

# Introduction à l'océanographie physique

COM 22

Anne PETRENKO

<a href="#">1. Bassins et courants .....</a>	<a href="#">4</a>
<a href="#">1.1. Définitions.....</a>	<a href="#">4</a>
<a href="#">1.2. Reliefs particuliers.....</a>	<a href="#">5</a>
<a href="#">1.3. Bassins océaniques.....</a>	<a href="#">5</a>
<a href="#">1.4. Rappels sur le bilan radiatif et le système de vents.....</a>	<a href="#">8</a>
<a href="#">1.4.1 Bilan radiatif.....</a>	<a href="#">8</a>
<a href="#">1.4.2 Système des vents.....</a>	<a href="#">9</a>
<a href="#">1.5 Circulation océanique.....</a>	<a href="#">11</a>
<a href="#">1.5.1. Courants marins de surface.....</a>	<a href="#">11</a>
<a href="#">1.5.2. Circulation profonde.....</a>	<a href="#">13</a>
<a href="#">2. Propriétés physique de l'eau de mer.....</a>	<a href="#">Erreur : source de la référence non trouvée</a>
<a href="#">2.1. La température T .....</a>	<a href="#">Erreur : source de la référence non trouvée</a>
<a href="#">2.2. La salinité S .....</a>	<a href="#">Erreur : source de la référence non trouvée</a>
<a href="#">2.3. La masse volumique <math>\rho</math> .....</a>	<a href="#">Erreur : source de la référence non trouvée</a>
<a href="#">3. L'observation de l'océan.....</a>	<a href="#">Erreur : source de la référence non trouvée</a>
<a href="#">3.1. Observations hydrologiques.....</a>	<a href="#">Erreur : source de la référence non trouvée</a>
<a href="#">3.2. Mesures courantologiques eulériennes.....</a>	<a href="#">Erreur : source de la référence non trouvée</a>
<a href="#">3.3. Mesures courantologiques lagrangiennes.....</a>	<a href="#">Erreur : source de la référence non trouvée</a>
<a href="#">3.4. Observations par satellites.....</a>	<a href="#">Erreur : source de la référence non trouvée</a>
<a href="#">1. Bassins et courants .....</a>	<a href="#">4</a>
<a href="#">1.1. Définitions.....</a>	<a href="#">4</a>
<a href="#">1.2. Reliefs particuliers.....</a>	<a href="#">5</a>
<a href="#">1.3. Bassins océaniques.....</a>	<a href="#">5</a>
<a href="#">1.4. Rappels sur le bilan radiatif et le système de vents.....</a>	<a href="#">8</a>
<a href="#">1.4.1 Bilan radiatif.....</a>	<a href="#">8</a>
<a href="#">1.4.2 Système des vents.....</a>	<a href="#">9</a>
<a href="#">1.5 Circulation océanique.....</a>	<a href="#">11</a>
<a href="#">1.5.1. Courants marins de surface.....</a>	<a href="#">11</a>
<a href="#">1.5.2. Circulation profonde.....</a>	<a href="#">13</a>

# Introduction

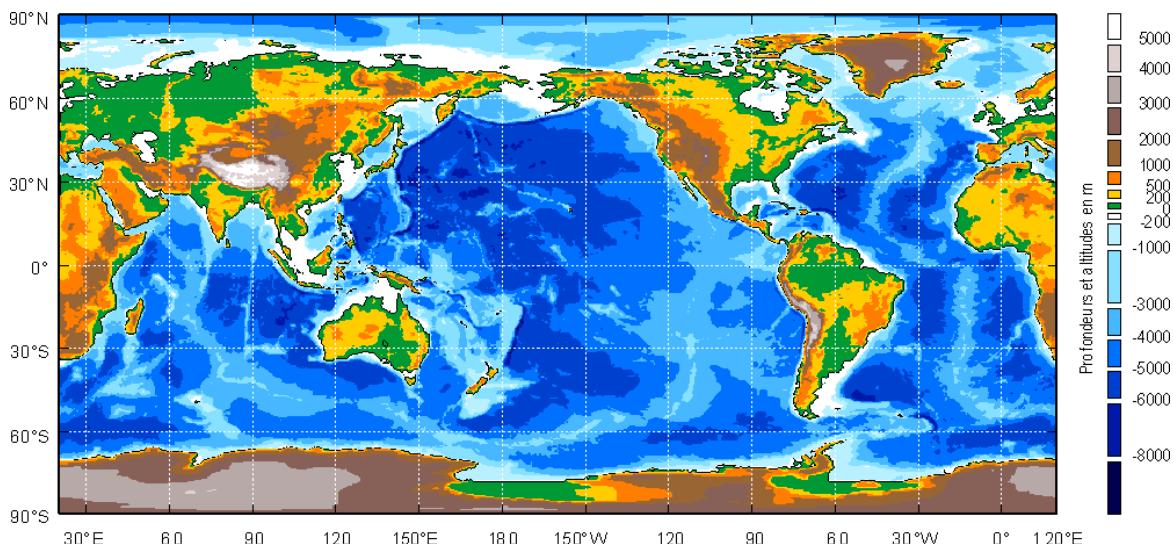
La surface de la terre est occupée à 71% par des océans. Il y a 2,45 fois plus de mer que de terre.

La répartition des terres et des mers est inégale et singulière. Cette répartition est antipodale, l'océan glacial arctique s'oppose au continent antarctique et la masse continentale Eurasie + Afrique s'oppose à l'océan Pacifique. En fait, toute saillie qui émerge au-dessus de la surface des océans a 19 chances sur 20 d'avoir un creux pour point diamétralement opposé.

Les masses terrestres sont en grande partie concentrées dans l'hémisphère nord. Hémisphère nord : 61% de mer, hémisphère sud : 81 % de mer.

Les hauteurs de la surface terrestre sont comprises entre une altitude de 8848 m (Everest) et une profondeur de 11022 m (fosse de Mariana au Nord-Ouest de l'océan Pacifique).

La profondeur moyenne des océans est d'environ 3800 m. L'altitude moyenne des terres émergées est de 840 m.



# 1. Bassins et courants

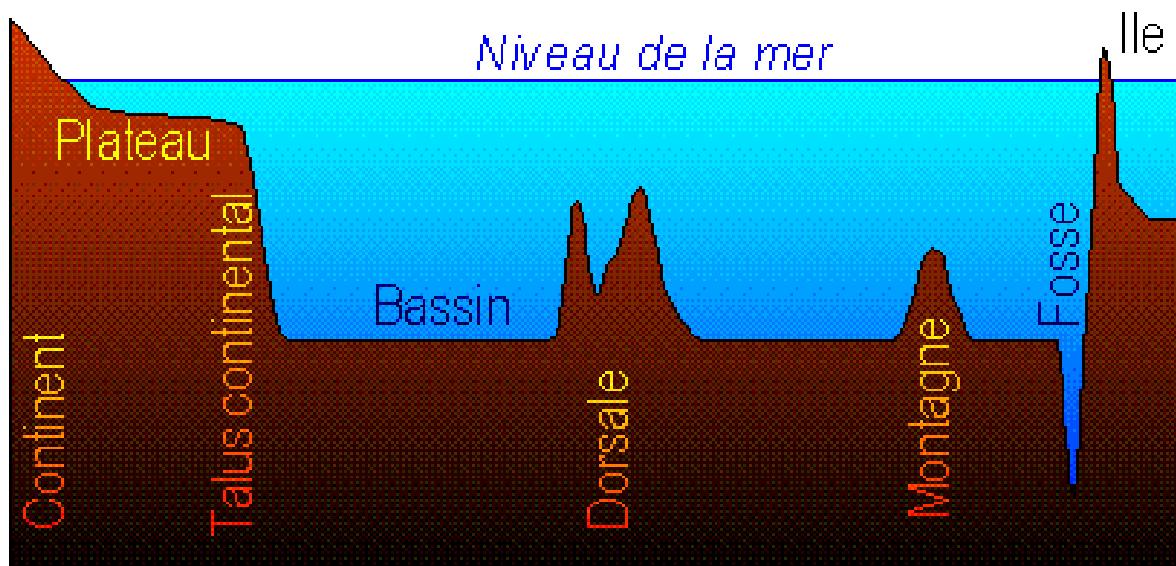
## 1.1. Définitions

Le rivage : bande de terre le long des côtes qui subit l'effet des océans. Le niveau de la mer varie suivant les fluctuations du climat (ex, fonte des glaciers, dilatation thermique des océans). Il a augmenté d'environ 100 m depuis la dernière glaciation. Les plages sont délimitées par les niveaux des hautes et basses mers.

Le plateau continental : il s'étend au-delà du rivage avec une pente voisine de 1 pour 500, jusqu'à la zone de pente délimitée par une cassure très nette. Les dimensions moyennes sont : 65 km de large, 200 m de profondeur. Le plateau continental peut être inexistant en zone de montagnes (Andes) ou beaucoup plus important (600 à 800 km sur la zone sibérienne du bassin polaire). C'est une zone où la vie sous-marine est (ou était) la plus développée et où l'activité humaine est généralement importante.

Le talus continental : pente plus accentuée que celle du plateau continental (3 à 6%). Il se raccorde aux grandes profondeurs du bassin océanique (200 à 4000 m). Le plateau et le talus constituent le socle continental. C'est le trait le plus important du relief du globe (3500 de hauteur moyenne et 350 000 km de long). Il marque la discontinuité entre la croûte continentale et la croûte océanique.

Les grands fonds : relativement réguliers, d'une profondeur comprise entre 3000 et 6000 m, ils représentent 76% de la surface des océans. La topographie est variée avec des plaines, des montagnes et des vallées comme sur la surface terrestre.



## 1.2. Reliefs particuliers

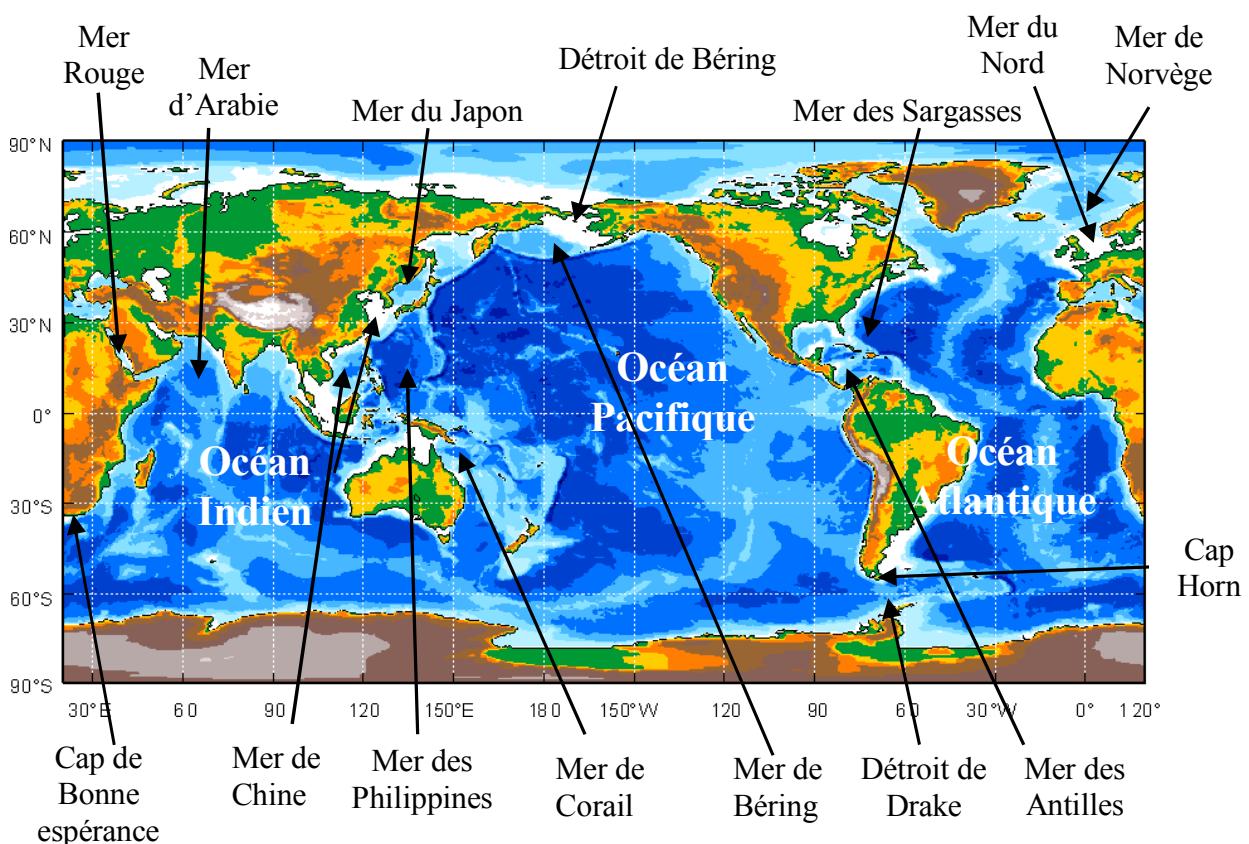
Certains reliefs majeurs sont à signaler :

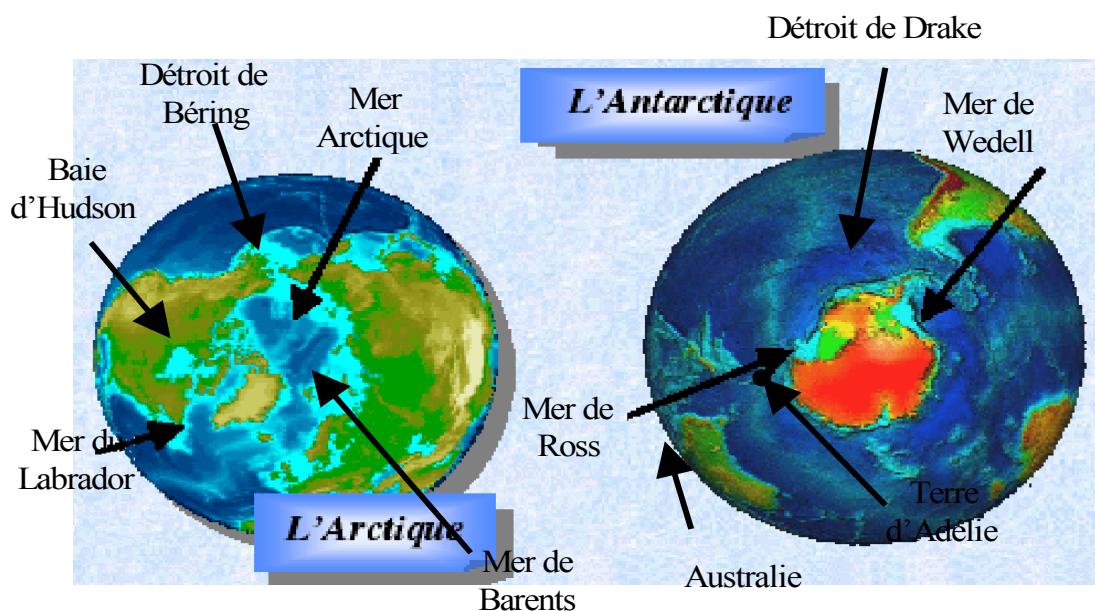
- Le système de dorsale séparant tous les océans en bassins. Une dorsale s'élève de 1000 à 3000 m au-dessus du fond et peut atteindre 400 km de large. Ce relief est séparé en son milieu par un rift de 20 à 50 km de large (profondeur 1000 à 3000 m par rapport au sommet des bords de la dorsale).
- De véritables montagnes individuelles sont dispersées sur les grands fonds océaniques. Certaines émergent, donnant naissance à des îles.

Les plus grandes profondeurs sont atteintes dans des fosses océaniques. Il y en a 26 dans tout l'océan :

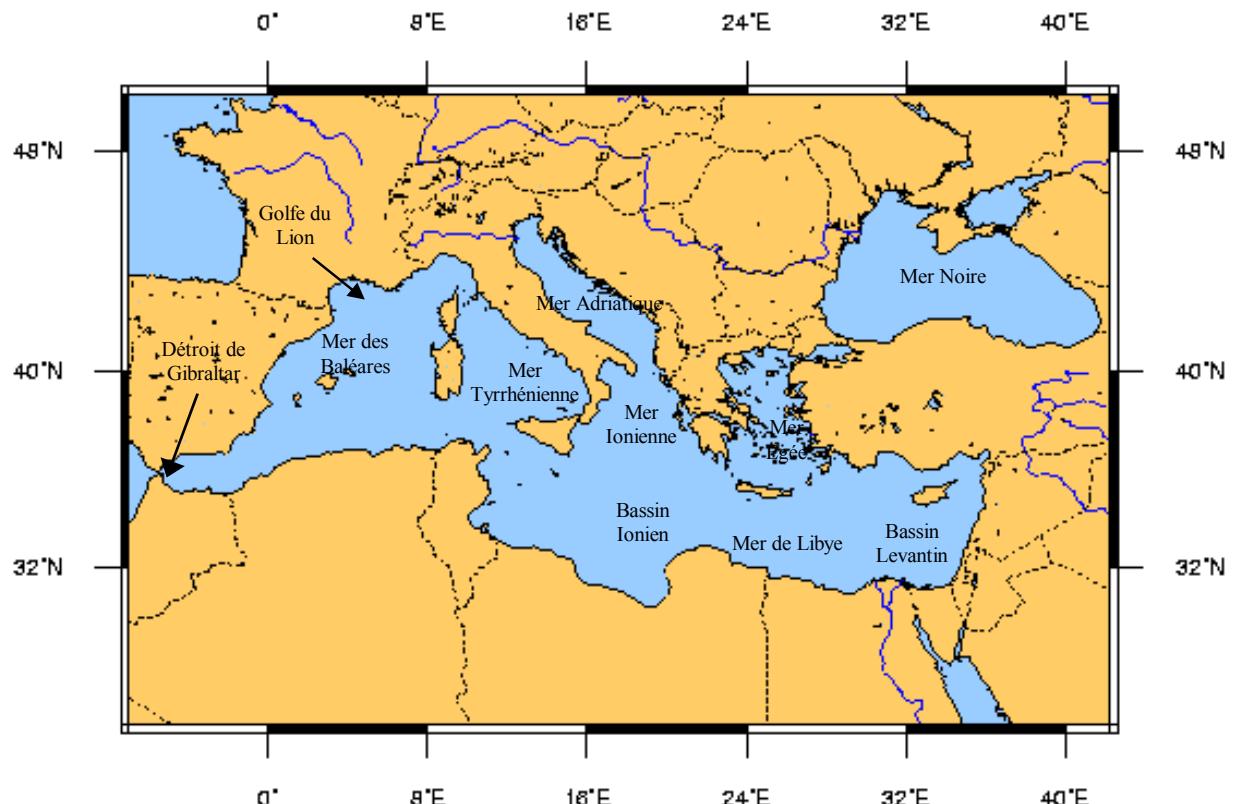
- 3 dans l'Atlantique,
- 1 dans l'Océan Indien,
- 22 dans le Pacifique.

## 1.3. Bassins océaniques





### Mer Méditerranée



La Méditerranée communique avec l'Océan Atlantique par le détroit de Gibraltar, avec la Mer Noire par le détroit des Dardanelles et du Bosphore, et avec la mer Rouge par le canal de Suez.

D'est en ouest, elle s'étend sur 3800km. Sa largeur maximale est de 1600km. C'est une mer profonde (1500m en moyenne) avec des reliefs abrupts. Elle est alimentée par des grands fleuves : Rhône, Ebre (Espagne), Pô (Italie), Nil (Égypte). Elle est divisée en deux bassins : Bassin occidental/ Bassin oriental ; dont la séparation est marquée au niveau de la Sicile. Chaque bassin est divisé en sous bassins et en mers.

### **Golfe de Gascogne**

Le golfe de Gascogne est une baie océanique largement ouverte, bordée à l'est et au nord par la France et au sud par l'Espagne

Son plateau continental, de largeur maximale au niveau de la Bretagne (200km), s'amenuise au large du pays Basque où il est de l'ordre de 30km.

Les courants y sont influencés par le vent, la marée et des gradients de densité dus par des apports d'eau douce à la côte.

### **Manche:**

- sa profondeur ne dépasse pas 120 m à l'exception de fosses allongées atteignant les 200 m,

- en surface, la température est de 8-9 °C en hiver et 16-17 °C en été,

- la marée pénètre par l'ouest ; elle est de grande amplitude au sud et à l'est où les marnages sont très forts. Ils peuvent atteindre 15 m dans la baie du Mont-Saint-Michel.

### **Mer du Nord:**

- peu profonde (94 m en moyenne),

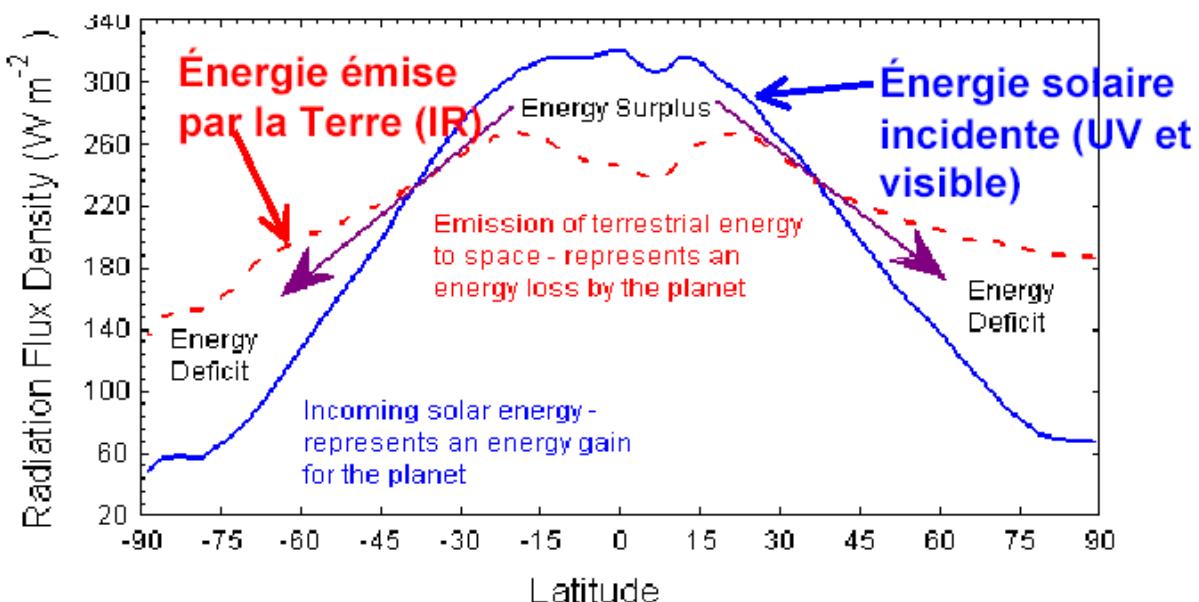
- eaux fraîches en été et froides en hiver,

- vents violents: fortes tempêtes créant des vagues de 10 m de haut,

Lorsque les tempêtes coïncident avec des marées de vive-eau, la mer peut submerger les terres basses aménagées en polders, de la Belgique au Danemark.

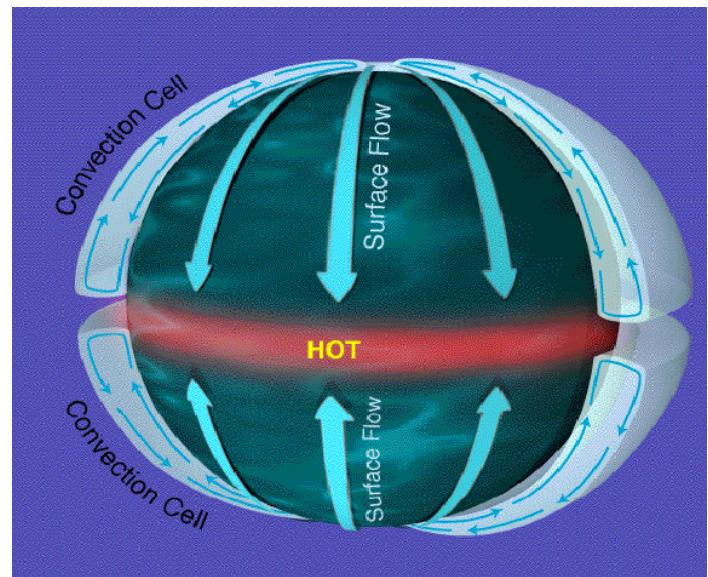
## 1.4. Rappels sur le bilan radiatif et le système de vents

### 1.4.1 Bilan radiatif

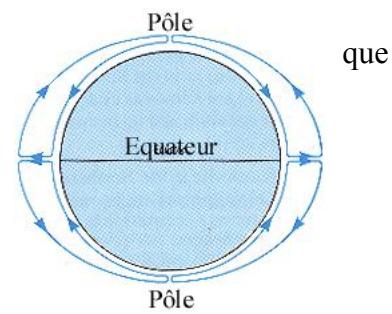


Il y a un excès de rayonnement solaire incident aux latitudes tropicales et sub-tropicales; alors qu'aux plus hautes latitudes, il y a un déficit. De plus, les régions polaires perdent continuellement de l'énergie. Afin d'équilibrer ce déficit, l'atmosphère et l'océan se mettent en mouvement pour transporter l'excès de chaleur tropicale vers les pôles.

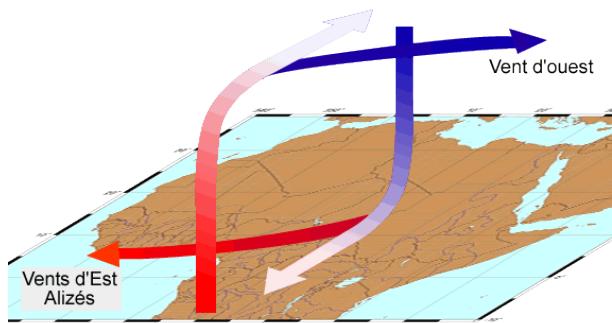
Pour transporter cet excès de chaleur vers les régions polaires, l'atmosphère aurait tendance à « effectuer » les transports ci-contre (si il n'y avait ni continent ni force de Coriolis).



On ne s'intéresse qu'à la couche basse de l'atmosphère, appelée *atmosphère météorologique*. Son épaisseur varie de 8 km aux pôles à 18 km à l'équateur. L'équateur recevant beaucoup plus de rayonnement solaire que les pôles, l'air situé à son niveau aura tendance à s'élèver (zone de dépression) tandis qu'au niveau des pôles, il tendra plutôt à descendre (l'air se refroidit) (anticyclone). Les vents devraient se diriger des pôles vers l'équateur au niveau du sol. Mais l'air, en remontant vers les pôles, se refroidit et on observe une zone d'anticyclone vers les zones subtropicales. Cette circulation est connue sous le nom de *circulation de Hadley* (on parle aussi des cellules de Hadley).

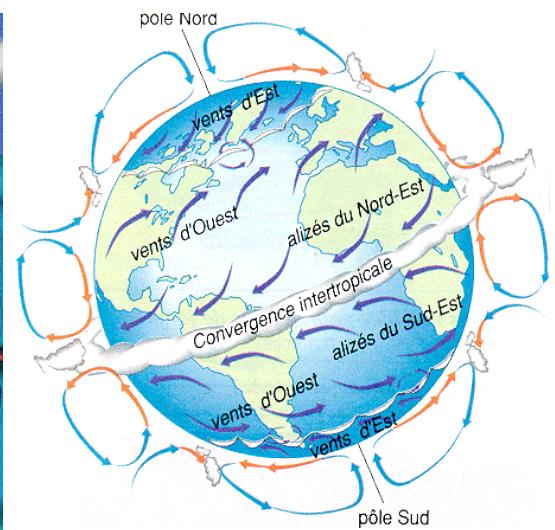
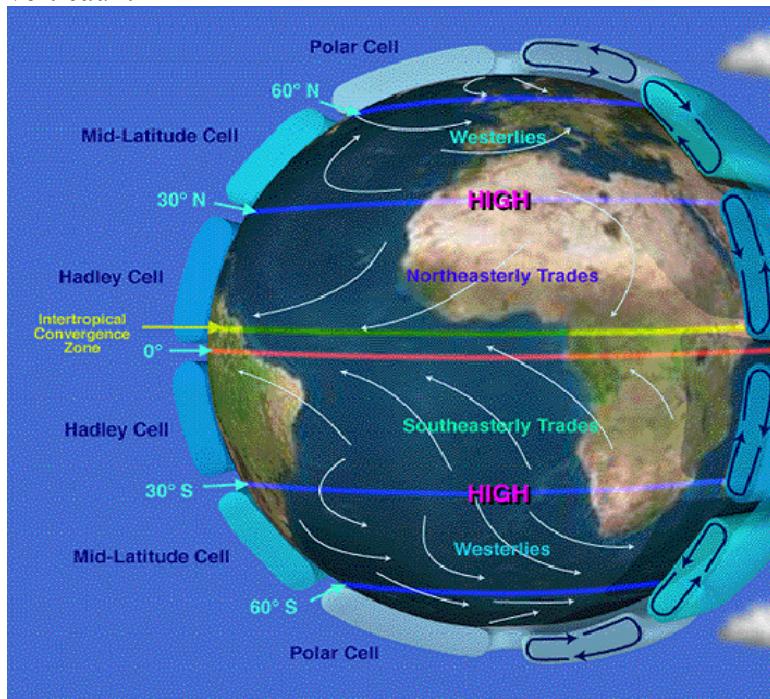


L'air chaud s'élève au niveau de l'équateur, se refroidit en remontant vers le nord et il est dévié vers l'est sous l'influence de Coriolis. Se forment alors des vents d'ouest en altitude. Comme l'air se refroidit, il redescend, et retourne vers l'équateur où il se réchauffe. Dans son trajet, il est dévié vers l'ouest, d'où la formation des vents d'est au niveau de l'équateur. Dans l'hémisphère Nord, le vent soufflant du nord vers l'équateur est dévié vers l'ouest par la rotation de la Terre. Dans l'hémisphère Sud, le vent soufflant du sud est dévié de la même façon vers l'est.



Associées à la cellule de Hadley, les latitudes tropicales sont des zones de vents d'Est ou Alizés et les latitudes sub-tropicales des zones de vents d'ouest.

Les figures ci-dessous rendent compte de la circulation des vents dans les plans horizontaux et verticaux:



Remarque : L'inertie thermique des surfaces terrestres étant beaucoup plus rapide que celle des océans (la terre répond plus vite au changement de température), les masses d'airs seront modifiées différemment suivant qu'elles survolent un continent ou un océan.

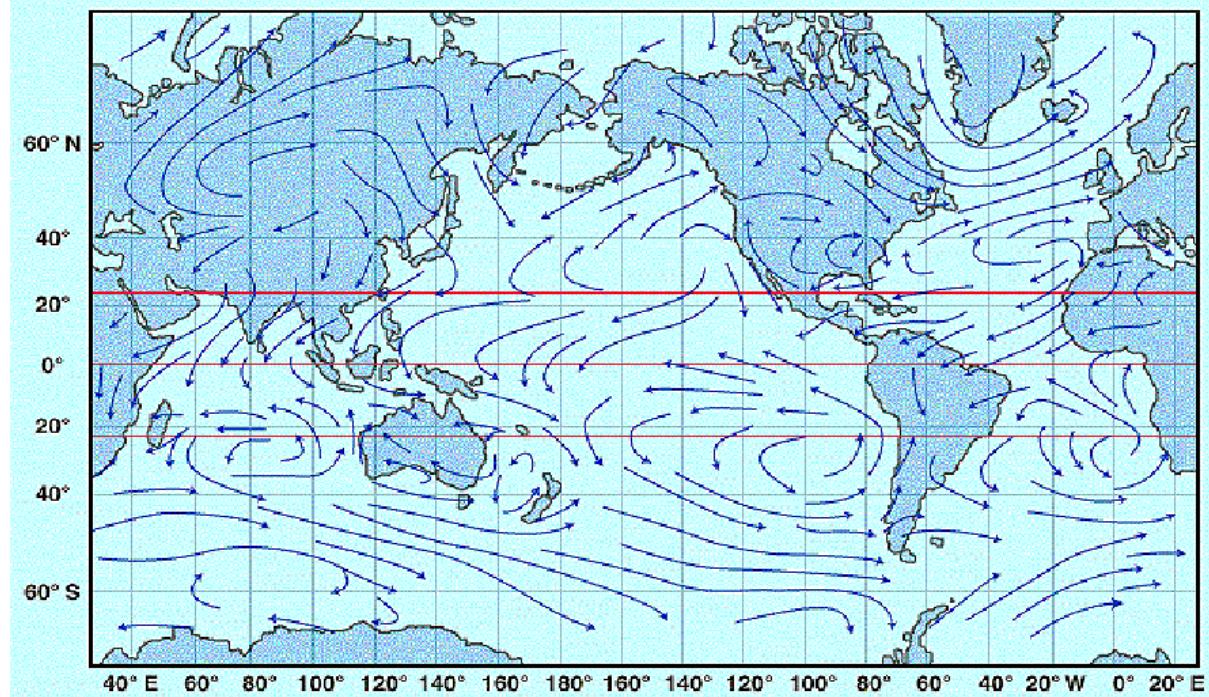
#### 1.4.2 Système des vents

En résumé, les vents sont donc produits par les différences de pression atmosphérique engendrées principalement par les différences de température. Elles sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire, et aux différences dans les propriétés thermiques des surfaces des continents et des océans. Les vents vont des hautes (anticyclones) vers les basses (dépressions) pressions. Mais la force de Coriolis modifie ces vents et les dévie vers la droite dans l'hémisphère nord. Ainsi, le vent tourne de manière anticyclonique

autour des anticyclones (sens des aiguilles d'une montre) et dans le sens opposé (sens cyclonique) autour des dépressions.

Cela donne un système de vents qui, en moyenne, à la surface du globe, est le suivant :

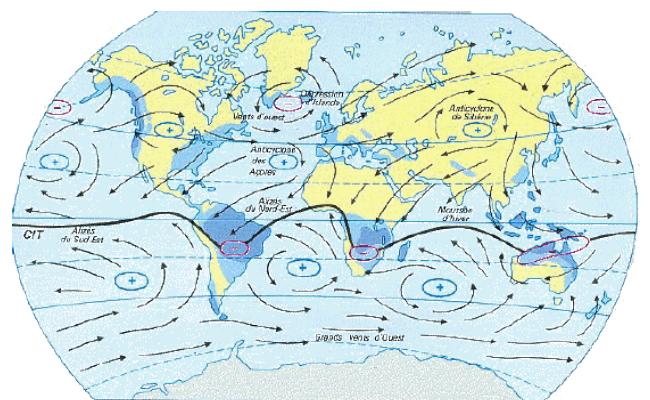
### Schéma de la situation moyenne annuelle



Voici la répartition des vents dominants à la surface de la Terre en Juillet. La situation en hiver étant très similaire excepté au alentour du continent asiatique où la circulation se fait de la terre vers la mer (phénomène des moussons).

Il existe une zone de convergence des vents au niveau de l'équateur. On appelle cette zone: la *zone de convergence intertropicale* (signalée par la ligne foncée dans la zone intertropicale) correspondant à l'équateur thermique. Cette zone oscille du nord au sud au rythme des saisons. Elle se trouve dans l'hémisphère nord en été boréal et dans l'Hémisphère Sud en été austral.

Schéma de la circulation atmosphérique au niveau de la mer ("+" montrent les régions de haute pression et les "-" celles de basse pression)



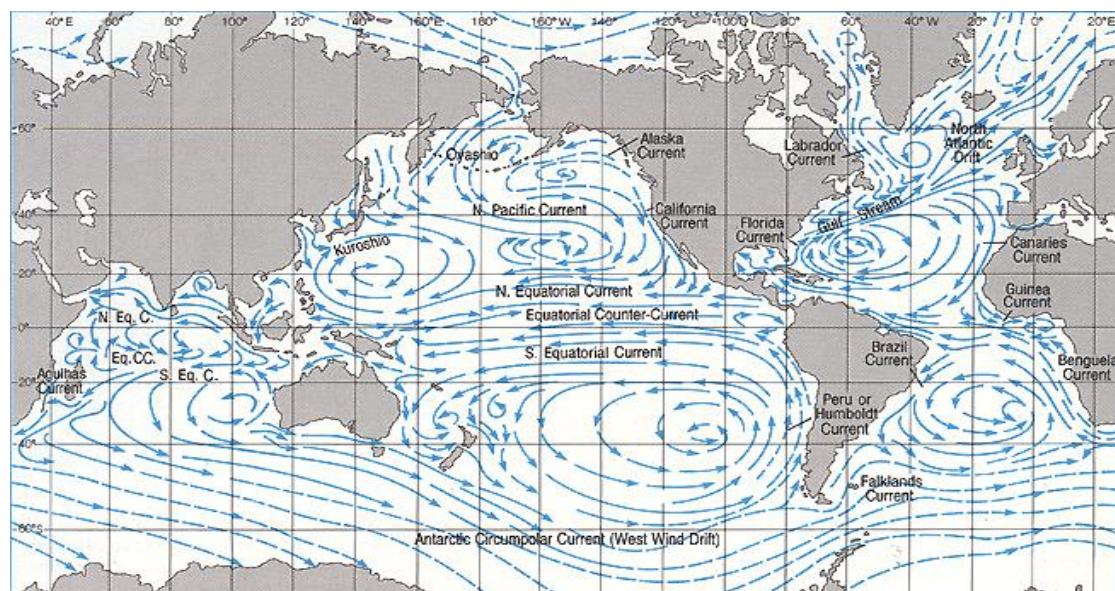
## 1.5 Circulation océanique

Pour mesurer leur flux, on utilise comme unité le Sverdrup (Sv), qui vaut un million de  $\text{m}^3/\text{s}$ . Pour fixer les ordres de grandeur : l'ensemble des rivières du monde forme un flux de à peu près 1 Sv (l'Amazone est responsable d'environ un cinquième du volume total d'eau douce déversée dans les océans du monde, en moyenne 0,18 Sv) et les précipitations au-dessus des océans sont de l'ordre de 10 Sv.

La carte générale des **courants océaniques** de surface a été obtenue en exploitant les livres de bord de nombreux navigateurs puis affinée par les études océanographiques engagées dès la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle.

Dans l'hémisphère nord, on parle de circulation cyclonique, lorsque les courants ont tendance à tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. On parle de circulation anticyclonique lorsque les courants ont tendance à tourner dans le sens des aiguilles d'une montre. Dans l'hémisphère sud, c'est l'inverse.

### 1.5.1. Courants marins de surface



### **Circulation aux basses latitudes**

La force de Coriolis (voir 5.2) est faible près de l'équateur. Les Alizés entraînent donc l'eau dans le sens du vent, c'est à dire vers l'ouest, où elle tend à s'empiler. De plus, au cours de son déplacement vers l'ouest, l'eau se réchauffe et se dilate. Pour ces deux raisons, le niveau de la mer est plus élevé d'environ cinquante centimètres à l'ouest des océans tropicaux. Une partie de cette eau alimente les courants comme le Gulf Stream et le Kuroshio et une autre partie revient dans le sens de la pente, toujours par suite de la faiblesse des déviations de Coriolis. C'est pourquoi on rencontre des courants de retour vers l'est, appelés contre-courants ou sous-courants équatoriaux (ces derniers circulant sous la surface, le long de l'équateur).

## **Moyennes et hautes latitudes**

### **- l'Atlantique Nord**

Le Courant Equatorial Nord se prolonge par le Courant des Antilles qui converge avec le Courant de Floride sortant du Golfe du Mexique pour donner le Gulf Stream, puissant courant dont le flux peut atteindre 90 Sv ( $90.10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Le Gulf Stream tourne autour de l'empilement situé au centre de l'Atlantique nord (gyre anticyclonique subtropical). Une partie de ce courant s'infléchit vers le sud en formant de nombreux tourbillons, une autre partie continue vers l'est : c'est la dérive nord atlantique.

Plus au nord, on rencontre un circuit océanique cyclonique (basse pression d'Islande) déformé par la présence du Groenland. La Dérive Nord Atlantique se prolonge par le Courant de Norvège, relativement chaud et salé. Au contraire, le long des côtes du Groenland, le courant froid de décharge de l'Arctique transporte icebergs et banquise vers le sud. Enfin, le Courant du Labrador transporte vers le sud, le long des côtes canadiennes et américaines, des eaux froides et vient converger avec les eaux du Gulf Stream.

### **- l'Atlantique Sud**

Le Courant du Brésil, courant de bord ouest, transporte des eaux chaudes jusqu'à la région de confluence avec le Courant des Malouines (ou des Falklands) et le courant circumpolaire, qui lui s'écoule vers l'est sans entrave continentale. A l'est, le courant froid de Benguela ferme le circuit anticyclonique de l'hémisphère sud.

### **- l'Océan Pacifique**

L'Océan Pacifique est beaucoup plus large que l'Océan Atlantique mais on y retrouve une circulation océanique voisine du fait d'une distribution similaire des champs de pression atmosphérique entraînant des vents similaires.

Le circuit anticyclonique comprend le Courant Equatorial Nord, puis le Kuroshio, courant chaud similaire au Gulf Stream. Ce courant se prolonge par la Dérive Nord Pacifique qui assure aux côtes américaines un climat semblable à celui de l'europe de l'ouest. Enfin, le circuit anticyclonique se boucle par le Courant de Californie.

Au nord de cette circulation anticyclonique, se forme une circulation cyclonique sous les basses pressions des Aléoutiennes. Ce circuit est alimenté par le Courant de l'Alaska, le Courant des Aléoutiennes et, vers le sud, par le Courant du Kamtchatka et de l'Oyashio, courants froids qui descendent de la mer de Béring puis convergent avec les eaux chaudes du Kuroshio.

Les hautes pressions subtropicales sud, entraînent une circulation anticyclonique dans le Pacifique Sud : Courant Est Australien, Courant Circumpolaire, Courant du Pérou et fermeture du circuit par le Courant Equatorial Sud.

### **- l'Océan Indien**

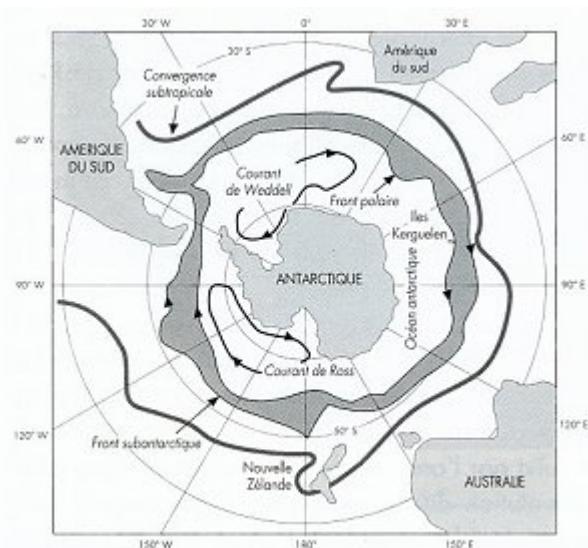
L'Océan Indien est sous l'influence d'une circulation subtropicale anticyclonique semblable à celle des autres bassins océaniques.

Le Courant Equatorial Sud se sépare en deux près de Madagascar : une branche passe au nord de l'île; l'autre branche, le Courant Est Malgache se dirige vers le sud et se prolonge le long de la côte africaine par le Courant des Aiguilles. Ce courant d'origine tropical, rencontre à la pointe sud de l'Afrique, le puissant Courant Circumpolaire qui entraîne une grande partie de ses eaux vers l'est provoquant de nombreux tourbillons. Le long des côtes australiennes, le courant portant au nord se détache de la côte sous l'influence d'un courant côtier sud (courant de Leuwin).

En raison de sa fermeture continentale asiatique autour de 20°N, l'Océan Indien subit deux fois par an, un renversement des vents : c'est le régime des moussons. Comme cet océan se situe en région tropicale où la force de Coriolis est plus faible, la circulation océanique répond rapidement au vent et s'inverse donc aussi deux fois par an : c'est la région du monde qui présente la plus forte variabilité océanique.

## L'Océan Antarctique

Entraîné par les violents vents d'ouest ("quarantièmes rugissants et cinquantièmes hurlants"), le Courant Circumpolaire est le courant le plus puissant du globe. Il se développe sans entrave continentale à l'exception du resserrement entre la pointe de l'Amérique du Sud et la péninsule antarctique.

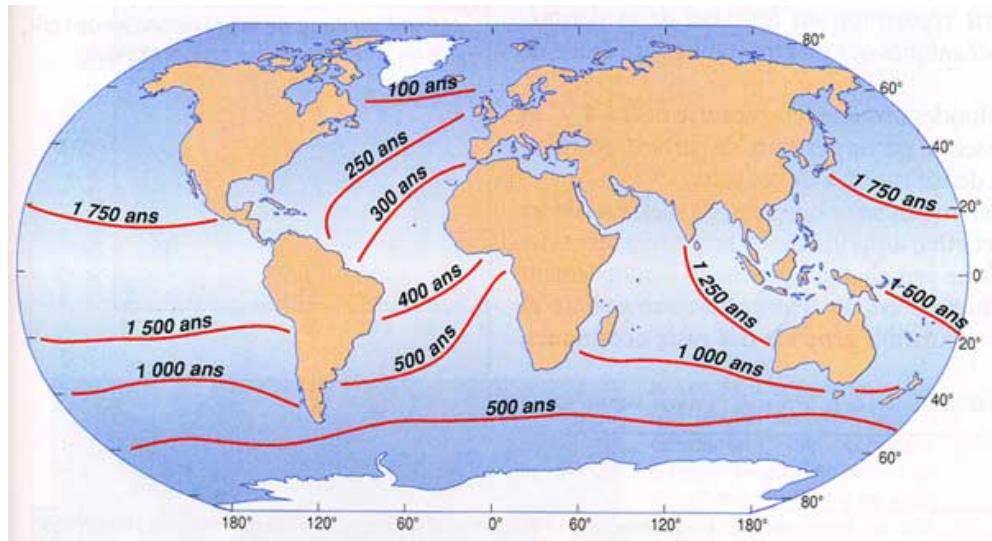


### 1.5.2. Circulation profonde

En profondeur, les masses d'eau se déplacent sous l'effet de variations de densité dues aux modifications de la température et de la salinité en surface (voir Section 4.4); cette circulation des courants profonds est appelée circulation thermohaline.

Cette circulation est difficile à mesurer directement. Elle est surtout déduite de la distribution de traceurs, tels que la température, la salinité, la teneur en oxygène et, depuis peu, de l'évolution de nouveaux traceurs tels que les fréons (chlorofluorocarbones) rejettés depuis une cinquantaine d'années par les bombes aériennes et les réfrigérateurs, le tritium et le  $^{14}\text{C}$  injectés dans l'atmosphère lors des essais nucléaires des années 1960.

Age des eaux profondes (3000 m de profondeur) exprimé en années et déterminé à l'aide du carbone 14.

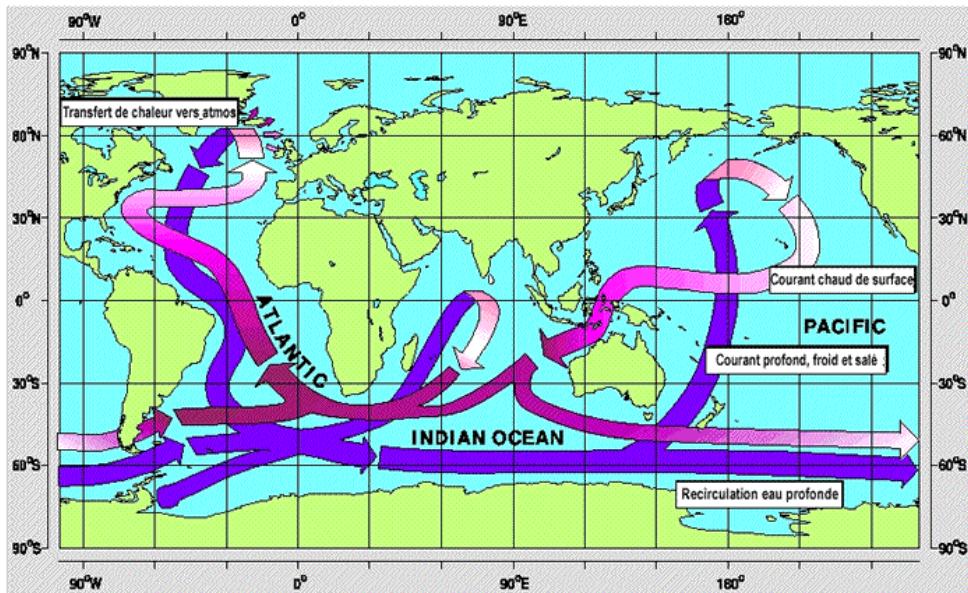


La vitesse moyenne des courants profonds est très faible (de l'ordre du  $\text{mm.s}^{-1}$ ). La durée du trajet de l'eau nord-atlantique profonde jusque dans les océans Pacifique et Indien serait de l'ordre de cinq cents ans.

Les flux d'eau profonde sont plus difficiles à évaluer que ceux des courants de surface, mais ils sont du même ordre de grandeur. Le transport d'eau nord-atlantique profonde vers le sud est de 18 Sv. Le transport d'eau antarctique intermédiaire dans les trois océans serait de l'ordre de 30 Sv.

### Circulation thermohaline atlantique

Adapté par Maier-Reimer d'après Broeker



<http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Climats/Ocean/Articles/circulprofond.htm>  
[http://www-geoazur.unice.fr/SCTERRE/cours\\_en\\_ligne/doc\\_cours/CTH&ElninoL3SVT.ppt](http://www-geoazur.unice.fr/SCTERRE/cours_en_ligne/doc_cours/CTH&ElninoL3SVT.ppt)  
 Animation de la circulation thermohaline

L'eau superficielle chaude et de faible salinité qui remonte dans l'Atlantique nord, s'évapore, se refroidit, gèle partiellement, se sursale, plonge et alimente la masse de NADW. Celle-ci se répand vers 3000 m dans l'Atlantique sud en une circulation profonde, froide et salée que surmontent l'Eau Antarctique de Fond (EAF). Cette eau diffuse ensuite dans l'Océan Indien et dans l'Océan Pacifique, où un réchauffement et baisse de salinité induisent son retour en surface.

Grâce à l'énorme capacité thermique de l'eau, l'océan est un énorme réservoir de chaleur. Son inertie thermique étant beaucoup plus importante de celle de l'air, il tempère les changements thermiques saisonniers des masses d'air, qui, autrement, seraient beaucoup plus importants. Ainsi les courants chauds des couches de surface peuvent réchauffer le climat d'une région. A l'inverse, les eaux froides qui remontent en surface modèrent la température des eaux des régions équatoriales. Cependant cette circulation reste mal connue car difficile à mesurer directement.

L'océan joue ainsi un rôle essentiel pour la régulation du climat de notre planète et il assure un transport de chaleur de l'équateur vers les pôles aussi important que l'atmosphère.