires rejoignent les côtes de l'Europe, longeant celles de la France, pour finalement se diriger vers l'Atlantique Tropical le long de l'Afrique, formant ainsi une grande boucle dans tout l'Atlantique Nord. Le Gulf Stream et les branches qu'il génère transportent des eaux relativement chaudes qui réchauffent l'atmosphère, donc le climat de l'Europe de l'Ouest. Ainsi, Bordeaux présente des hivers beaucoup plus cléments que New York, alors que ces deux villes sont situées à la même latitude. La vitesse moyenne du courant est de 7 kilomètres à l'heure environ, (vitesse d'un piéton qui marche à grands pas), et s'étend par endroits sur 150 kilomètres de large et 1500 mètres de profondeur. Son débit est environ équivalent à celui de tous les fleuves de la planète, ce qui représente un flux de 100 milliards de litres par seconde. Il est formé de méandres et de tourbillons qui vont de quelques dizaines à une centaine de kilomètres de diamètre. Dès le début du XVI<sup>e</sup> siècle, certains navigateurs avaient mentionné l'existence d'un tel courant après avoir cherché à grand peine à le remonter. Vers la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, les premières cartes du Gulf Stream que l'on voit apparaître, mais ces illustrations décrivaient un courant très régulier. Depuis une vingtaine d'années, on peut étudier les nombreuses variations de ce courant depuis l'espace : son débit, sa position, mais aussi son allure tourmentée (formation de nombreux méandres et tourbillons).

## **Bibliographie**

L'océanographie physique, de Maxence Revault d'Allonne, Editions PVF, Collection Que sais-je ? n°438.

La machine océan, Jean-François Minster, Flammarion, Collection Champs n° 427.

Océanographie régionale, de Paul Tchernia, éditions ENSTA.