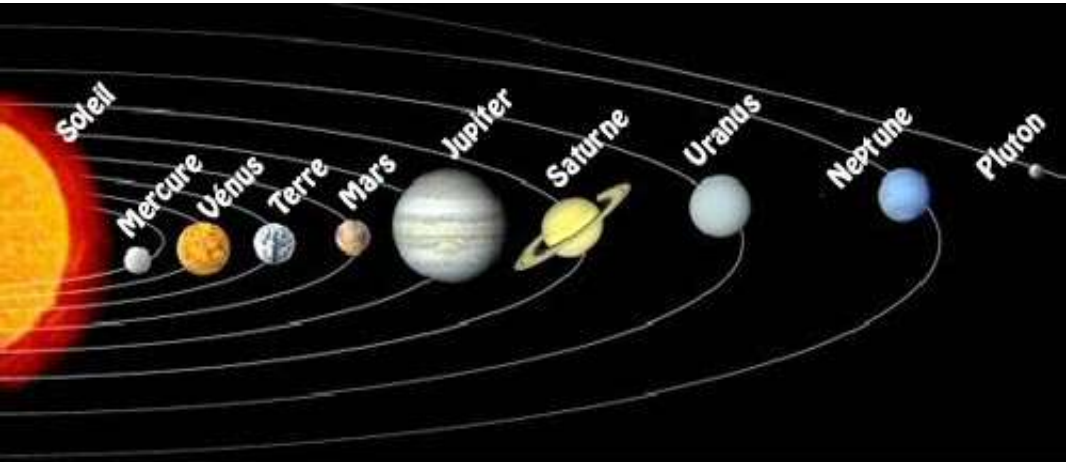


# BG – C Le climat de la Terre

# BG – C – 1 et 2 L'atmosphère et l'océan



<https://www.asc-csa.gc.ca/fra/astonomie/systeme-solaire/terre.asp>

<https://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/objets/Images/atmosphere-stratification/atmosphere-stratification-fig10.jpg>

# Document 2.

## Structure verticale de l'atmosphère

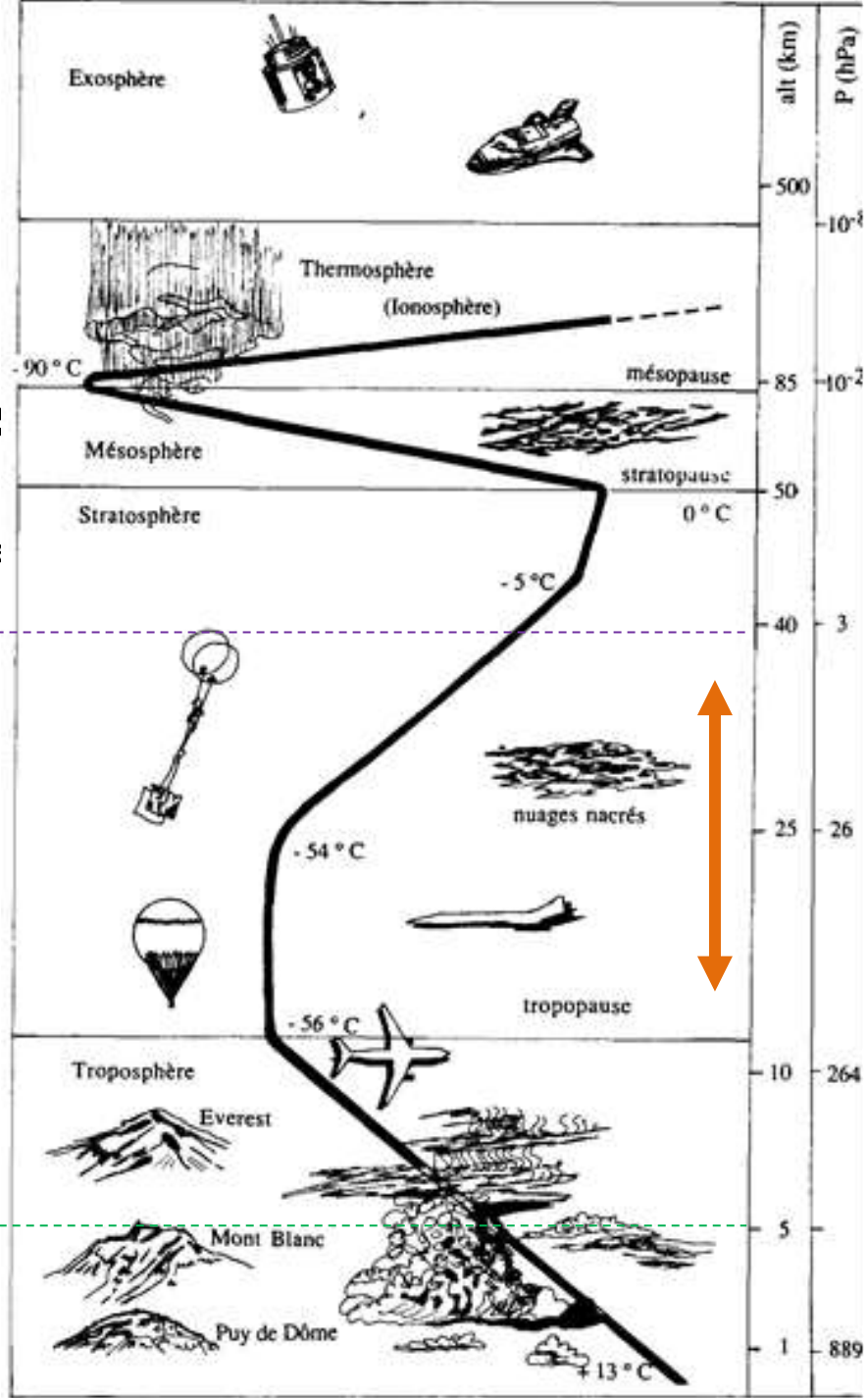
(l'échelle des altitudes n'est pas respectée).

(Caron et coll. "Comprendre et enseigner la Planète Terre", Ophrys Ed.).

99 % de la masse de l'atmosphère

Masse atmosphère :  $5 \cdot 10^{18}$  kg

50 % de la masse de l'atmosphère

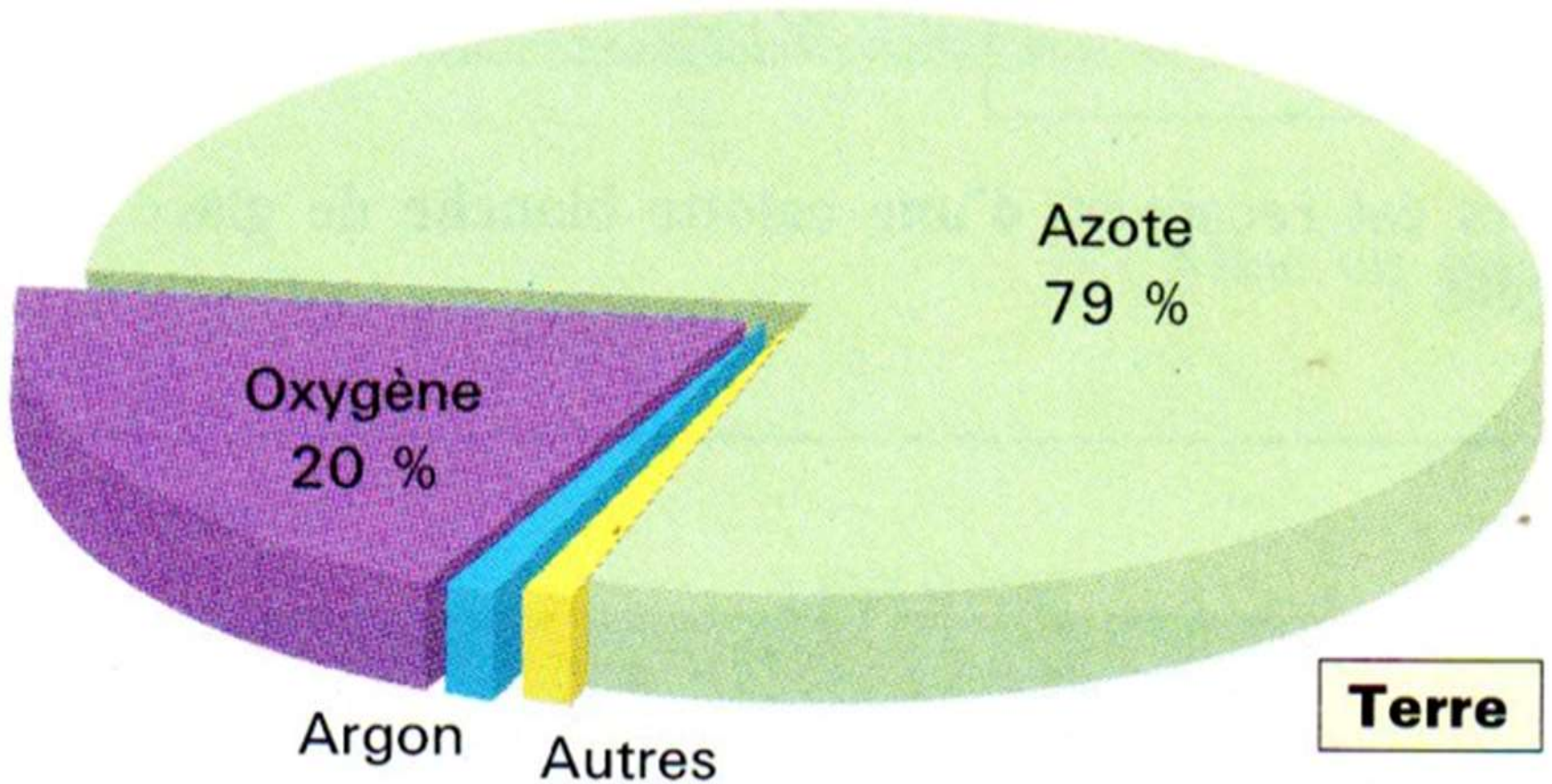


Epaisseur maximale 1 000 km

couche d'ozone (15 – 35 km) absorbant les UV

Eau à l'état vapeur : jusqu'à 7 %

# Composition de l'atmosphère terrestre

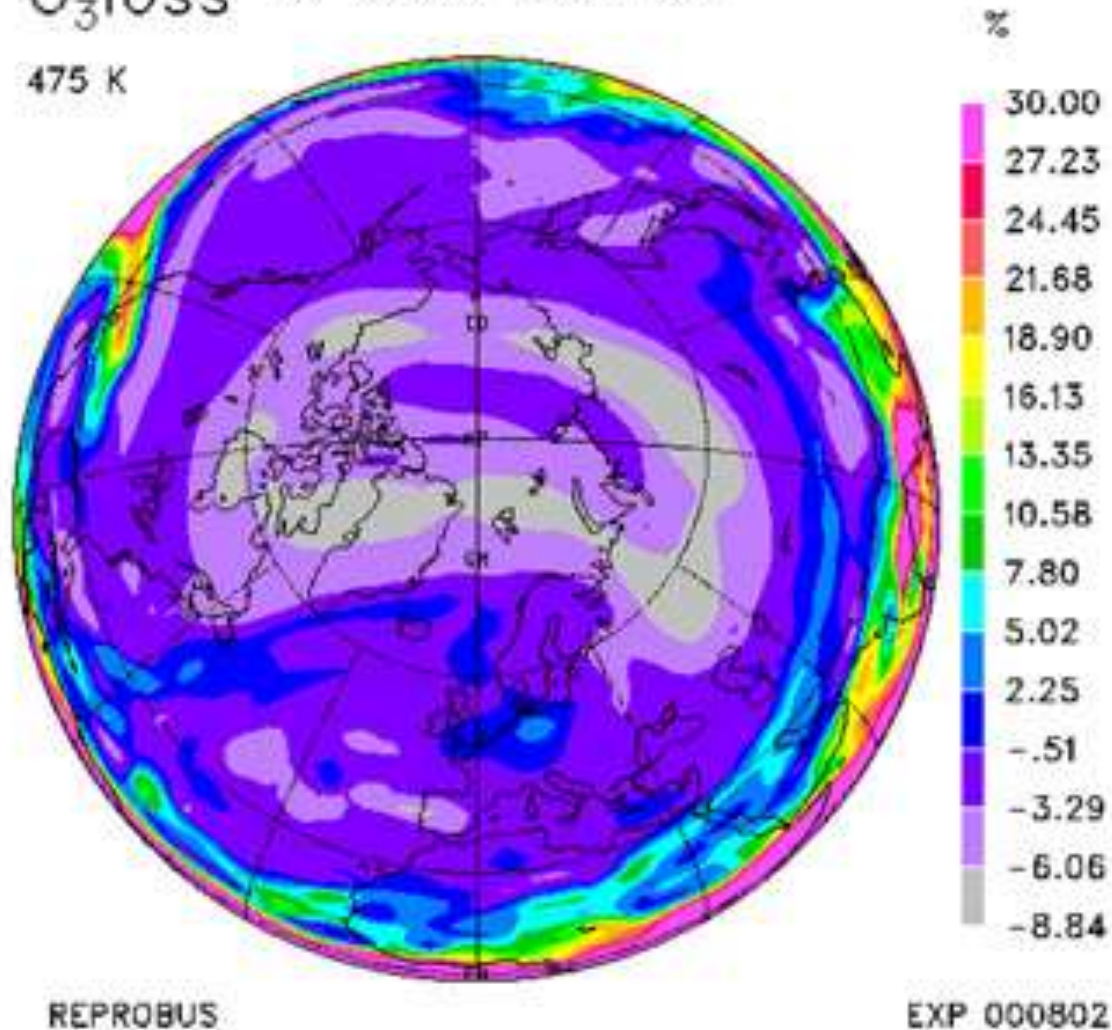


**Document 1.**  
**Composition**  
**détaillée de**  
**l'atmosphère**  
**terrestre.**

<b>b</b> Constituants dont la composition ne varie pas en fonction de l'altitude	
<b>Gaz constituant l'air sec</b>	<b>Volume</b> (en pourcentage)
Diazote (N <sub>2</sub> )	78,084
Dioxygène (O <sub>2</sub> )	20,948
Argon (A)	0,934
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	0,035
Néon (Ne)	1,8.10 <sup>-3</sup>
Hélium (He)	5,24.10 <sup>-4</sup>
Krypton (Kr)	1,14.10 <sup>-4</sup>
Méthane (CH <sub>4</sub> )	2.10 <sup>-4</sup>
Autres hydrocarbures	2.10 <sup>-4</sup>
<b>Constituants dont la composition varie...</b>	
<b>Gaz</b>	<b>Volume</b> (en pourcentage)
Eau (H <sub>2</sub> O)	0 à 7
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	0 à 10 <sup>-4</sup>
Ozone (O <sub>3</sub> )	0 à 10 <sup>-5</sup>

O<sub>3</sub>loss 16 JANUARY 2000 12UT

475 K



**Modèle photochimique à trois dimensions, simulant l'ozone de l'atmosphère et modélisant sa diminution dans la stratosphère arctique.**  
Le modèle a été réalisé le 16 janvier 2000 pendant la campagne Theseo/Solve.

# Une atmosphère stratifiée

Stratification de la stratosphère observée le 22 juin 1996 depuis la navette spatiale lors du lever du Soleil.



Le volcan Redoubt en éruption en Alaska le 21 avril 1990. Le dégagement de poussières et de gaz s'étend jusqu'à la tropopause mais, faute d'énergie suffisante, le nuage s'étale horizontalement et ne s'étend pas dans la stratosphère car cette région accuse une importante inversion de température, très peu d'humidité et pas de mouvements convectifs. La masse d'air est donc stratifiée et présente un caractère de stabilité quasi absolu.



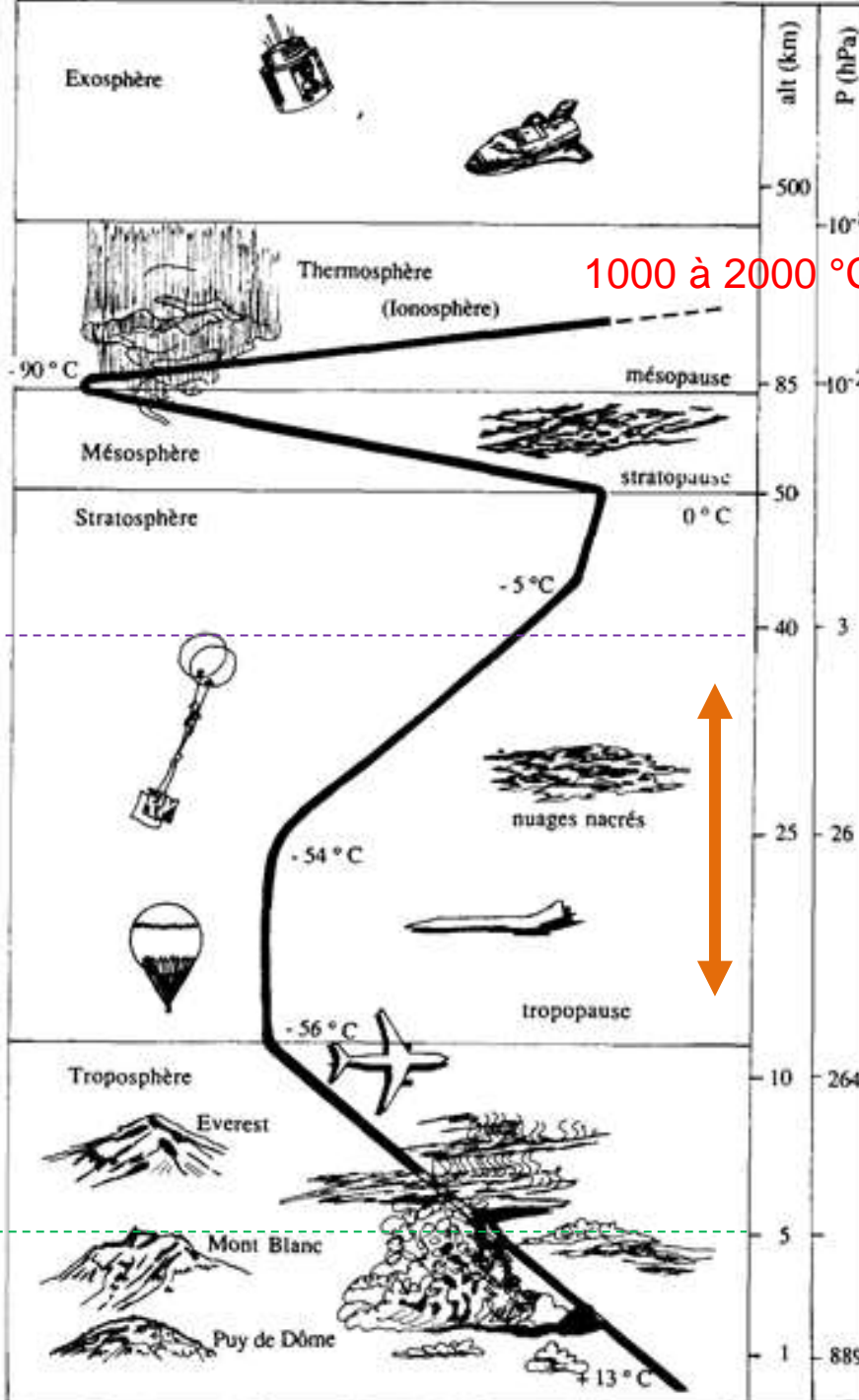
# Document 2. Structure verticale de l'atmosphère

(l'échelle des altitudes n'est pas respectée).

(Caron et coll. "Comprendre et enseigner la Planète Terre", Ophrys Ed.).

99 % de la masse de l'atmosphère

50 % de la masse de l'atmosphère

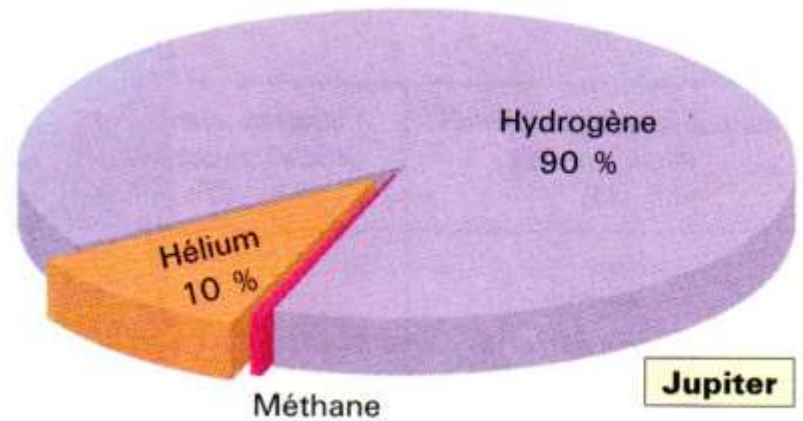
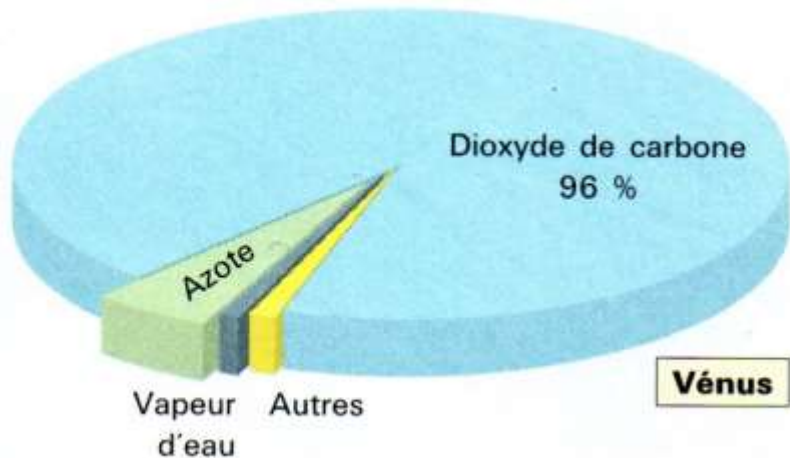
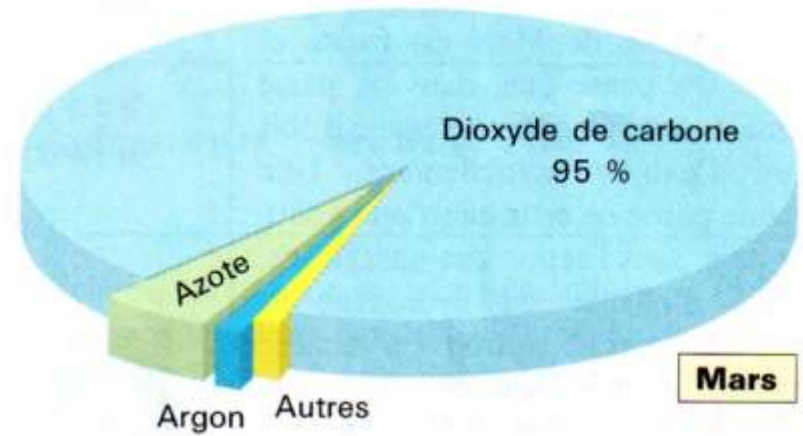
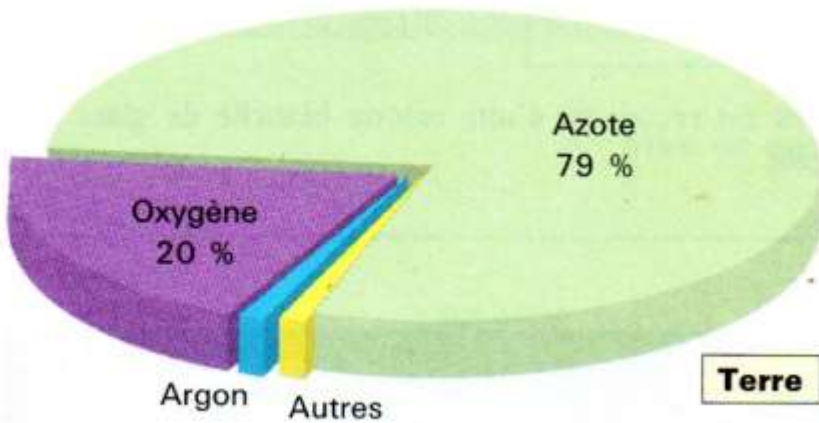


1000 à 2000 °C Ionisation des molécules  
→ aurores boréales

Inversion de température due à la présence de la couche d'ozone (15 – 35 km) absorbant les UV

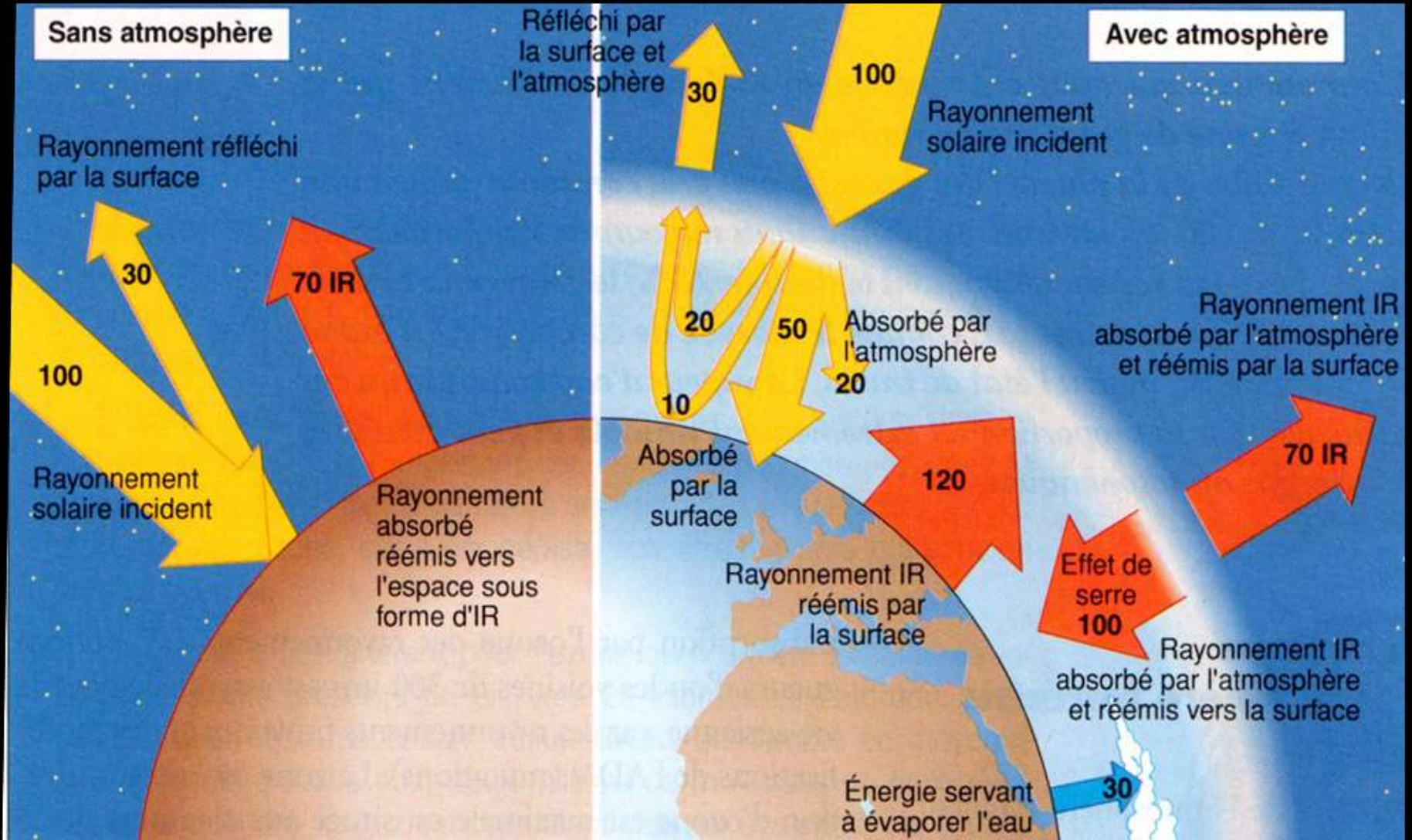
Zone des vents, des nuages et autres phénomènes météorologiques

# Document 3. Composition de l'atmosphère terrestre et d'autres planètes.



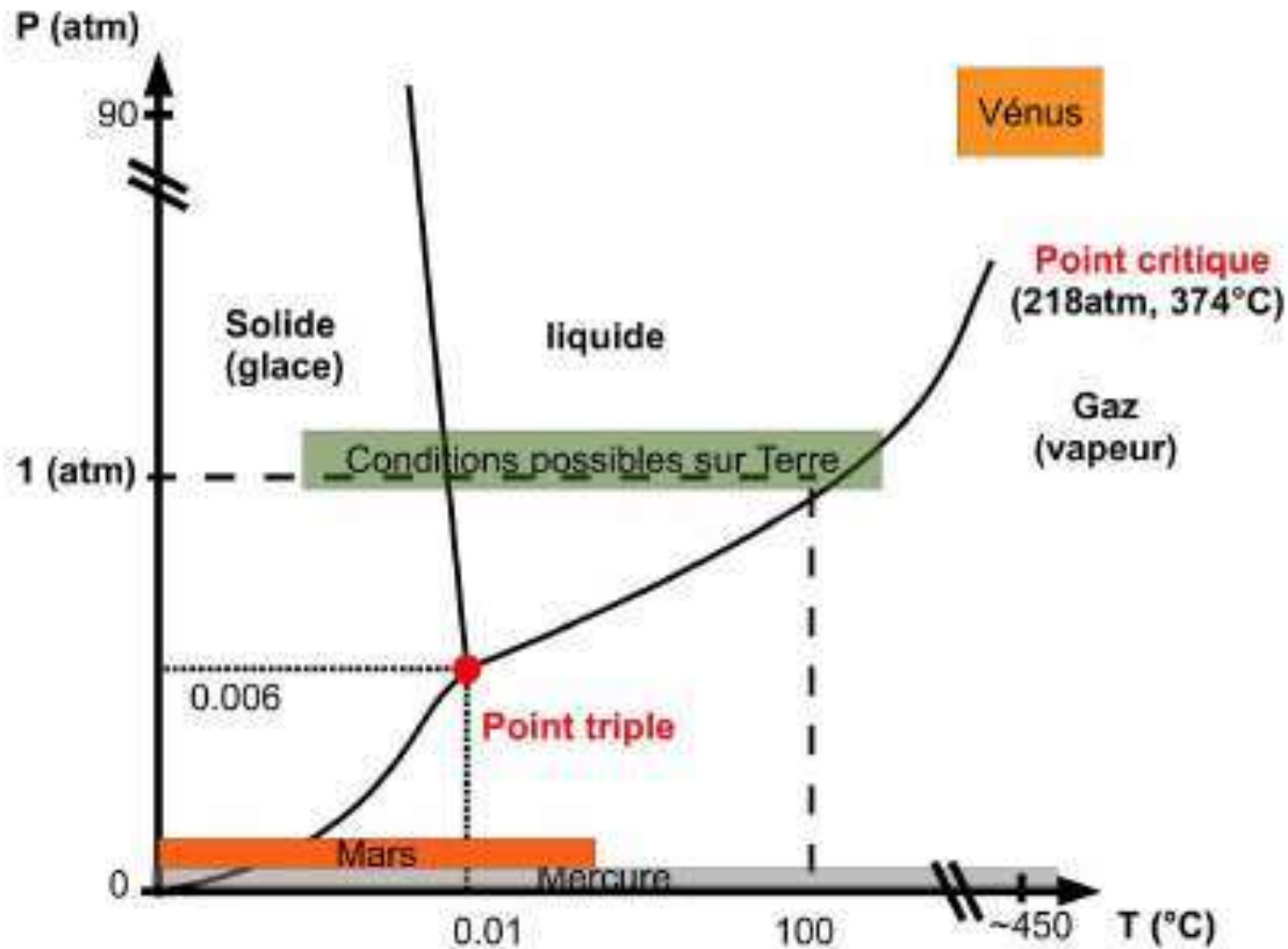


# Atmosphère terrestre et effet de serre



$T = -18^{\circ}\text{C}$

$T = +14^{\circ}\text{C}$



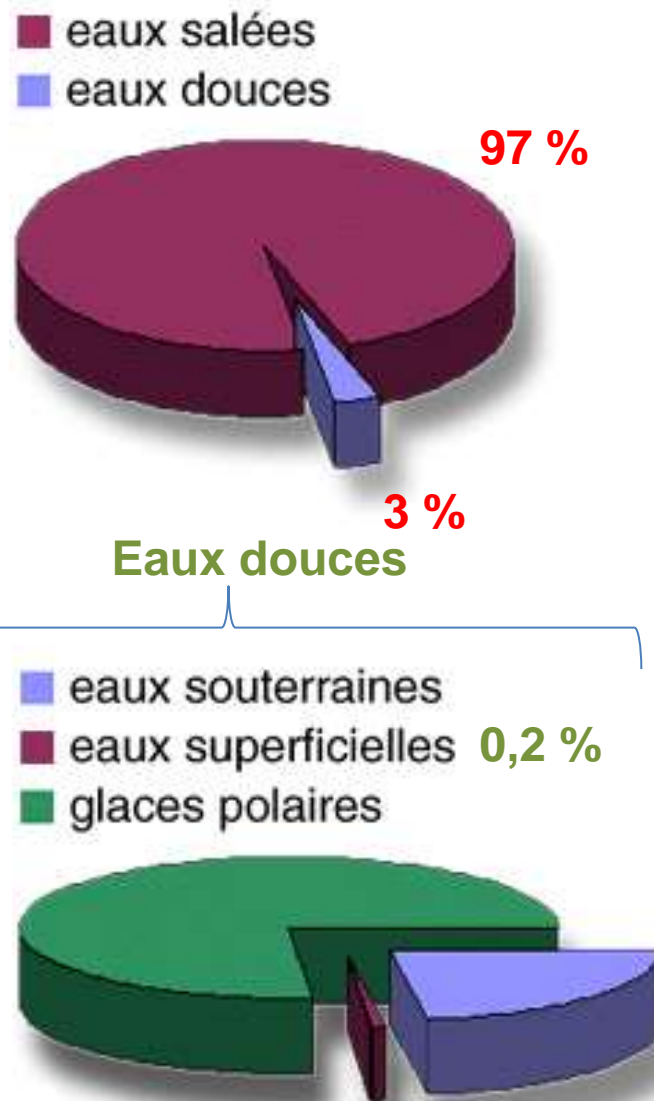
**Document 4. Diagramme de phase de l'eau avec les différentes conditions pression-température régnant sur les planètes telluriques.**

# Document 5. Les réservoirs d'eau sur Terre.

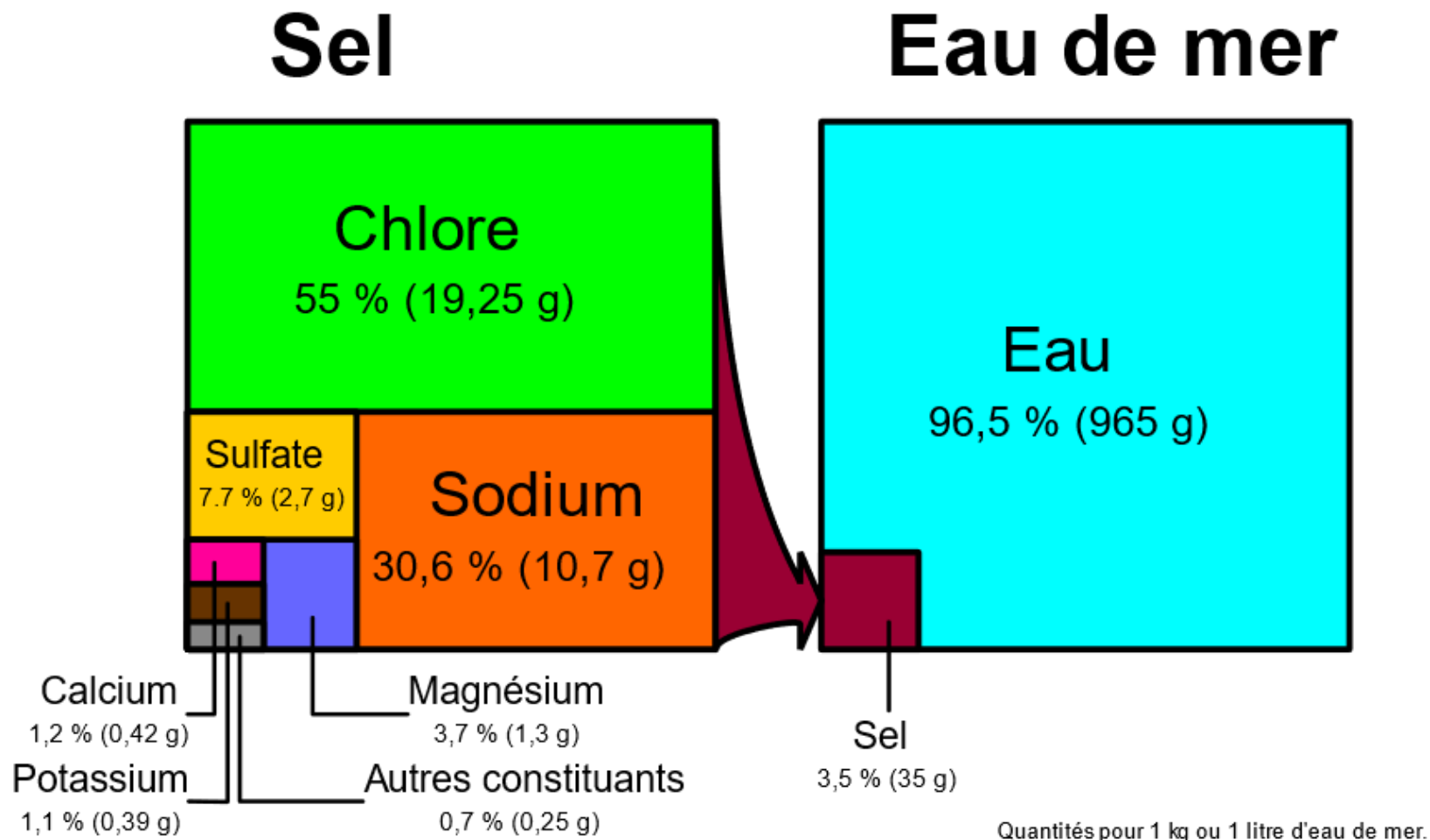
(Caron et coll. «Comprendre et enseigner la Planète Terre», Ophrys Ed.).

Les réservoirs	Les stocks
Océans	1 350 000 000
Eaux continentales	35 976 700
Glaciers	27 500 000
Eaux souterraines	8 200 000
Mers intérieures	105 000
Lacs d'eau douce	100 000
Humidité des sols	70 000
Rivières	1 700
Atmosphère (humidité de l'air)	13 000
Biosphère (cellules vivantes)	1 100

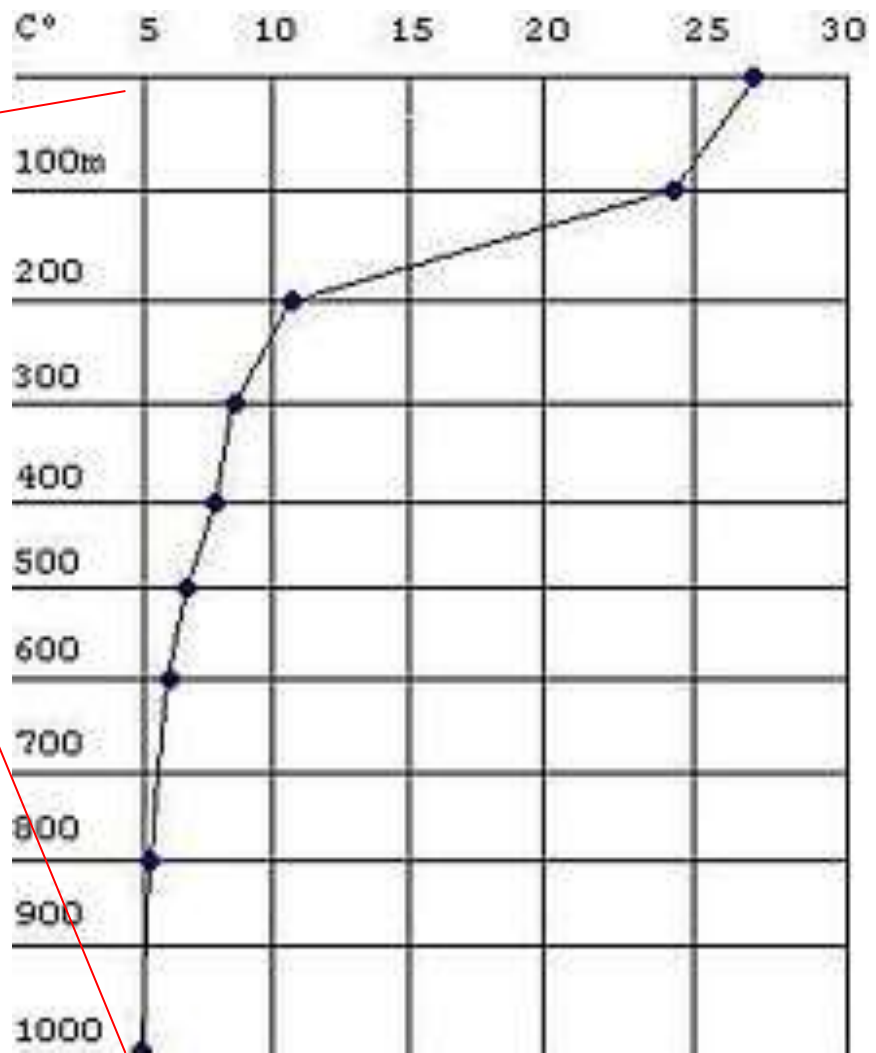
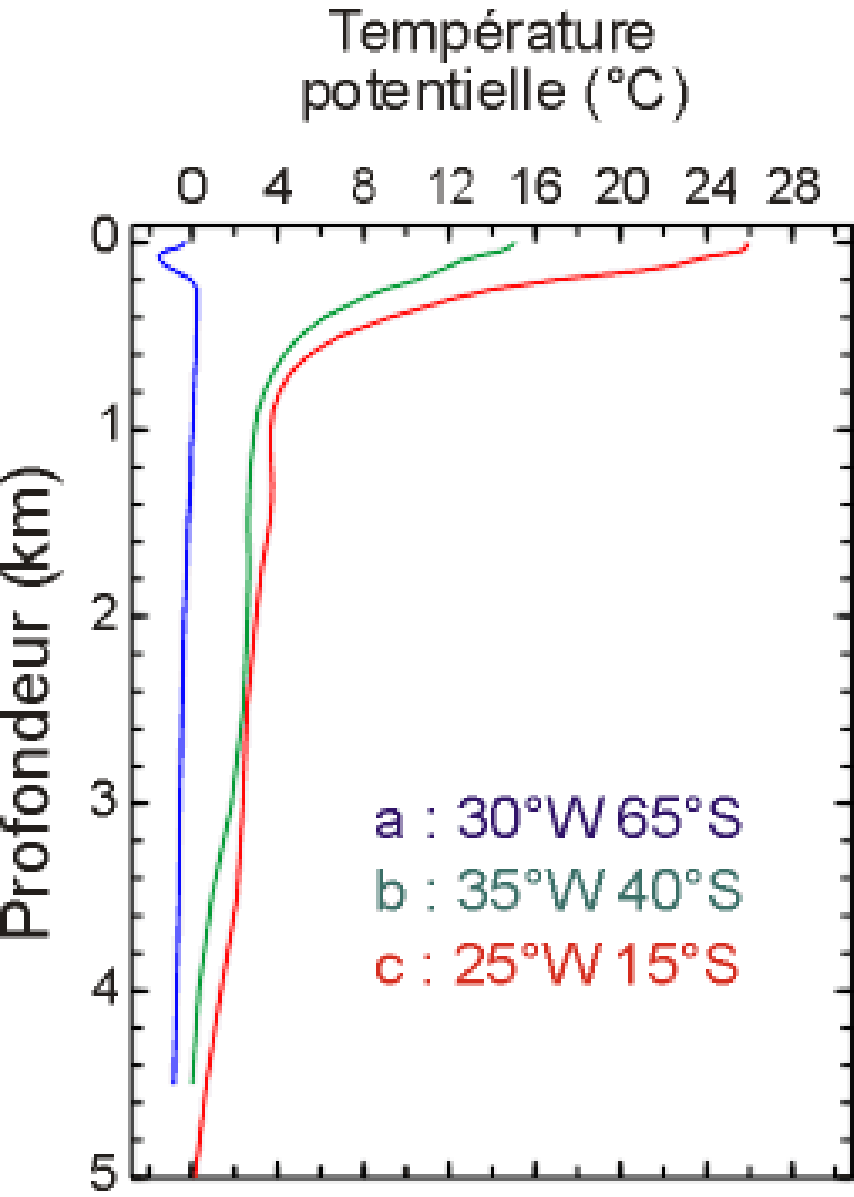
Données en km<sup>3</sup>



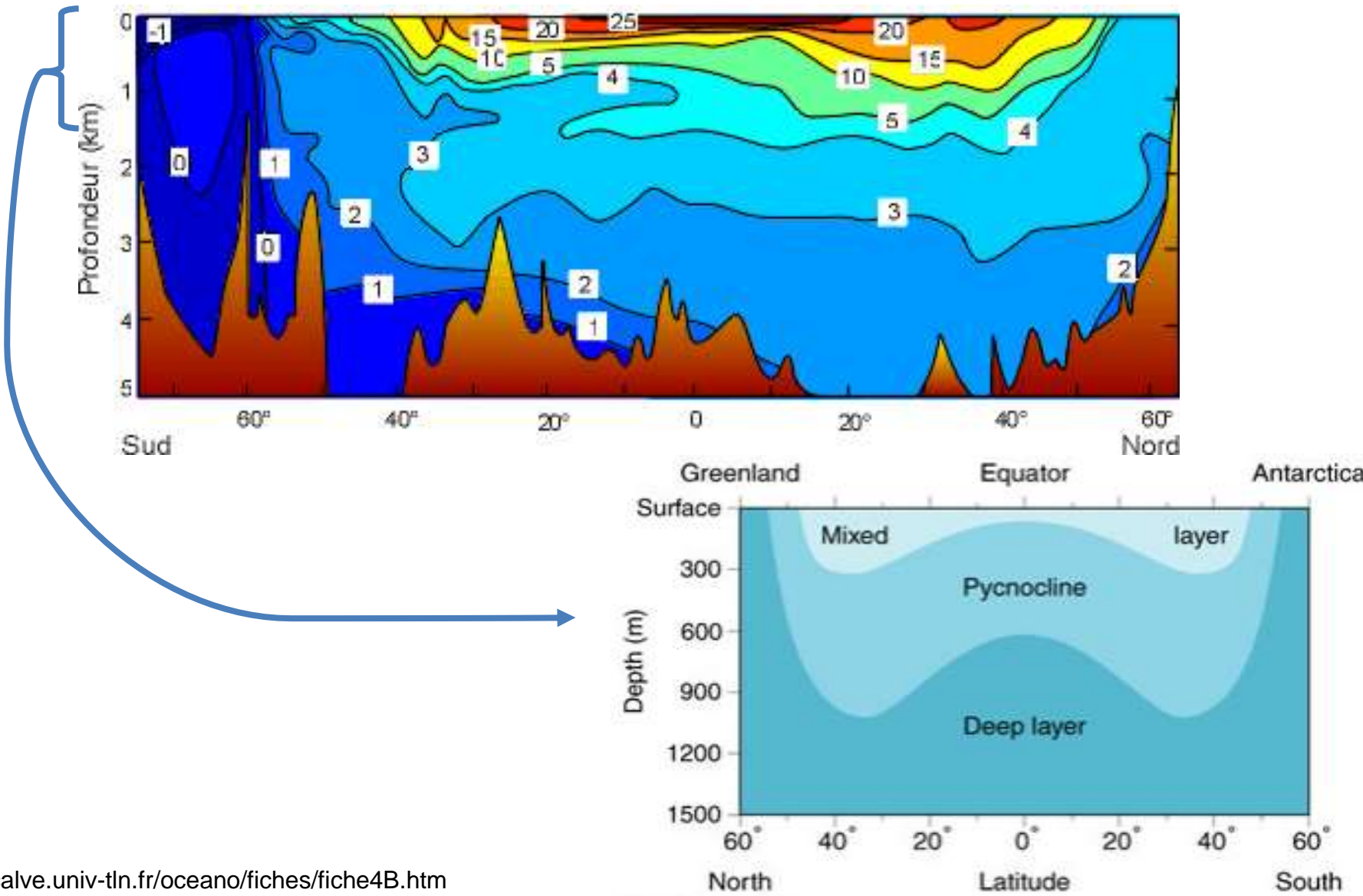
# Document 6. Composition moyenne de l'eau de mer.



# Document 6. La stratification thermique des océans.



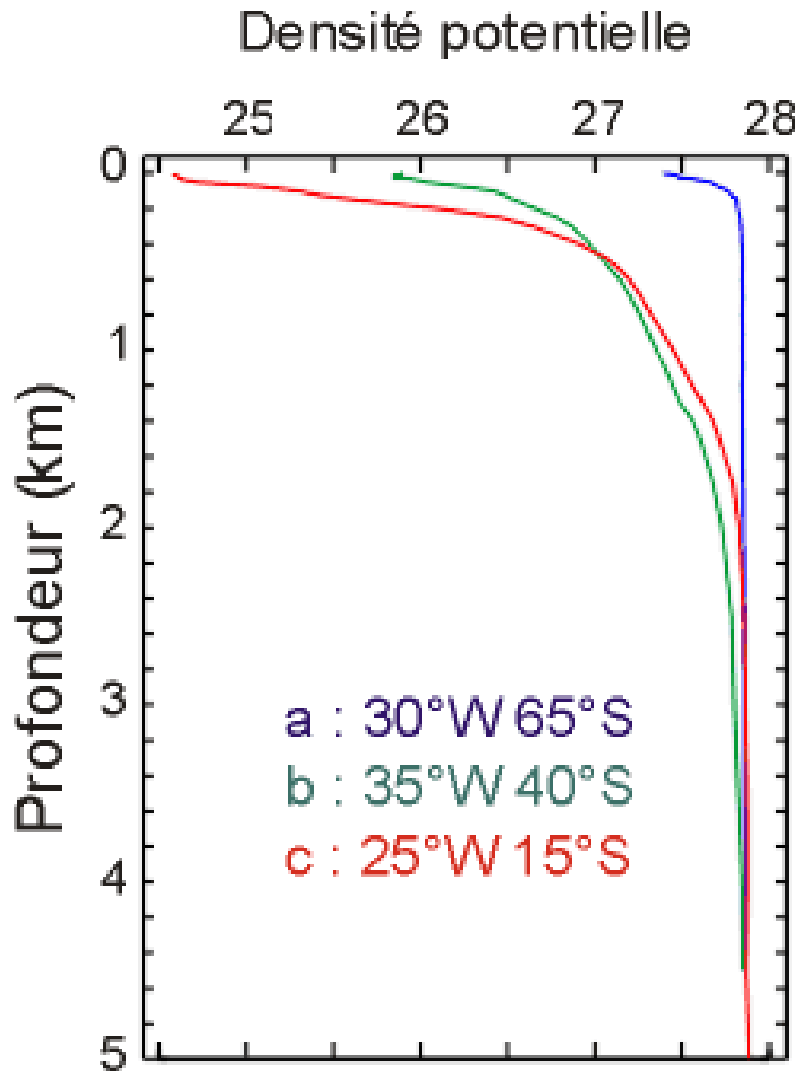
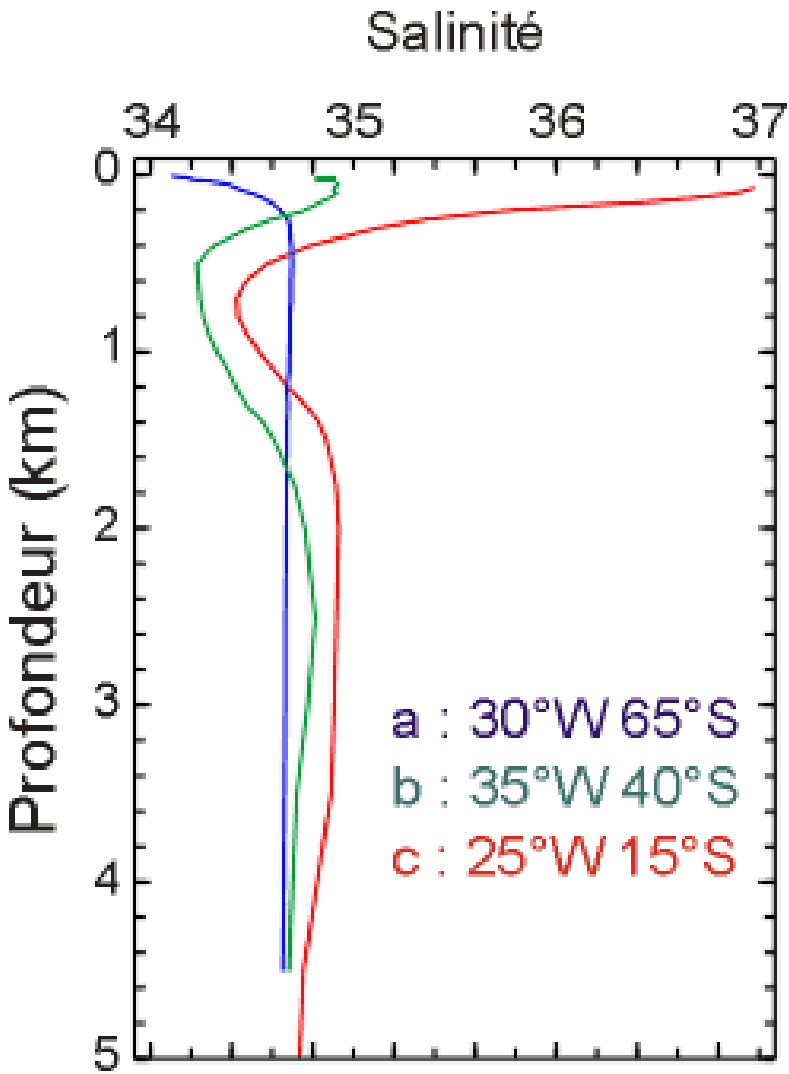
# Document 7. La stratification thermique des océans.

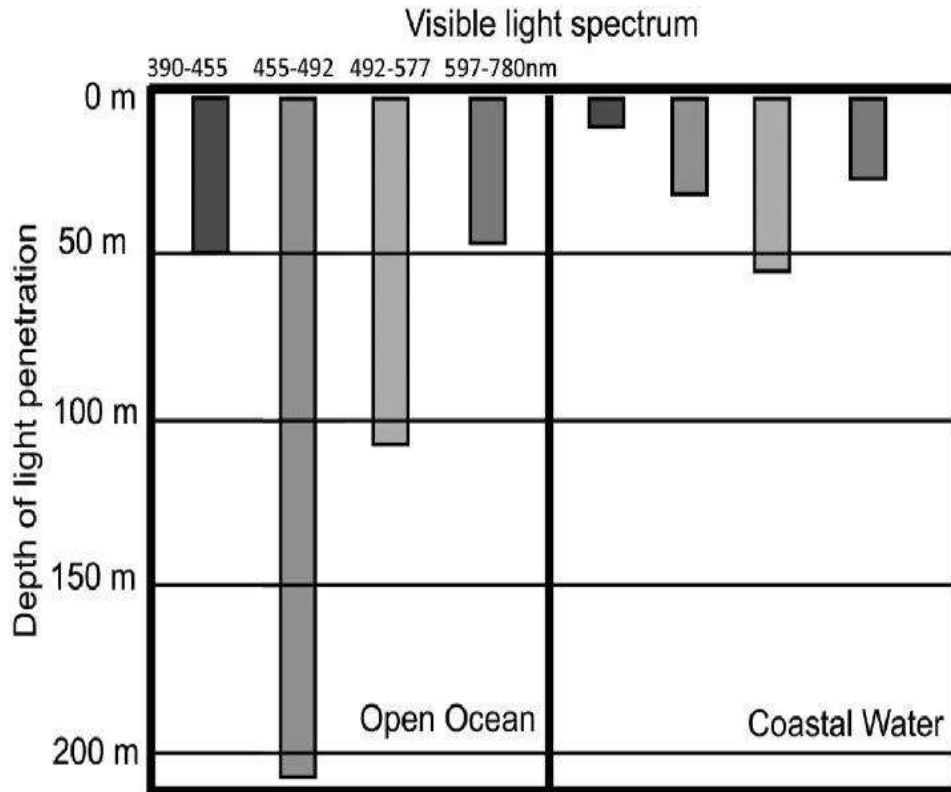


<http://lecalve.univ-tln.fr/oceano/fiches/fiche4B.htm>

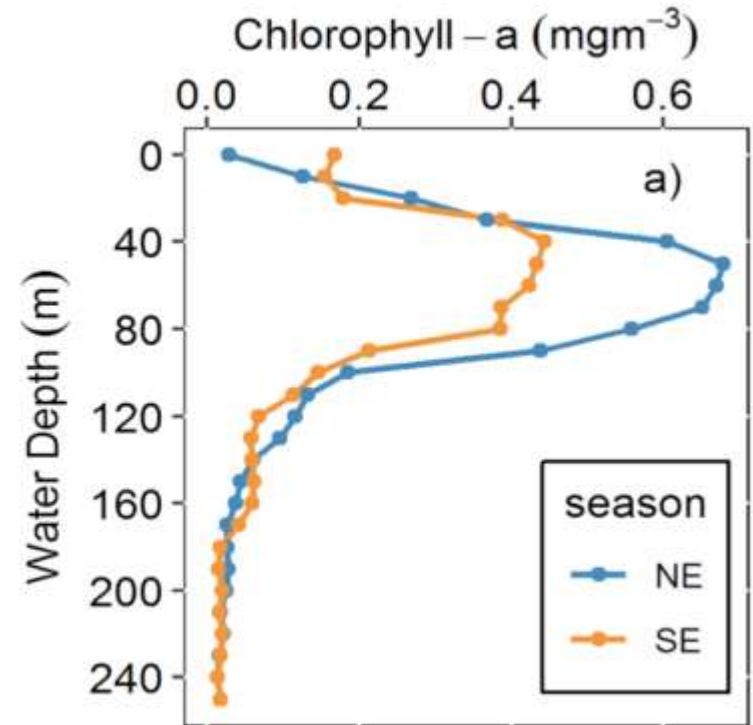
<https://www.emse.fr/~bouchardon/enseignement/processus-naturels/up1/web/wiki/MC%20-%20Ocean%20-%20Circulation%20thermohaline%20-%20Belkatir%20Coutens%20&%20Rondeau.htm>

# Document 8. Salinité et densité de l'eau des océans.





**Document 2 (TP).** Profondeur de pénétration de la lumière dans les eaux océaniques selon la longueur d'ondes.

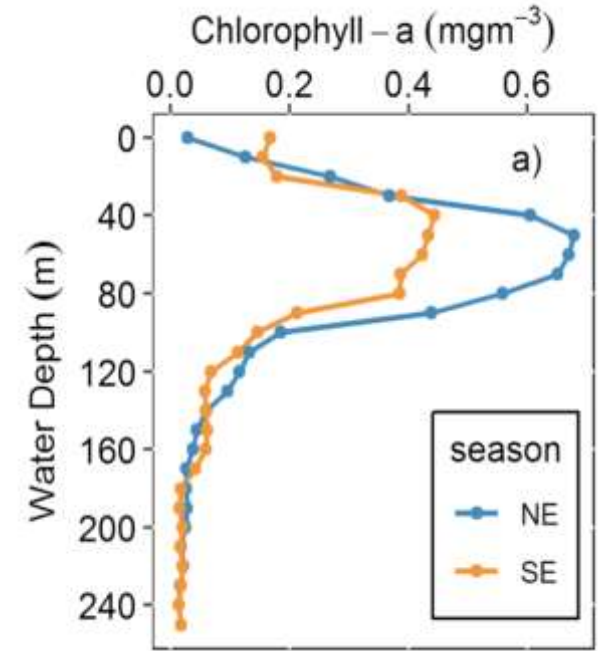
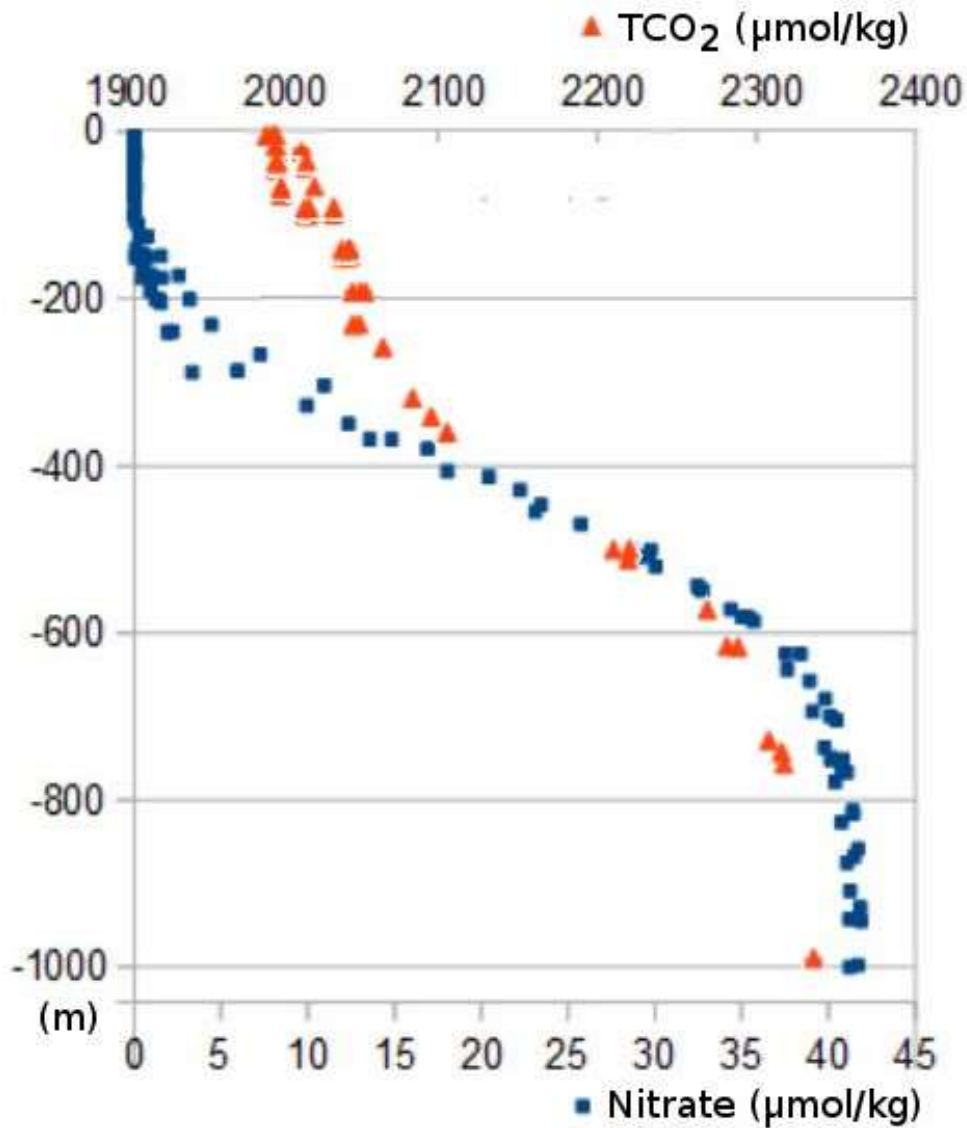


**Document 3 (TP).** Teneur en chlorophylle a en fonction de la profondeur (NE : mesures effectuées en novembre 2017, SE : mesures effectuées en juin 2018 ; étude réalisée en Tanzanie).

N. Peter, M. Semba, C. Lugomela, M. Kyewalyanga « Seasonal variability of vertical patterns in chlorophyll-a fluorescence in the coastal waters off Kimbiji, Tanzania » WIO Journal of Marine Science 20 (1) 2021 21-33



# Document 9. Teneur en nitrates et en $\text{CO}_2$ des eaux océaniques.

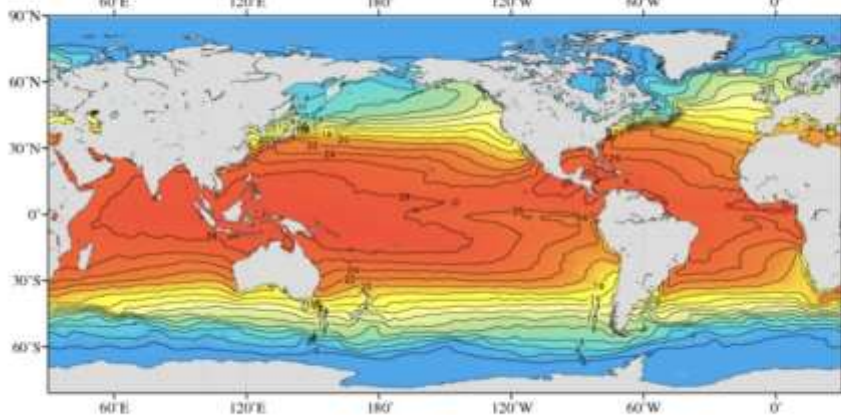


**Document 3 (TP).** Teneur en chlorophylle a en fonction de la profondeur

Profil vertical de la concentration en carbone inorganique dissous (triangles orange) et en nitrate (carrés bleus) au cours de l'été 2010 à  $20^{\circ}1' \text{ N}$ ,  $166^{\circ}11' \text{ W}$  (station Aloha, Pacifique tropical).

# TEMPERATURE

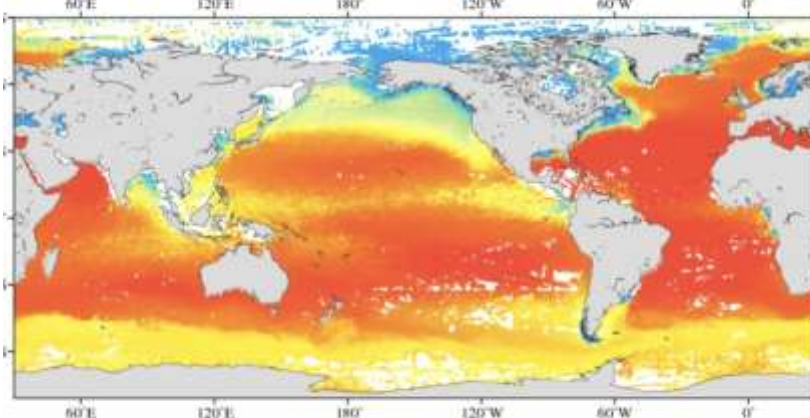
World Ocean Atlas Climatology  
Decadal average: 1981 - 2010  
Contour Interval=2



Annual temperature [°C] at the surface (quarter-degree grid)

# SALINITE

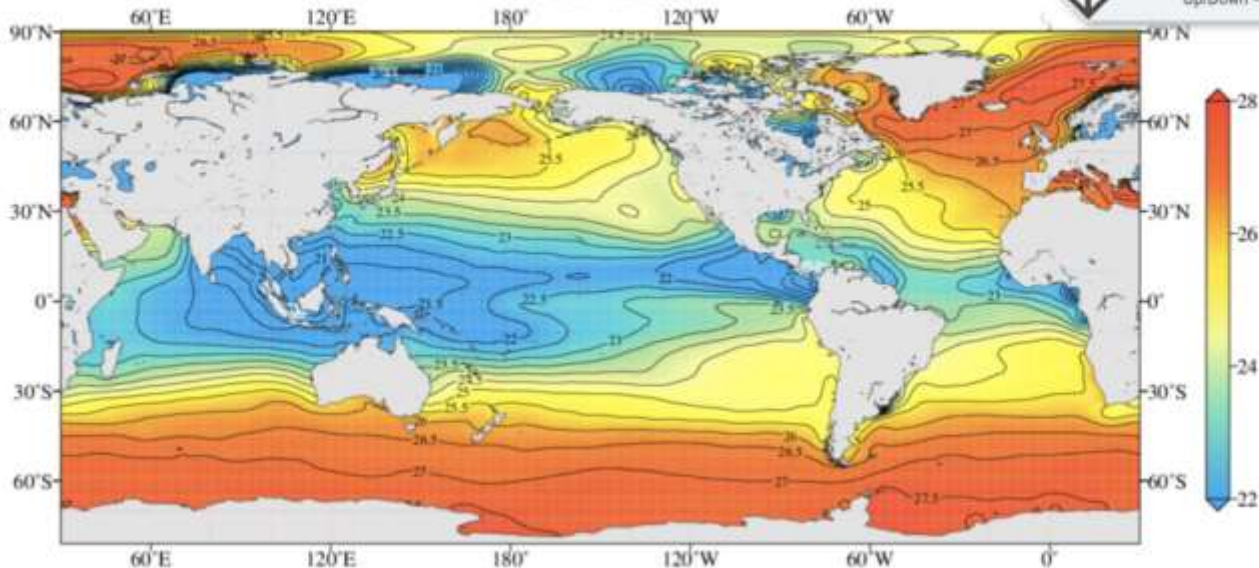
World Ocean Atlas Climatology  
Decadal average: 1981 - 2010



Annual salinity at the surface (quarter-degree grid)

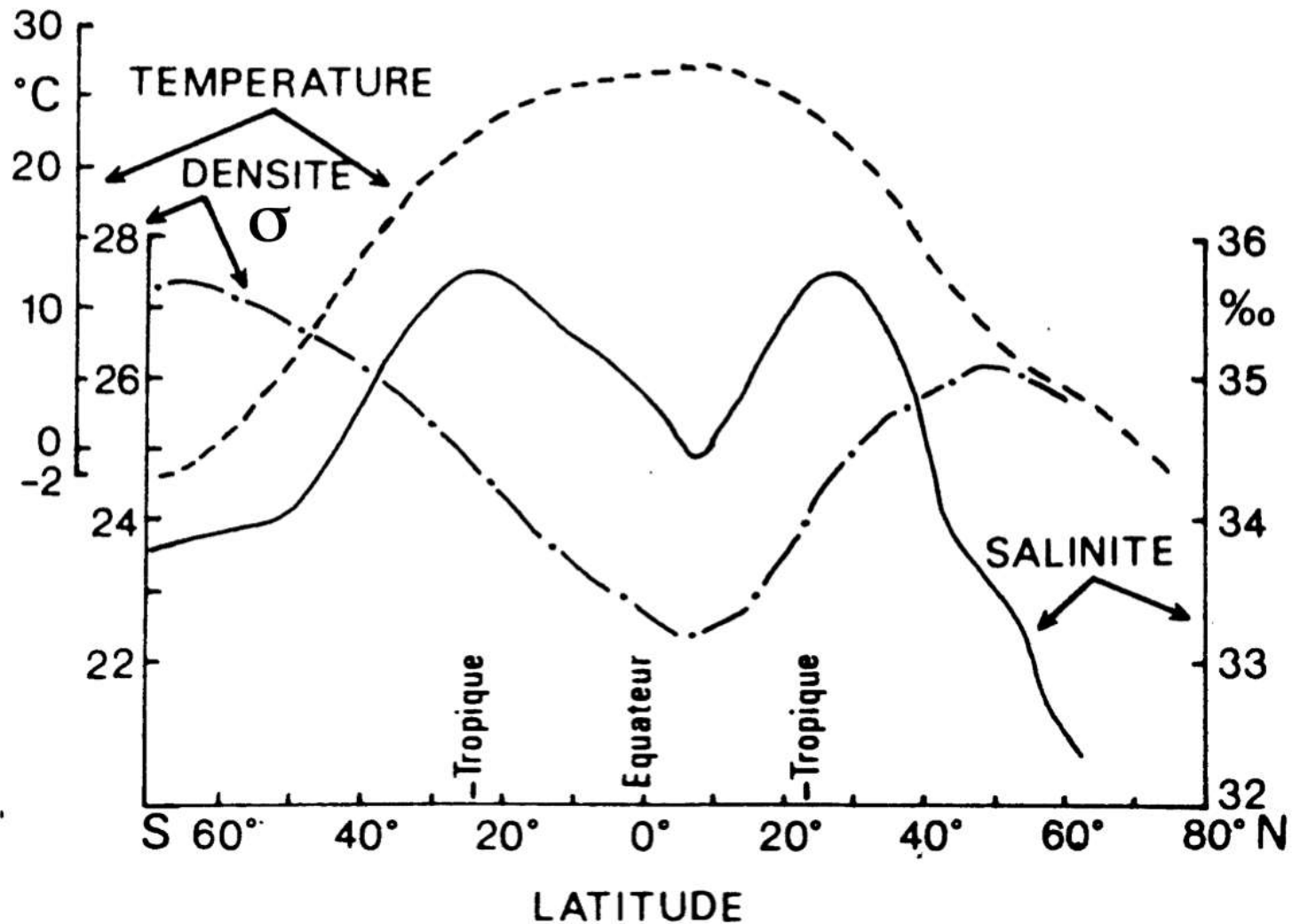
# DENSITE

World Ocean Atlas Climatology  
Decadal Average: 1981 - 2010  
Contour Interval=0.5



Annual density (sigma) at the surface (one-degree grid)

Variations  
latitudinales de  
la température,  
de la salinité et  
de la densité des  
eaux de surface



**Document 10. Variations latitudinales de la température, de la salinité et de la densité des eaux de surface.**

# [O<sub>2</sub> dissous]

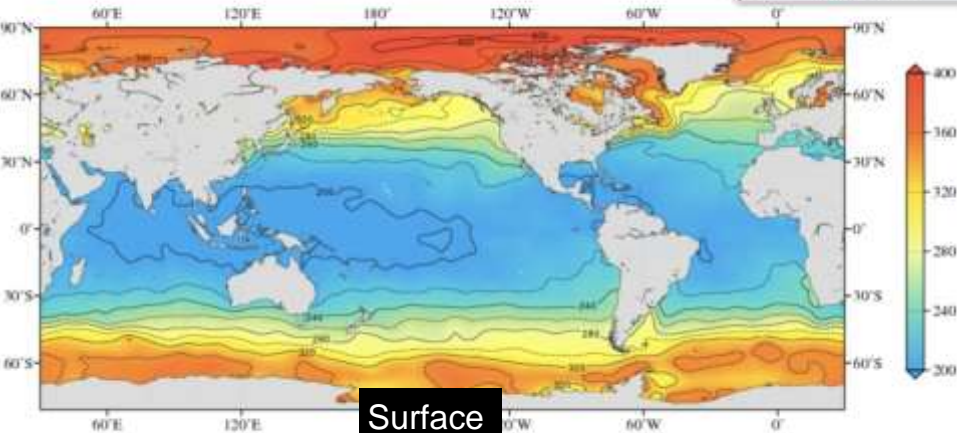
World Ocean Atlas Climatology

Contour Interval=20



Map Navigation

Left/Right = Time Periods  
Up/Down = Depths



Surface

Annual oxygen [ $\mu\text{mol/kg}$ ] at the surface (one-degree grid)

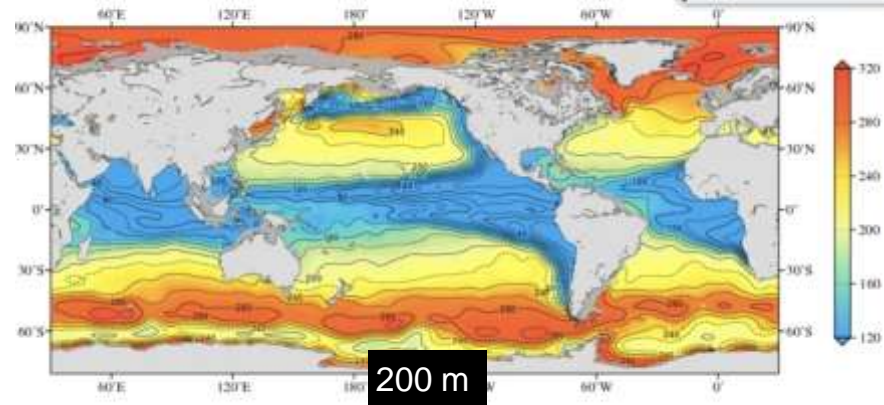
World Ocean Atlas Climatology

Contour Interval=20



Map Navigation

Left/Right = Time Periods  
Up/Down = Depths



200 m

Annual oxygen [ $\mu\text{mol/kg}$ ] at 200 m. depth (one-degree grid)

# [NITRATES]

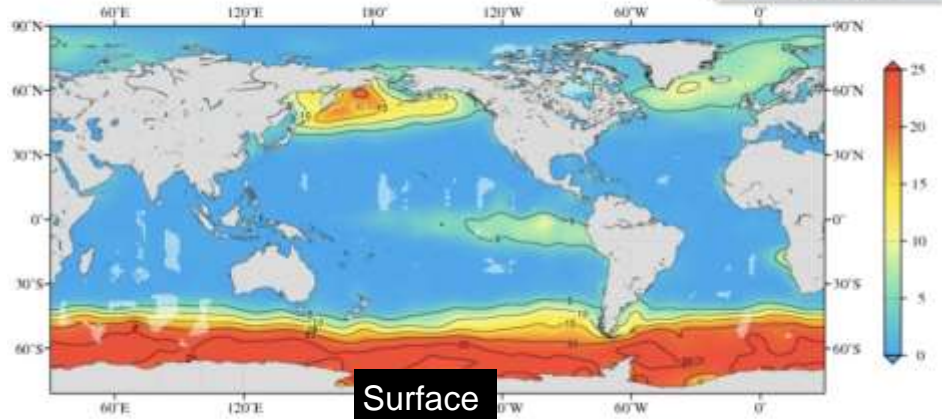
World Ocean Atlas Climatology

Contour Interval=5



Map Navigation

Left/Right = Time Periods  
Up/Down = Depths

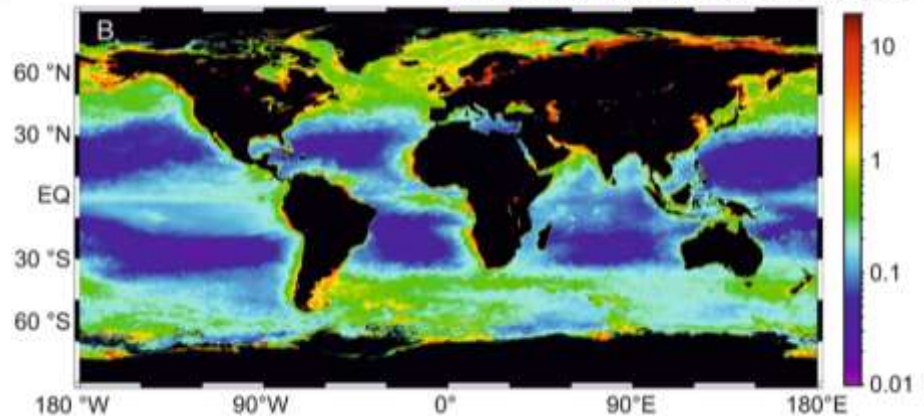


Surface

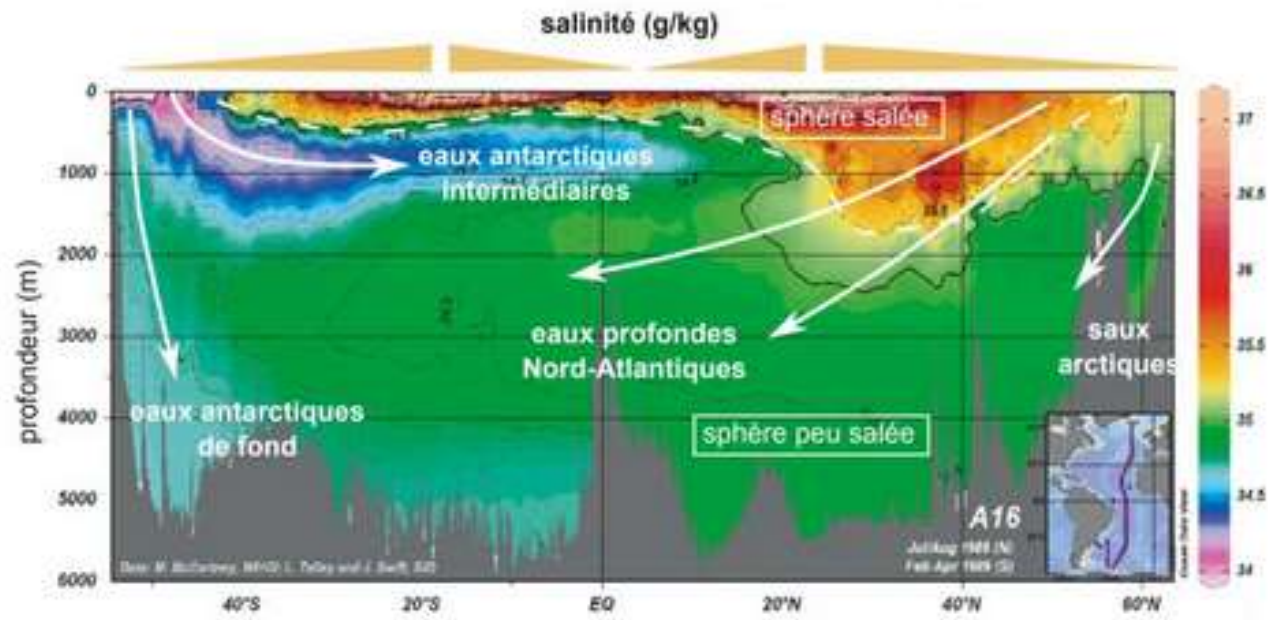
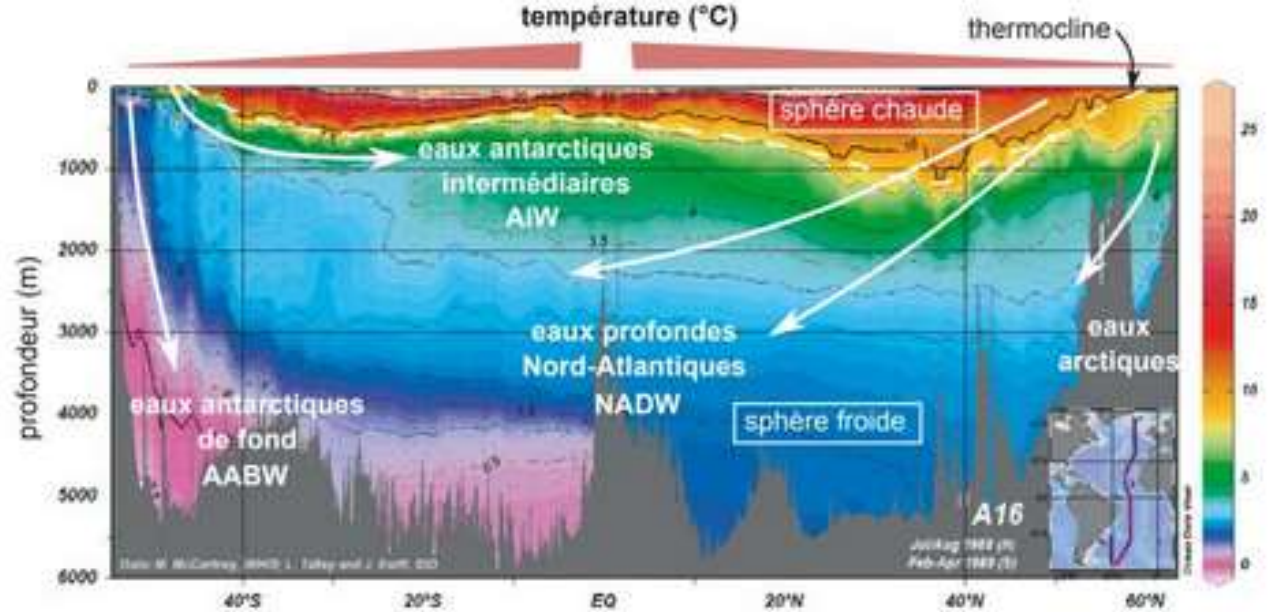
Annual nitrate [ $\mu\text{mol/kg}$ ] at the surface (one-degree grid)

# [CHLOROPHYLLE]

Surface water chlorophyll concentration ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )

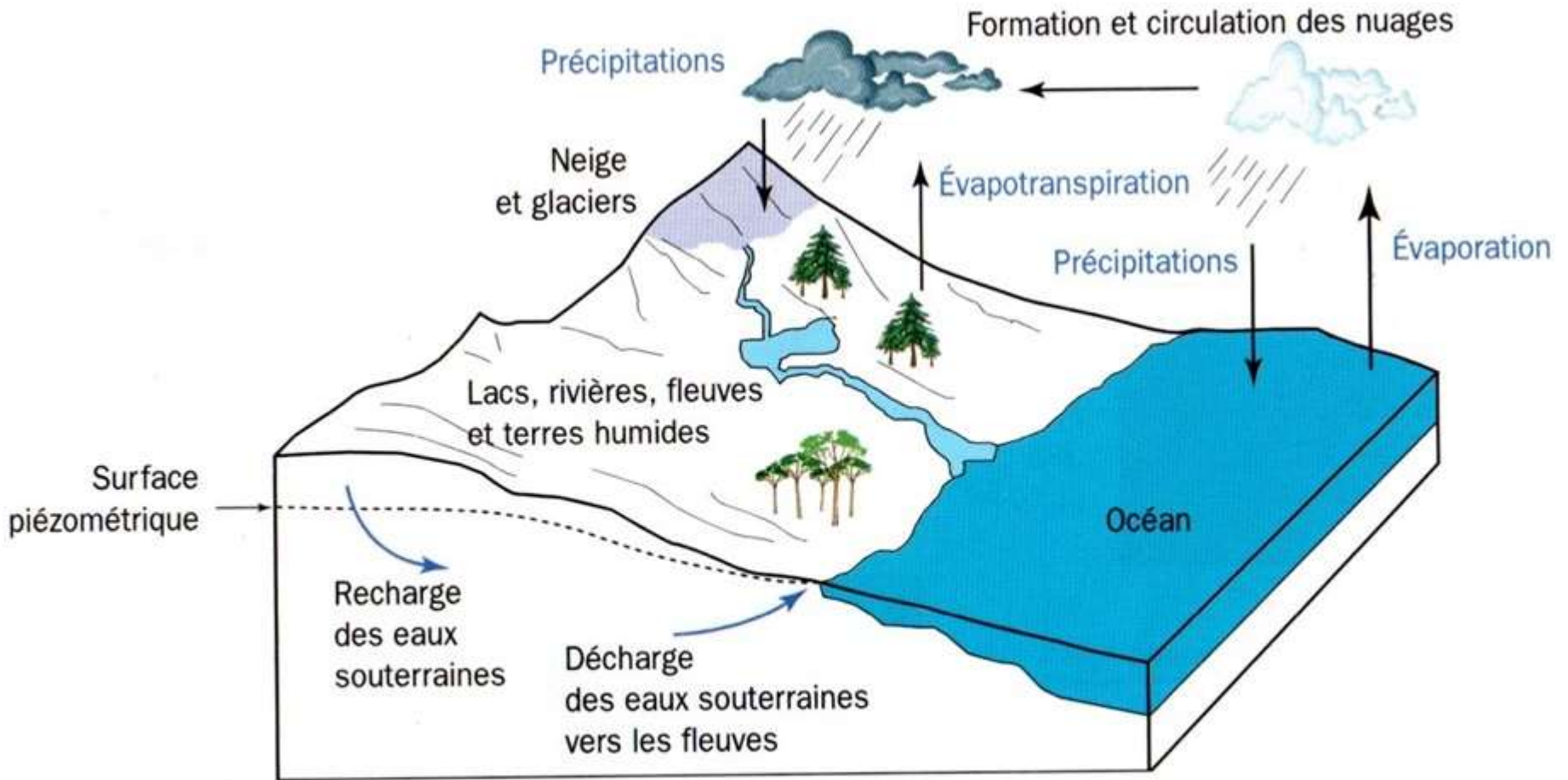


**Coupe Nord – Sud dans l’océan Atlantique : variations de la température et de la salinité.**

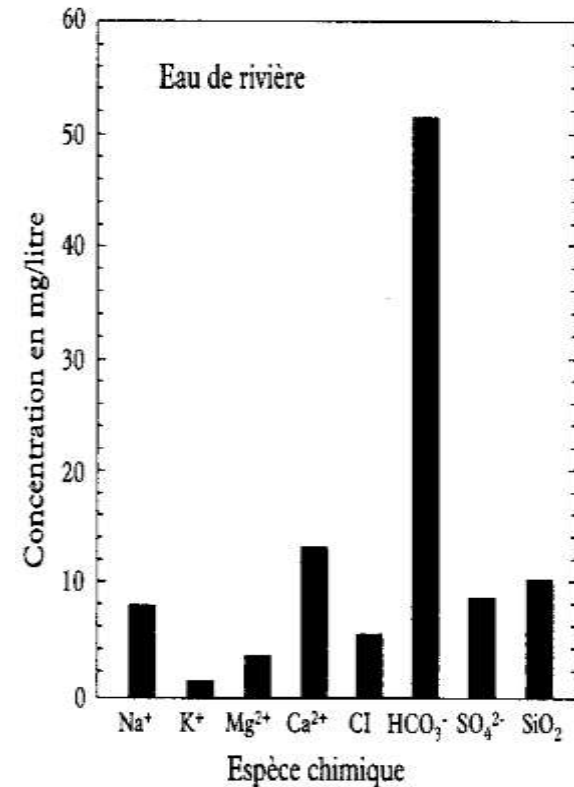
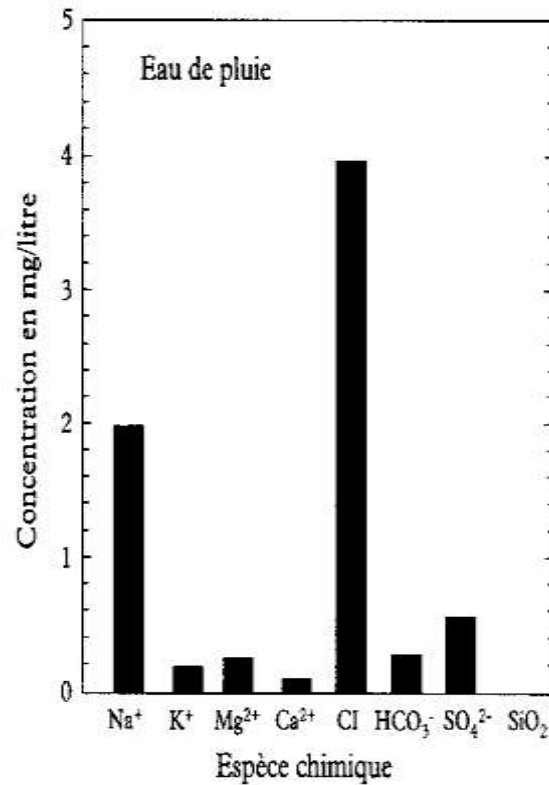
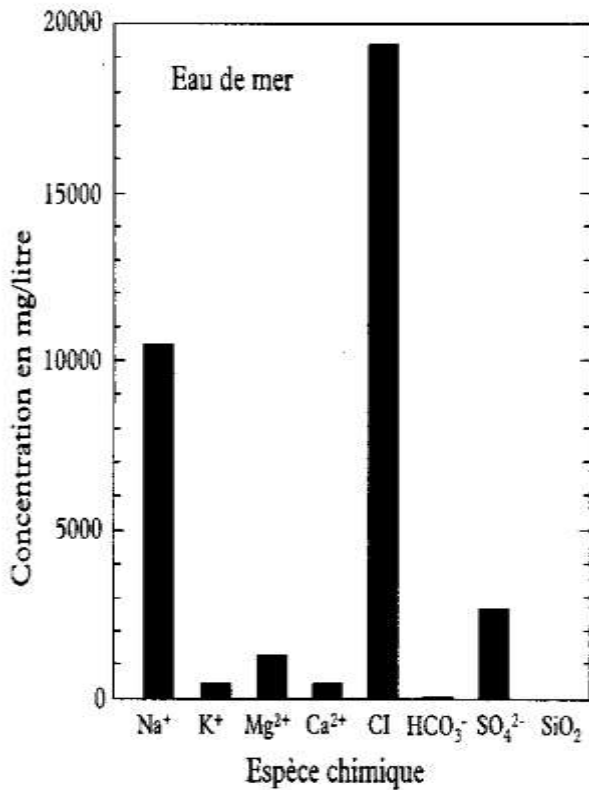


Sont notées les différentes masses d’eau identifiables dans l’océan profond. NADW : north Atlantic deep water ; AABW : Antarctic bottom water ; AIW : Antarctic Intermediate water (D’après Schlitzer, R., *Electronic Atlas of WOCE Hydrographic and Tracer Data Now Available*, Eos Trans. AGU, 82(5), 45, 2000).

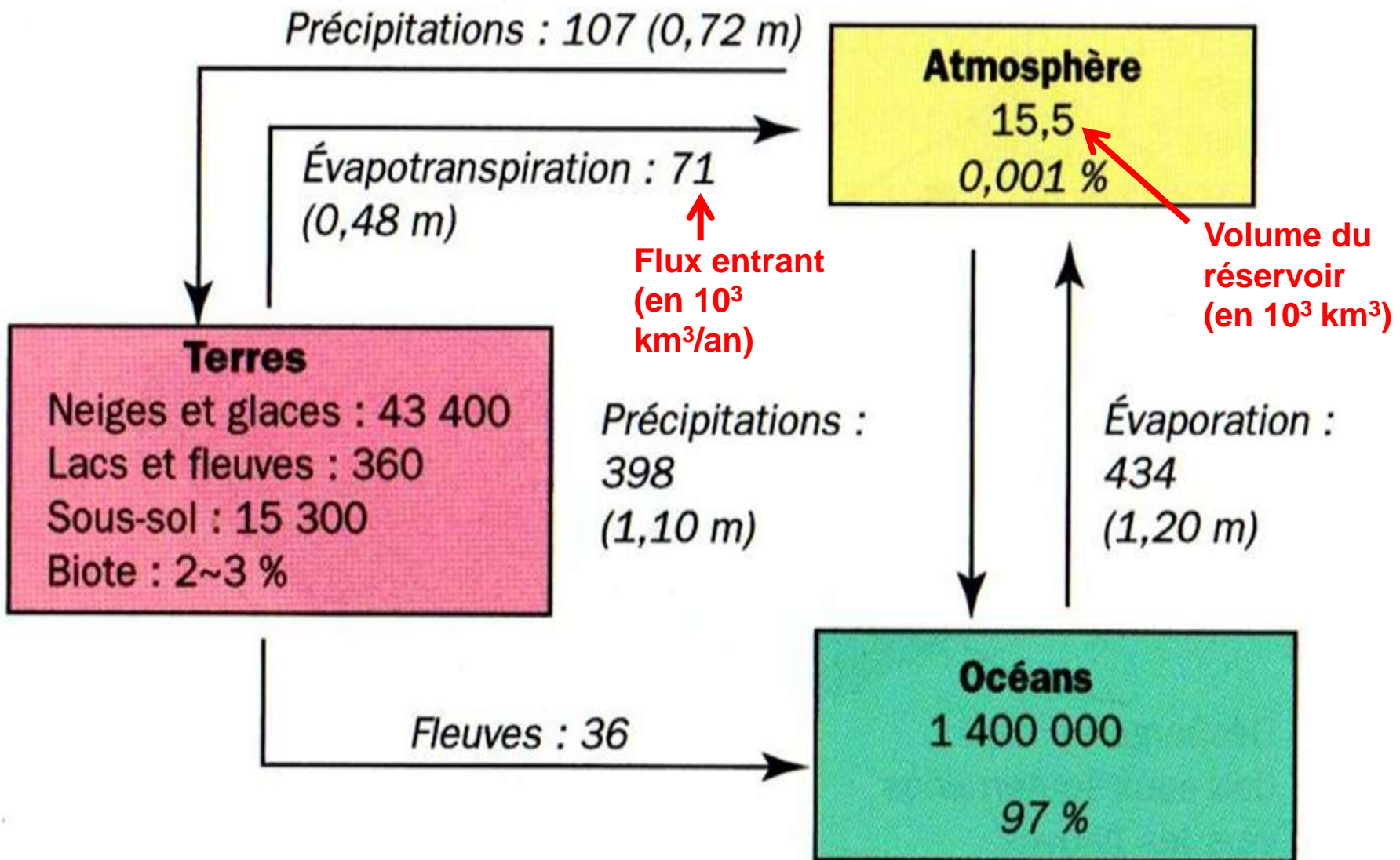
# Document 11. Le cycle de l'eau.



# Composition chimique de différents réservoirs superficiels

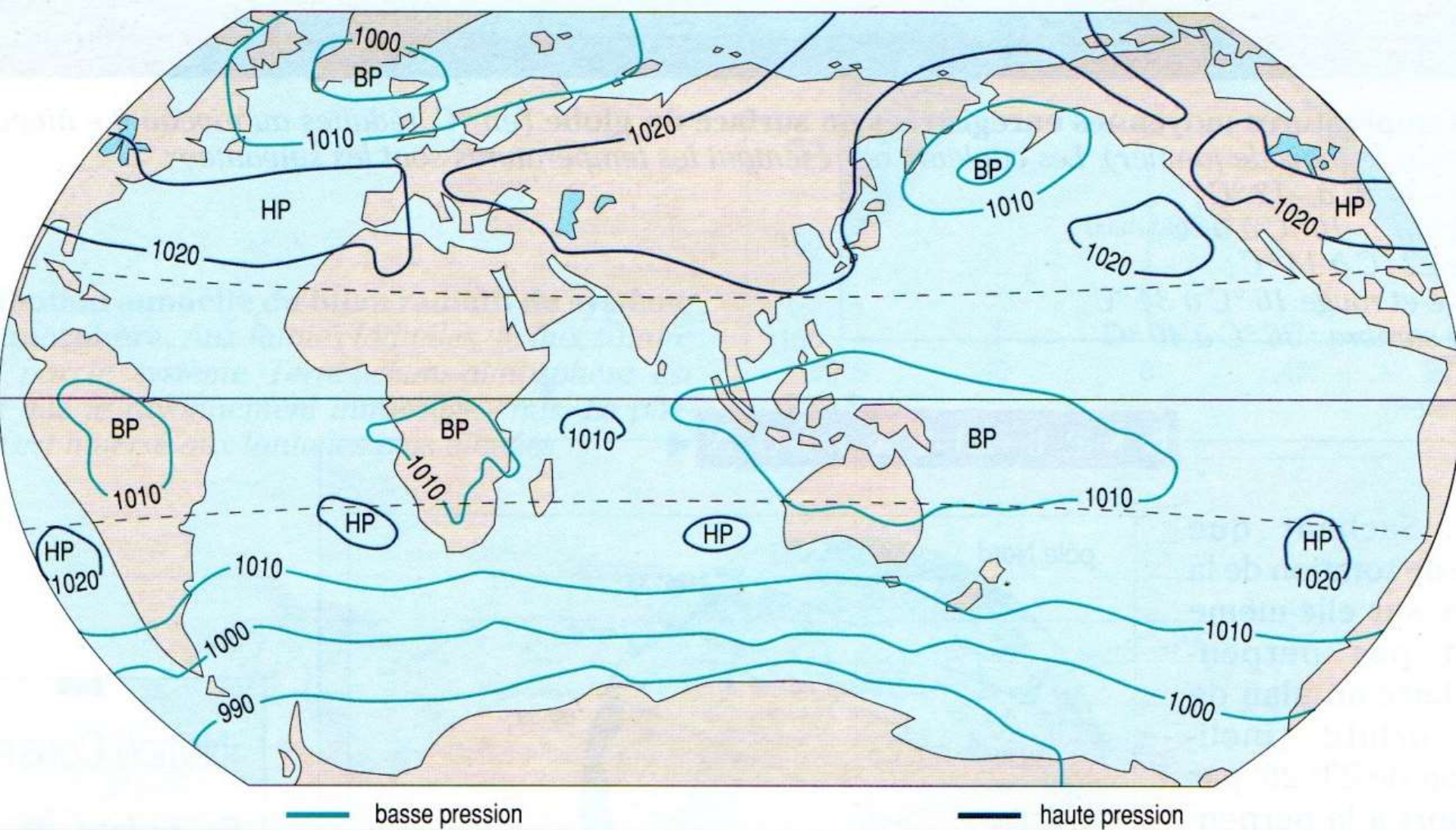


# Approche quantitative : flux et temps de résidence de l'eau dans un réservoir

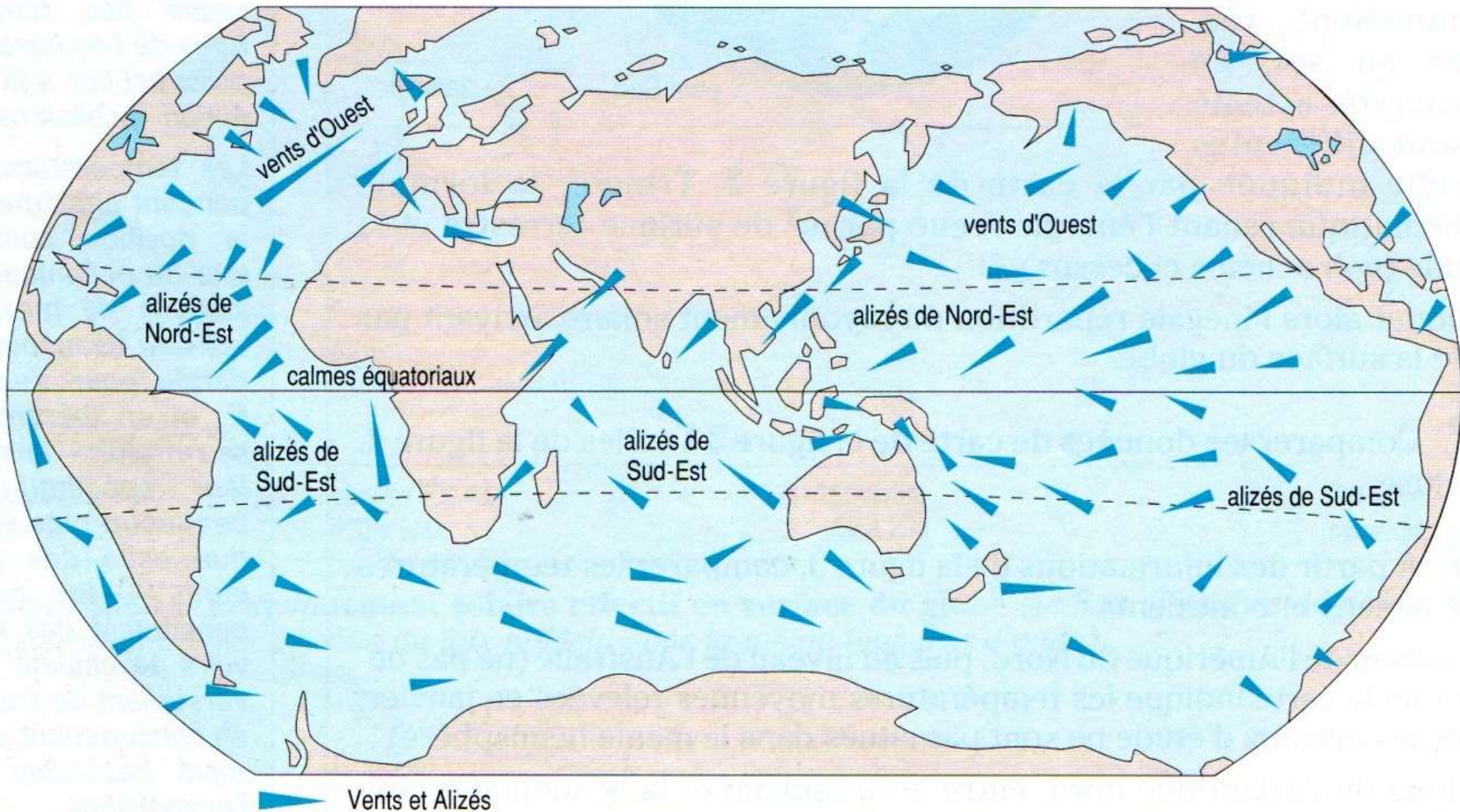




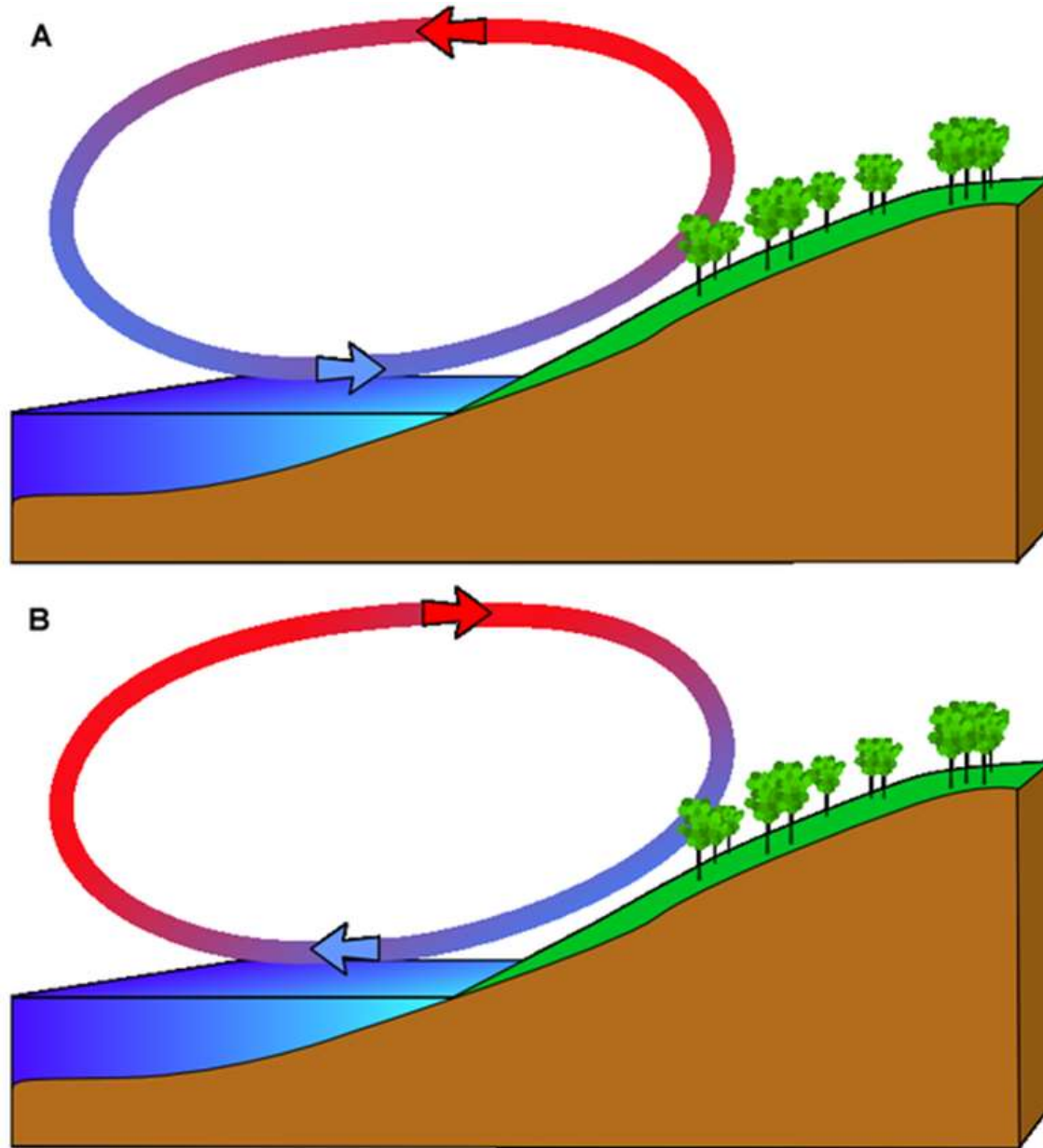
# Document 12. Carte des pressions à la surface du globe (en janvier)



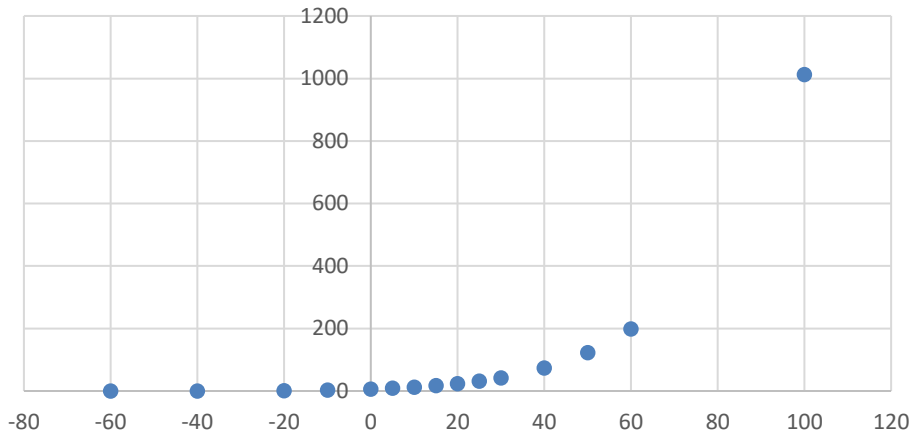
# Document 13. Carte des vents à la surface du globe (en janvier).



# Brise de mer le jour, brise de terre la nuit



pression de vapeur saturante de l'air humide  
mbar



Pression de vapeur saturante :  
Pression à laquelle la phase gazeuse d'une substance est en équilibre avec sa phase liquide (ou solide) à une température donnée.

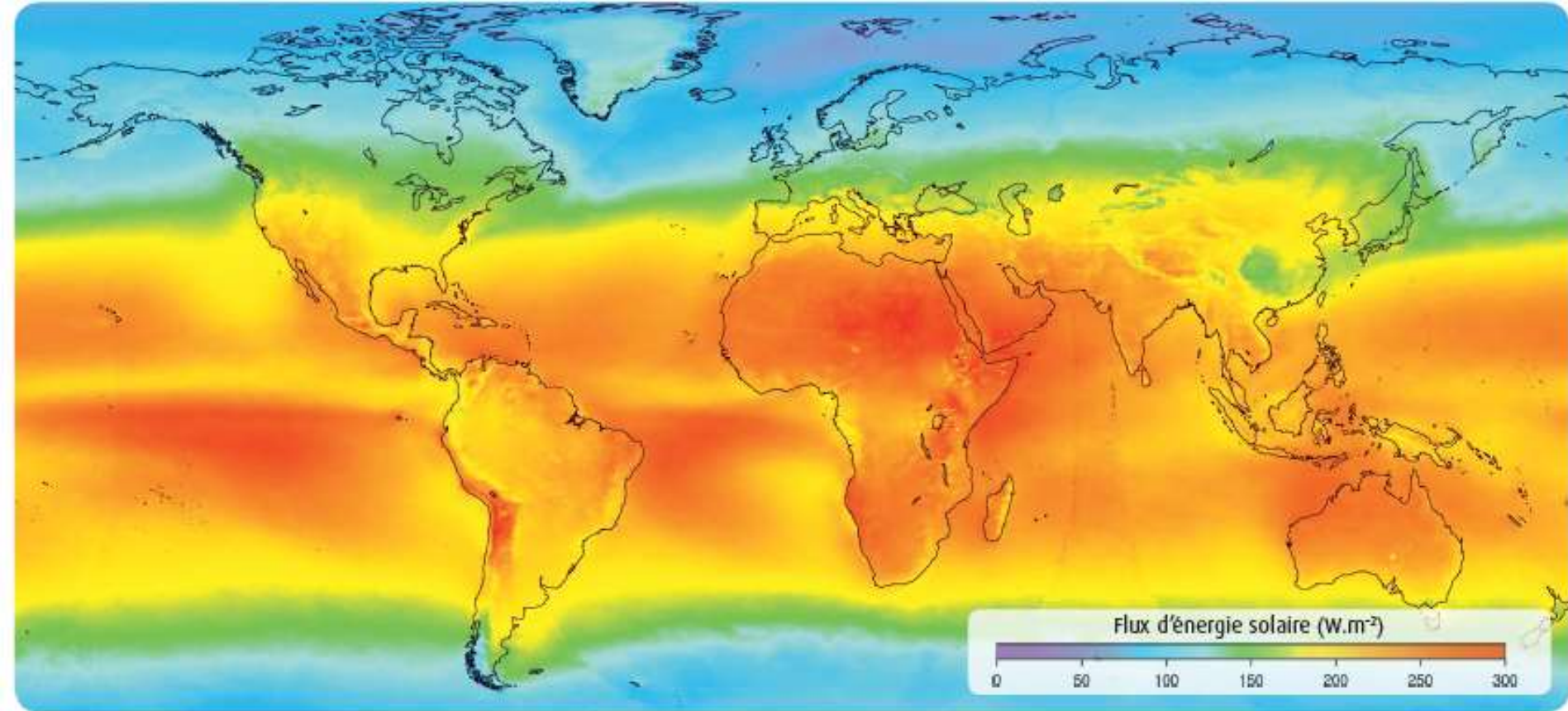


Stratus

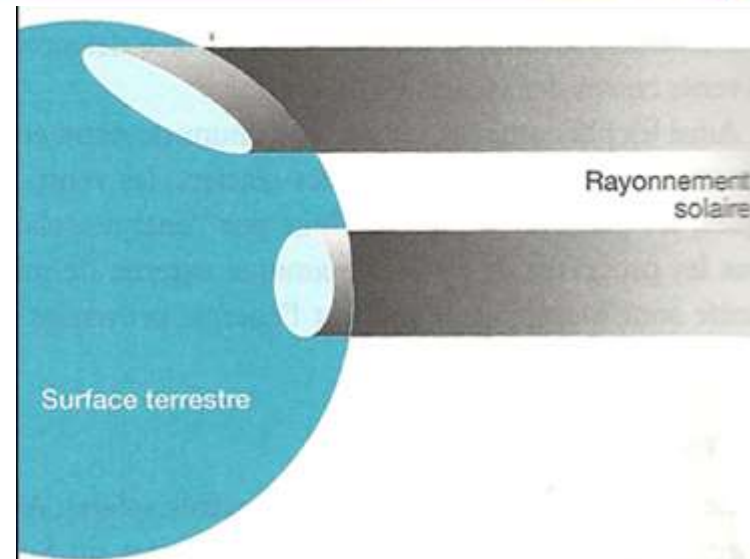
→ Lorsque la pression de vapeur saturante devient égale à la pression partielle en vapeur d'eau d'une masse d'air, alors de fines gouttelettes d'eau se forment.



Cumulus



Document 14. Carte du flux solaire incident à la surface du globe (moyennes sur une année).





<http://www.gruyere-nature.ch>



<http://www.shopping.kelkoo.fr>

**Des illustrations de la convection**

## Le nombre de Rayleigh :

$$Ra = \frac{g \alpha \Delta T \Delta L^3}{K \eta}$$

$g$  : accélération de la pesanteur

$\alpha$  : coefficient de dilatation thermique

$\Delta T$  : écart de température au sein du milieu

$\Delta L$  : épaisseur du milieu

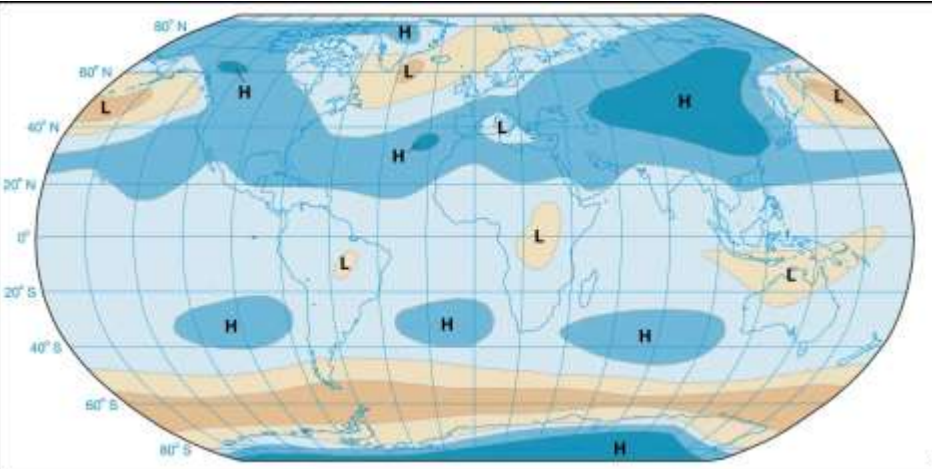
$K$  : conductivité thermique du milieu

$\eta$  : viscosité du milieu

**Si  $Ra > \sim 1000$  alors la convection est possible**

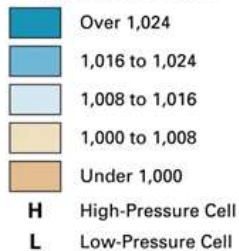
# Pression atmosphérique de surface et précipitations moyennes

## Total Rainfall

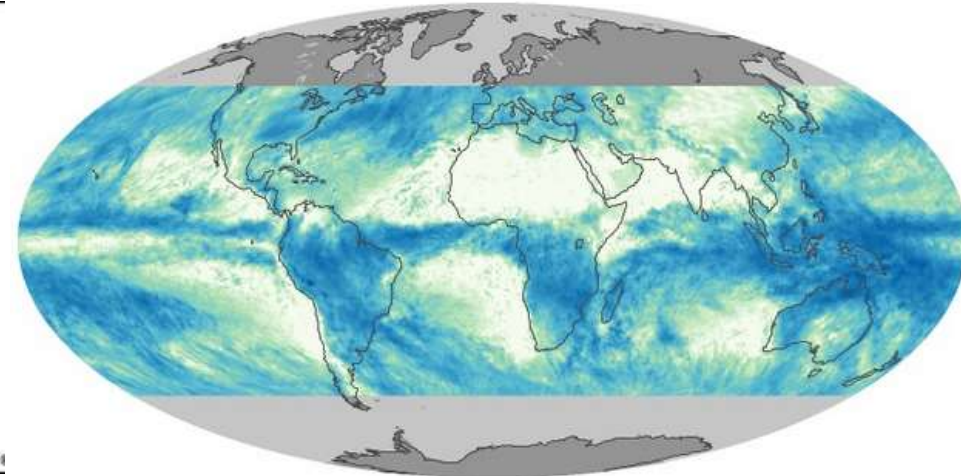


### AVERAGE SEA-LEVEL ATMOSPHERIC PRESSURES IN JANUARY

Millibars of Pressure



© Encyclopædia Britannica, Inc.



### Total Rainfall



January 1998

February 2001

August 2016

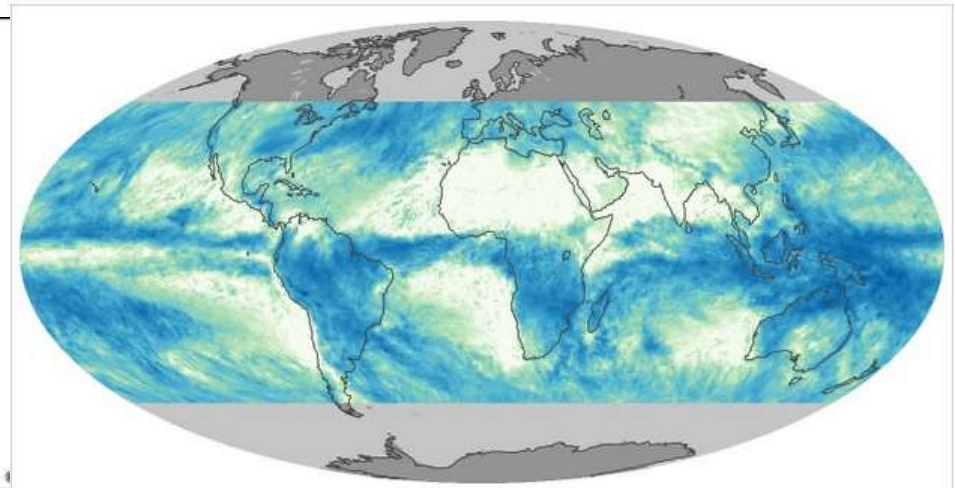
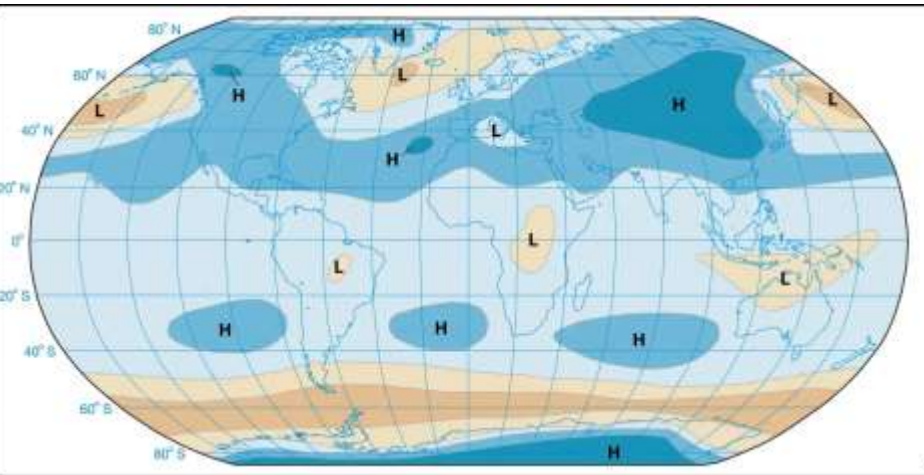


<https://www.britannica.com/science/climate-meteorology/Atmospheric-pressure-and-wind>

[https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/TRMM\\_3B43M](https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/TRMM_3B43M)

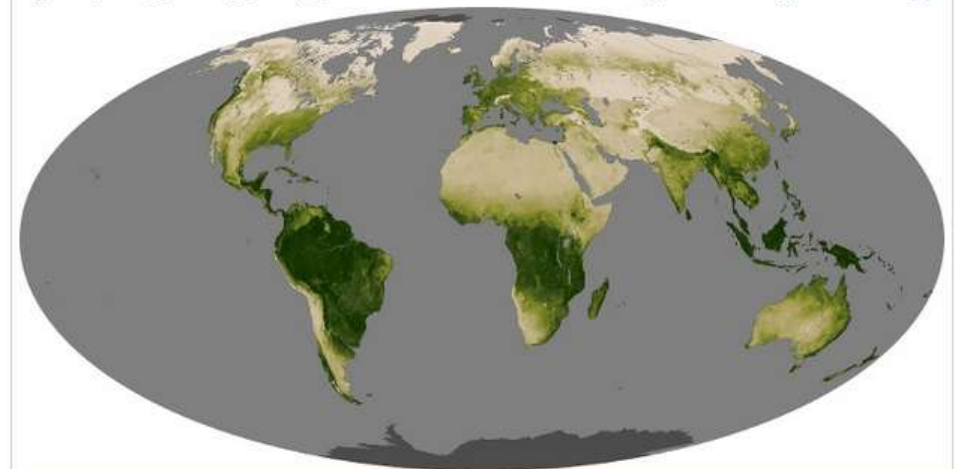
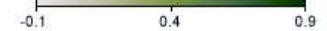


# Total Rainfall & Vegetation



Total Rainfall

Vegetation



March 2000

February 2001

August 2016



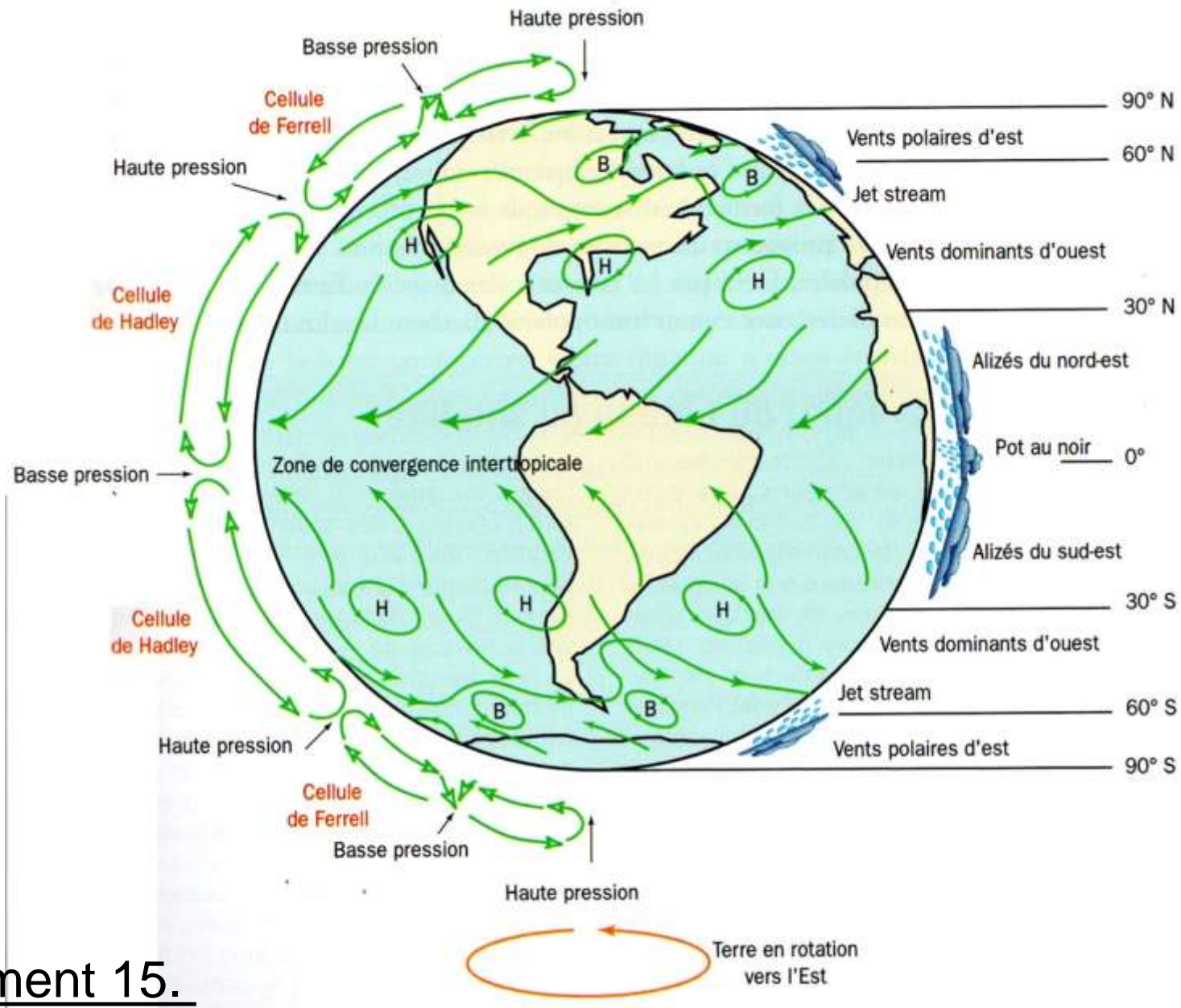
mov

Sur cette carte, la végétation est représentée avec une échelle correspondant à un « indice de verdure ».

Cet indice prend en compte :

- le nombre et le type de plantes,
- la densité de feuillage,
- l'état de santé des plantes.

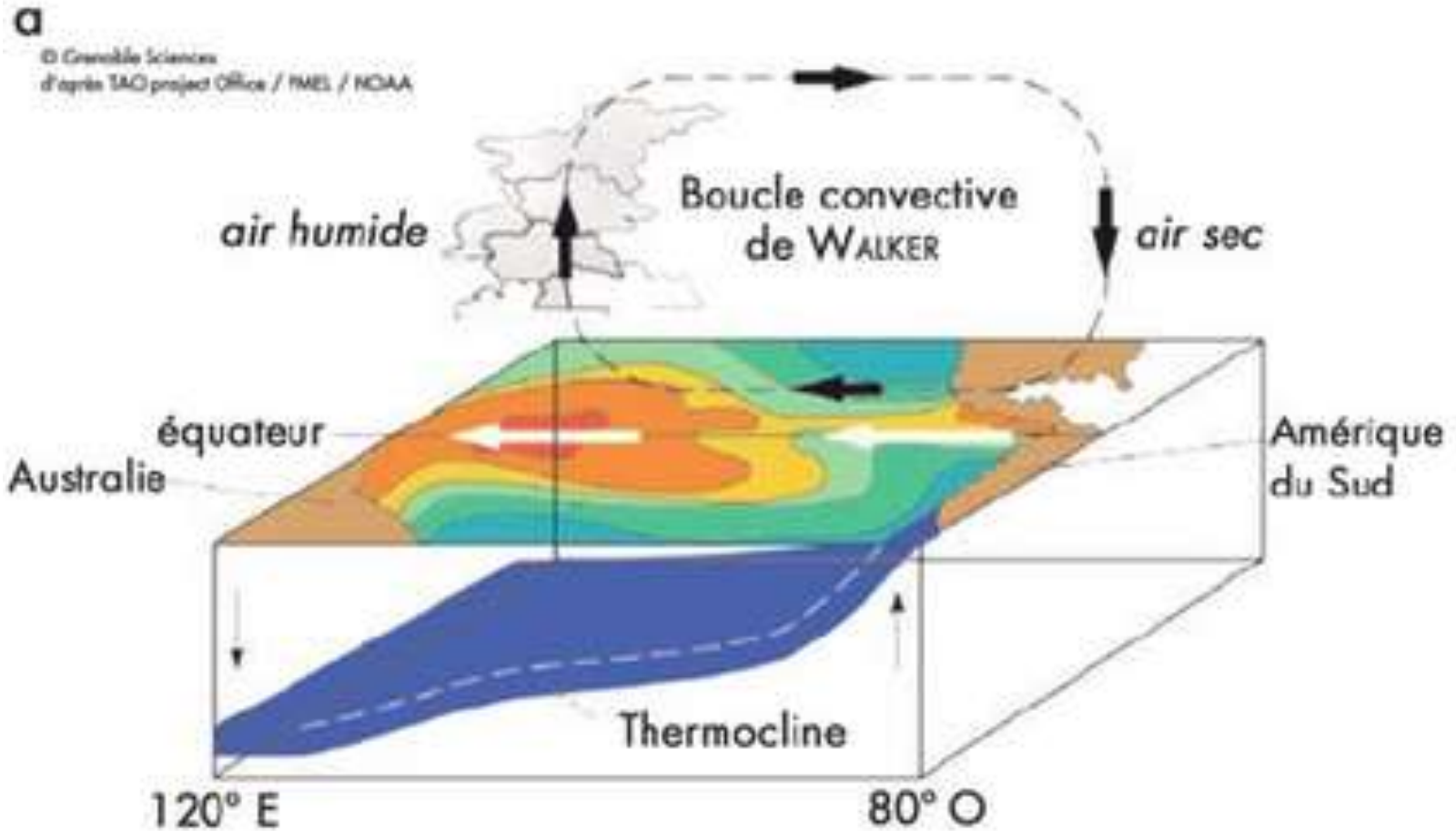
L'indice est basé sur les mesures prises par le spectroradiomètre à résolution moyenne (MODIS) du satellite Terra de la NASA. Les zones où le satellite n'a pas collecté de données sont grisées.

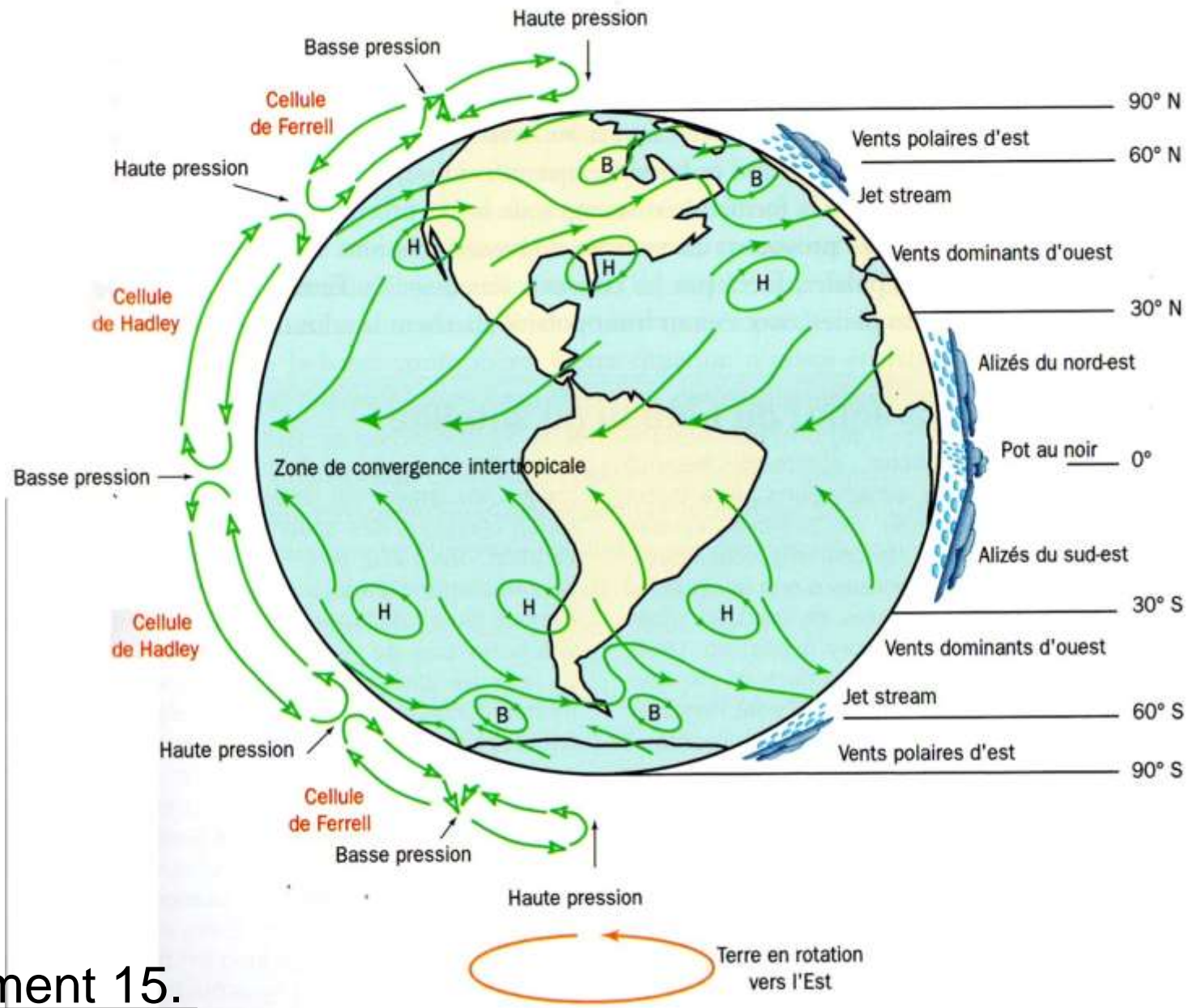


Document 15.

Circulation atmosphérique globale et modèle des vents de surface

# Document 16. Cellule de Walker du Pacifique.

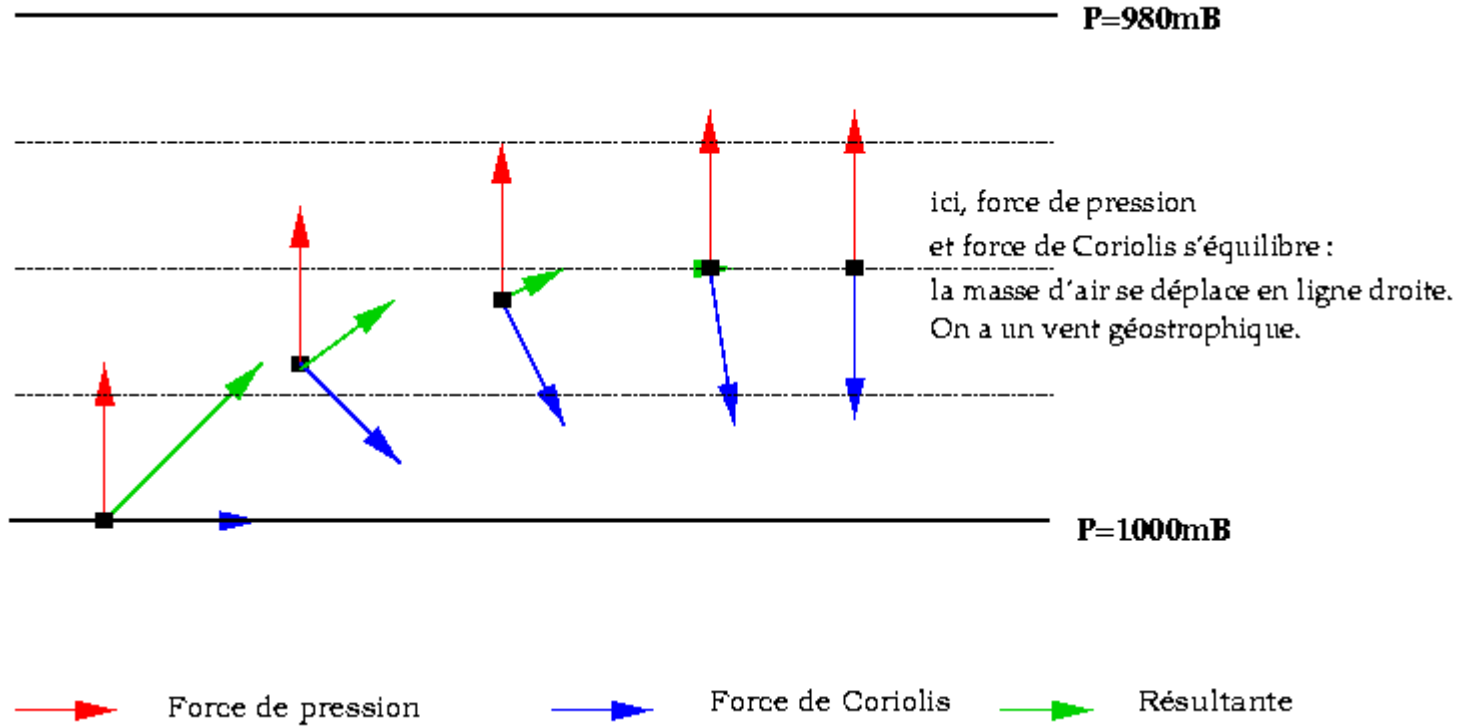




## Document 15.

# Circulation atmosphérique globale et modèle des vents de surface

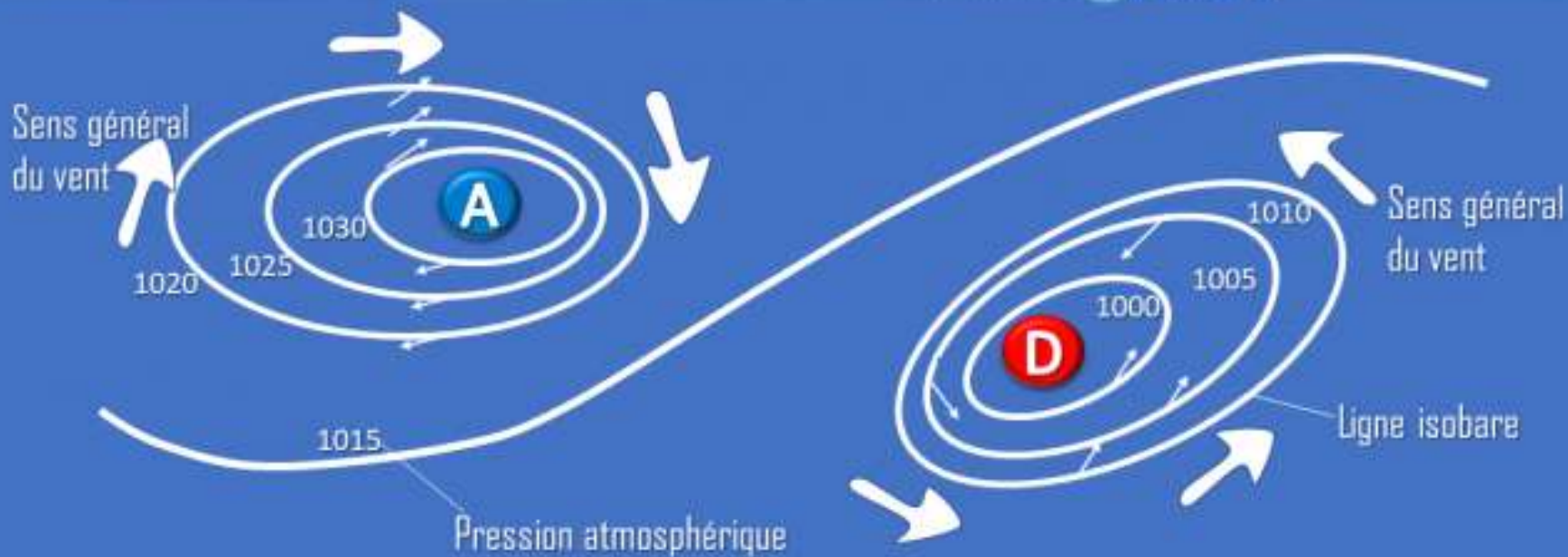
# Document 17. Formation d'un vent géostrophique.



# Document 18. Sens général des vents pour l'hémisphère Nord.

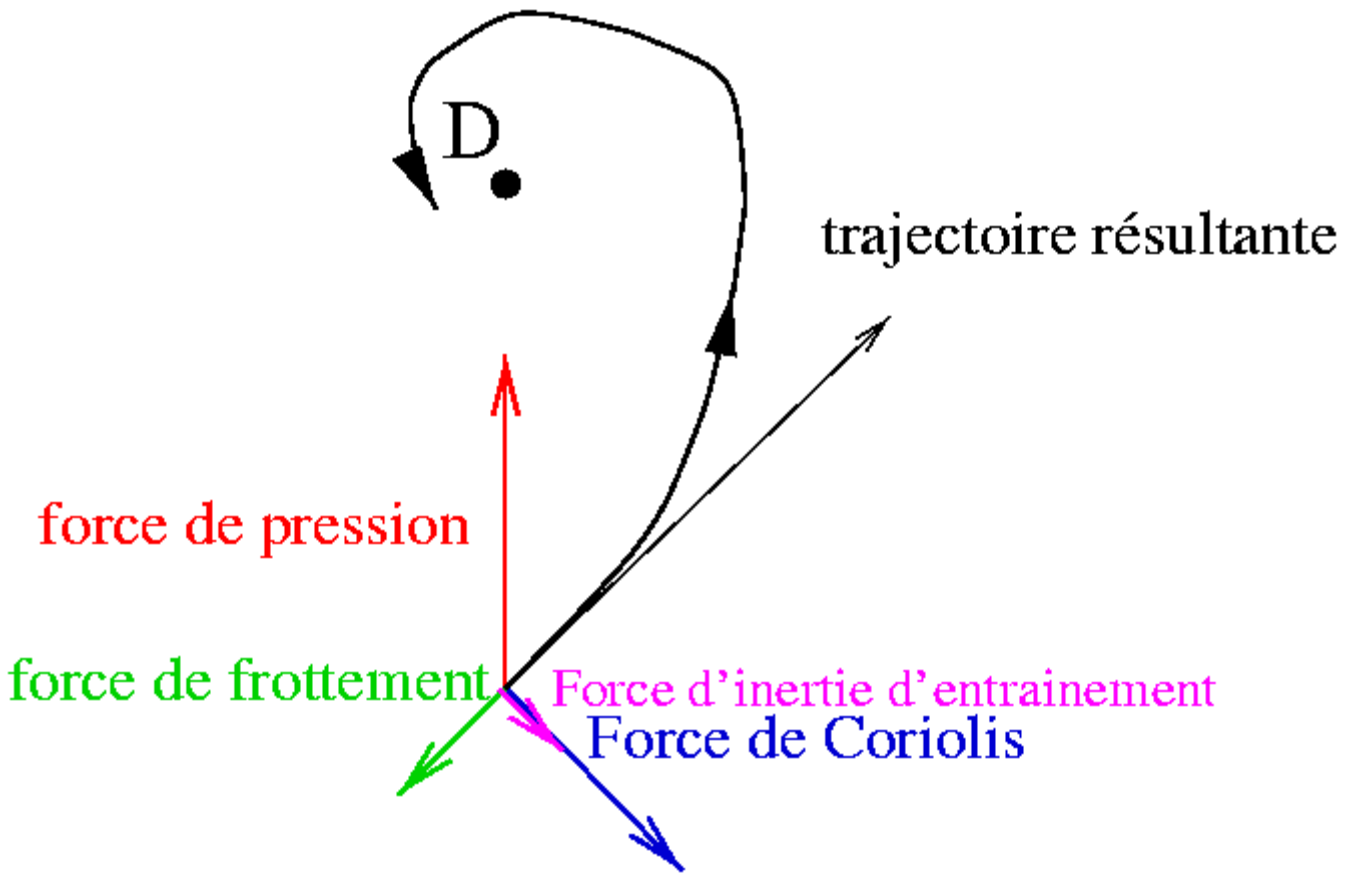
## LE VENT : PRINCIPES GÉNÉRAUX

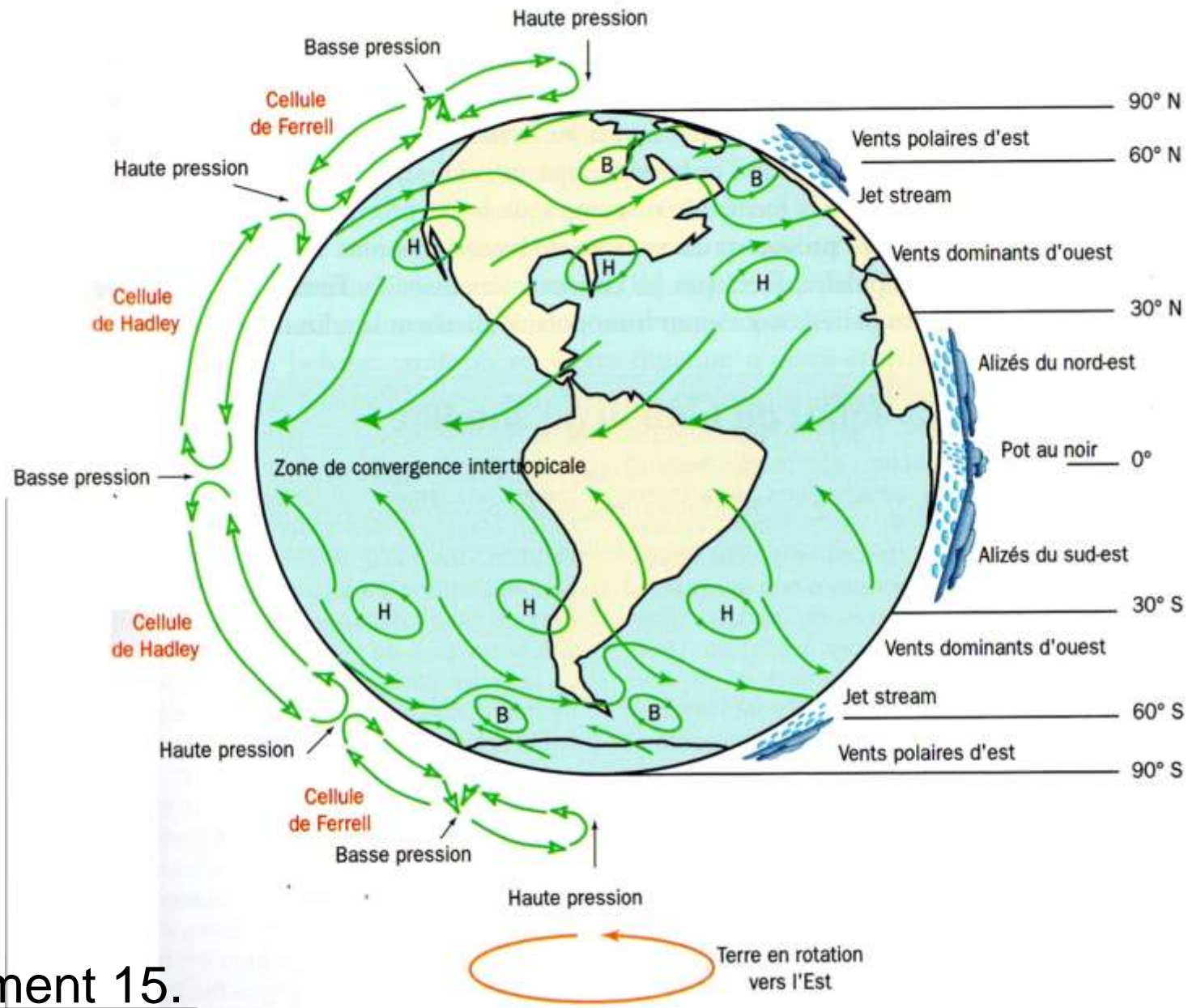
MÉTÉO CONCEPT



Sens Général des vents: loi de Buys Ballot (valable pour l'hémisphère nord)

# Document 19. Impact des forces de friction.



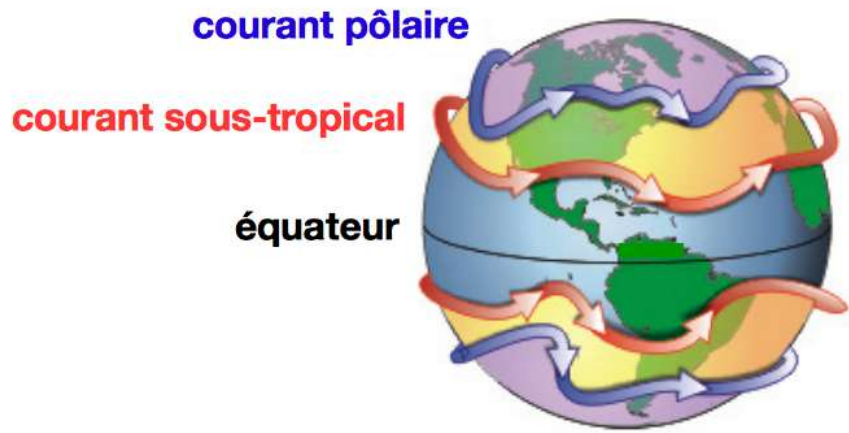
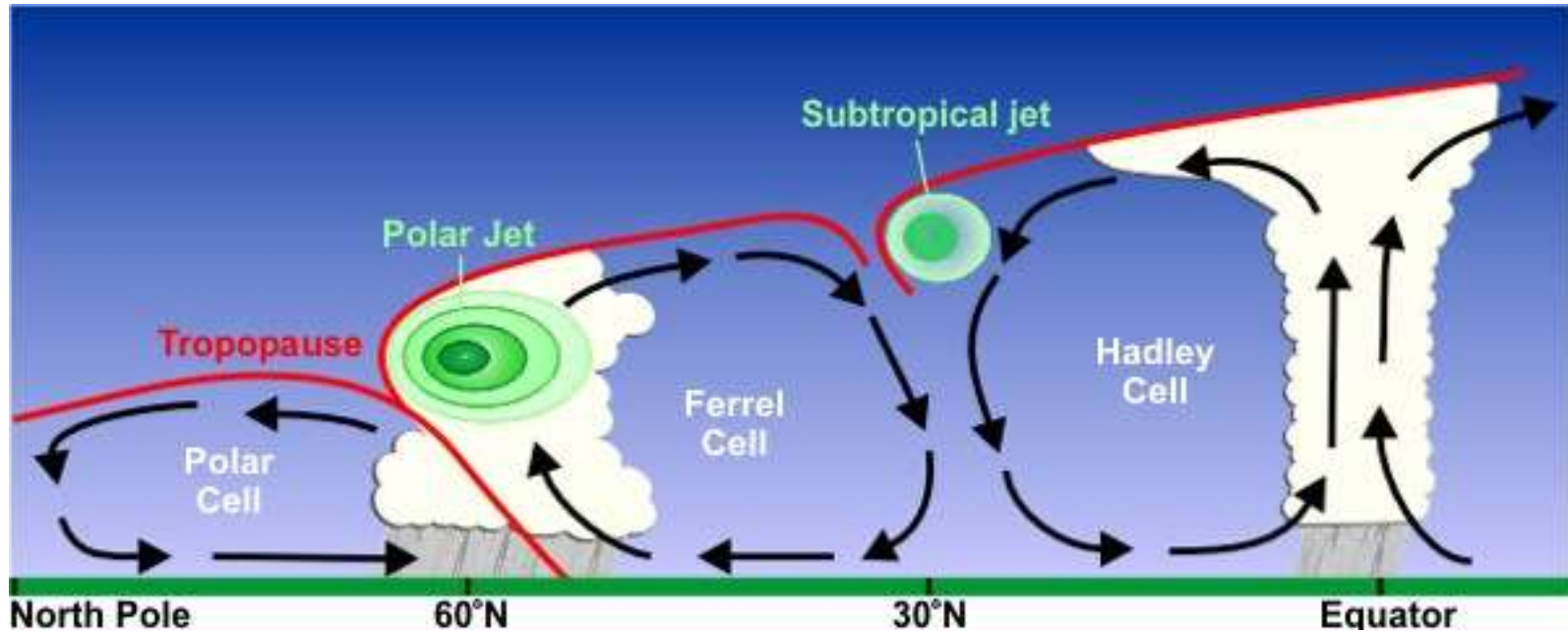


## Document 15.

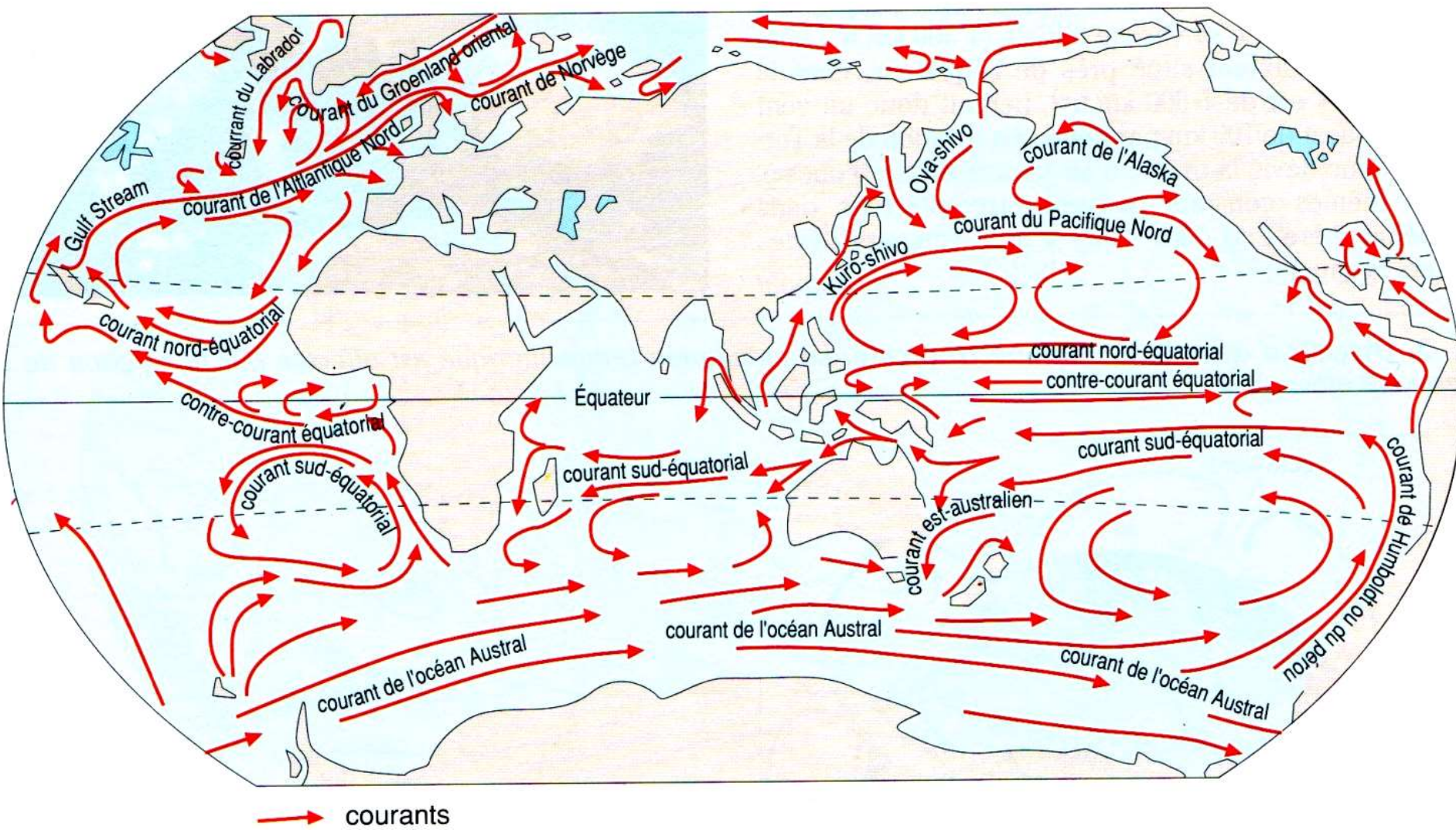
# Circulation atmosphérique globale et modèle des vents de surface



# Les courant-jets

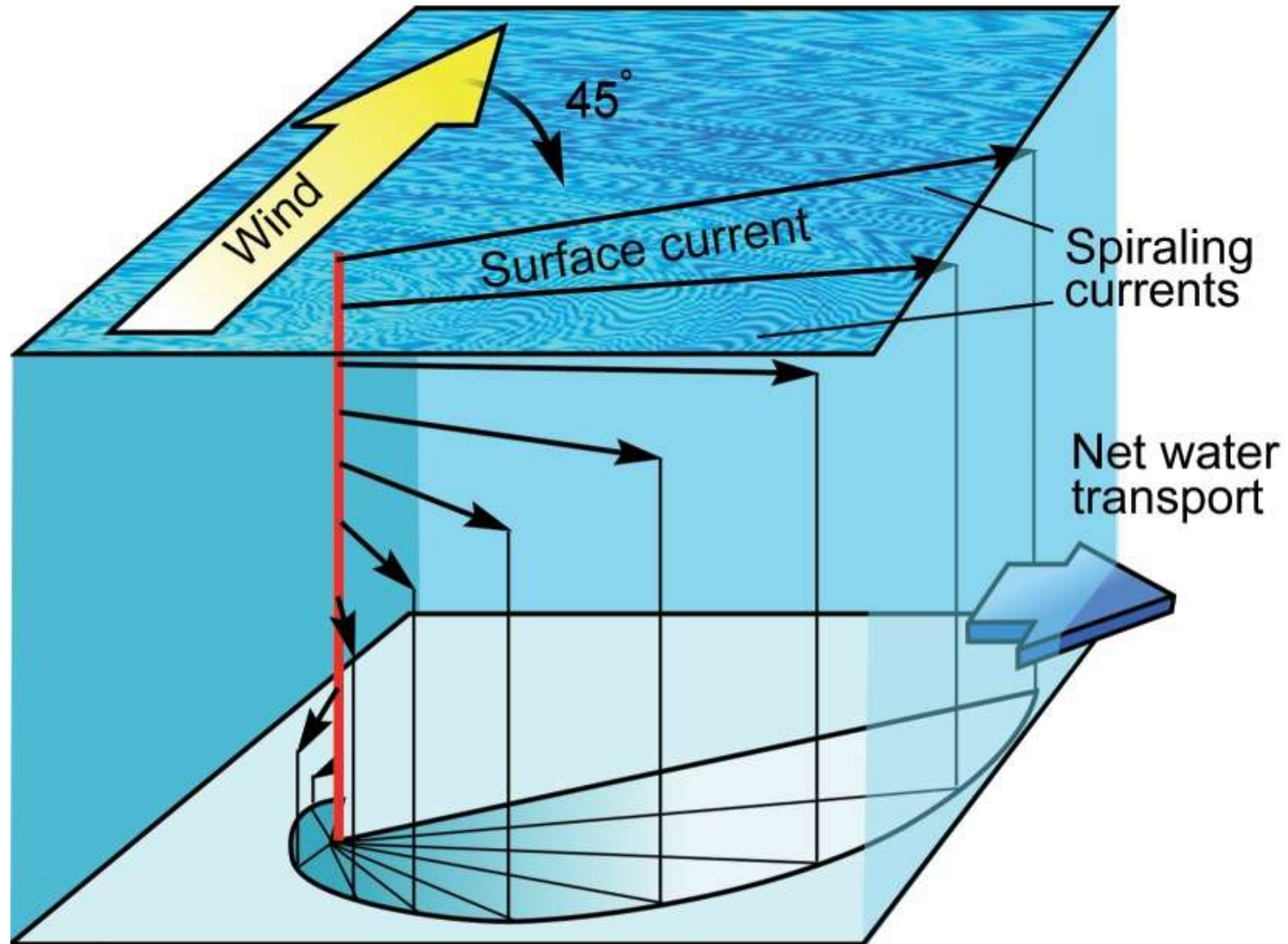


Position normale  
des courants-jets

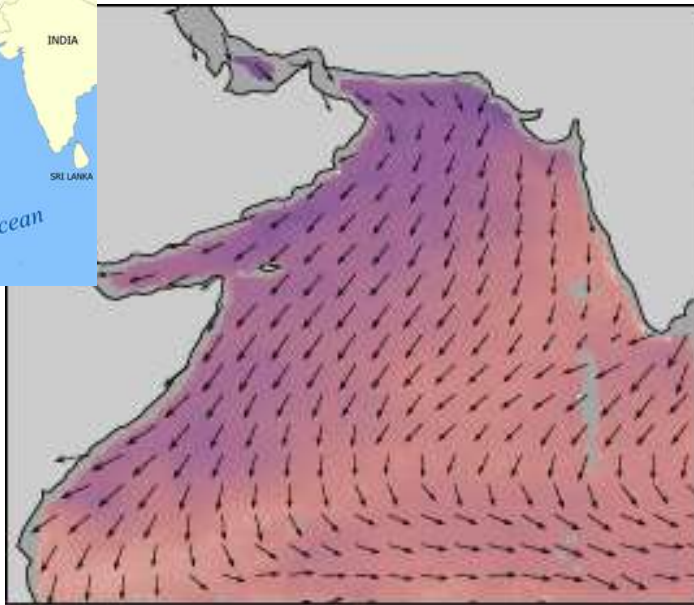


**Document 20. Carte des courants océaniques de surface.**

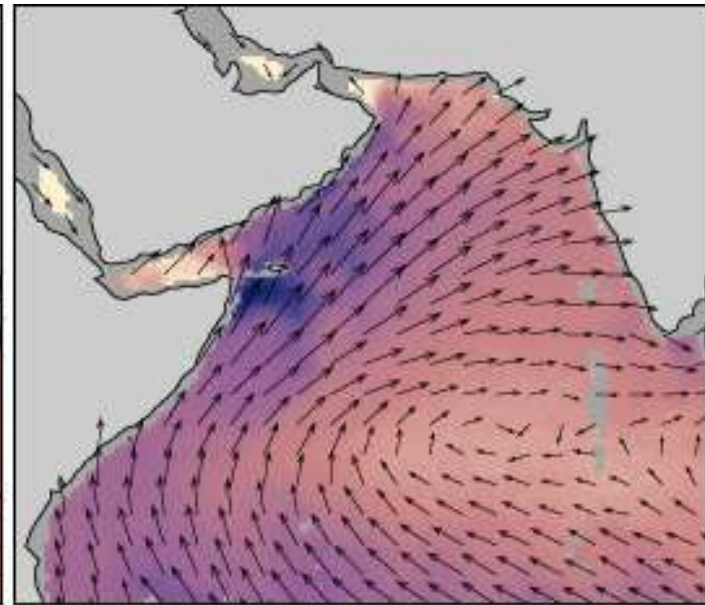
# Document 21. Transport d'Ekman.



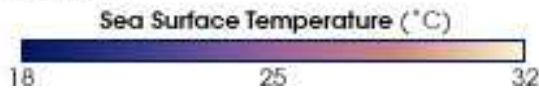
Copyright © 2006 by John Wiley & Sons, Inc. or related companies. All rights reserved.



Winter Monsoon



Summer Monsoon



Wind Velocity of 15 meters/second: →

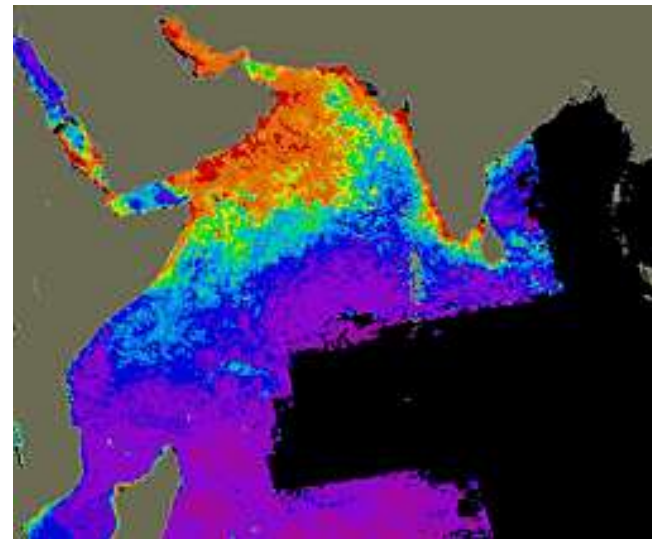
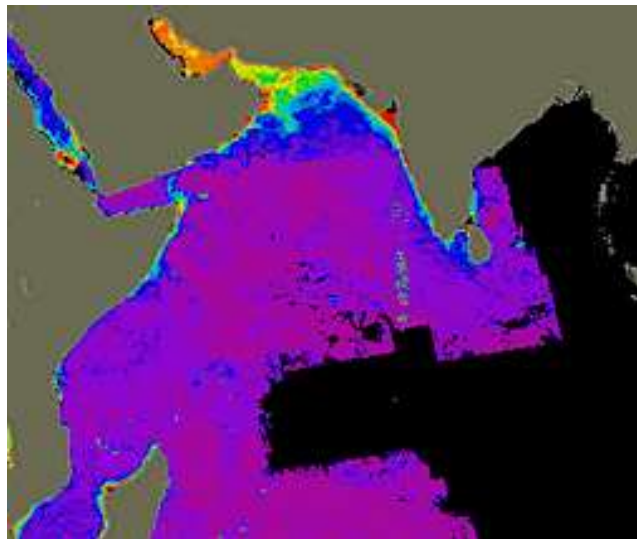
**Température des eaux de surface et vents pendant l'hiver et l'été en mer d'Arabie**

(les vecteurs indiquent la direction, le sens et la vitesse)

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/6308/asian-monsoon-strengthens-over-arabian-sea>

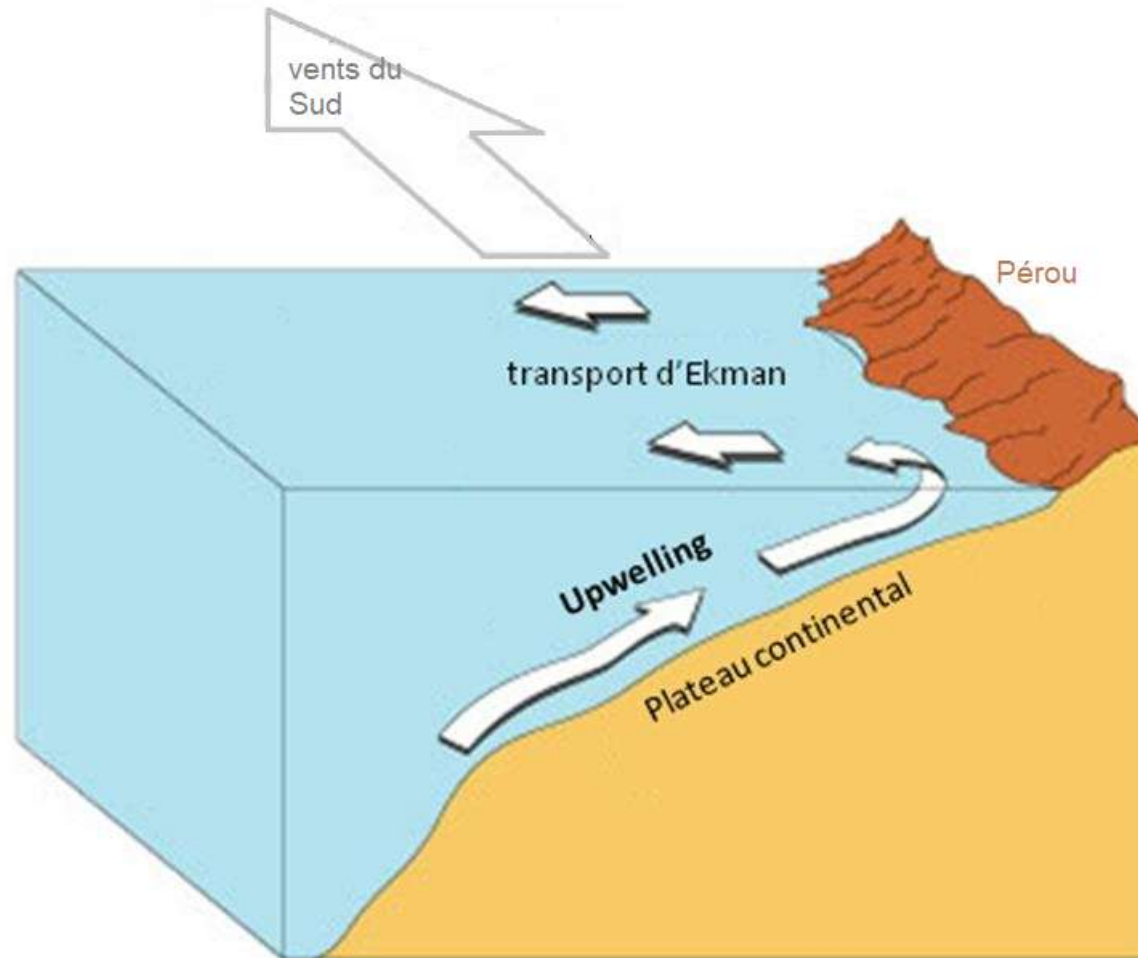
**Productivité biologique du phytoplancton dans la mer d'Arabie**

A gauche : avril – juin 1979  
A droite : juillet – septembre 1979

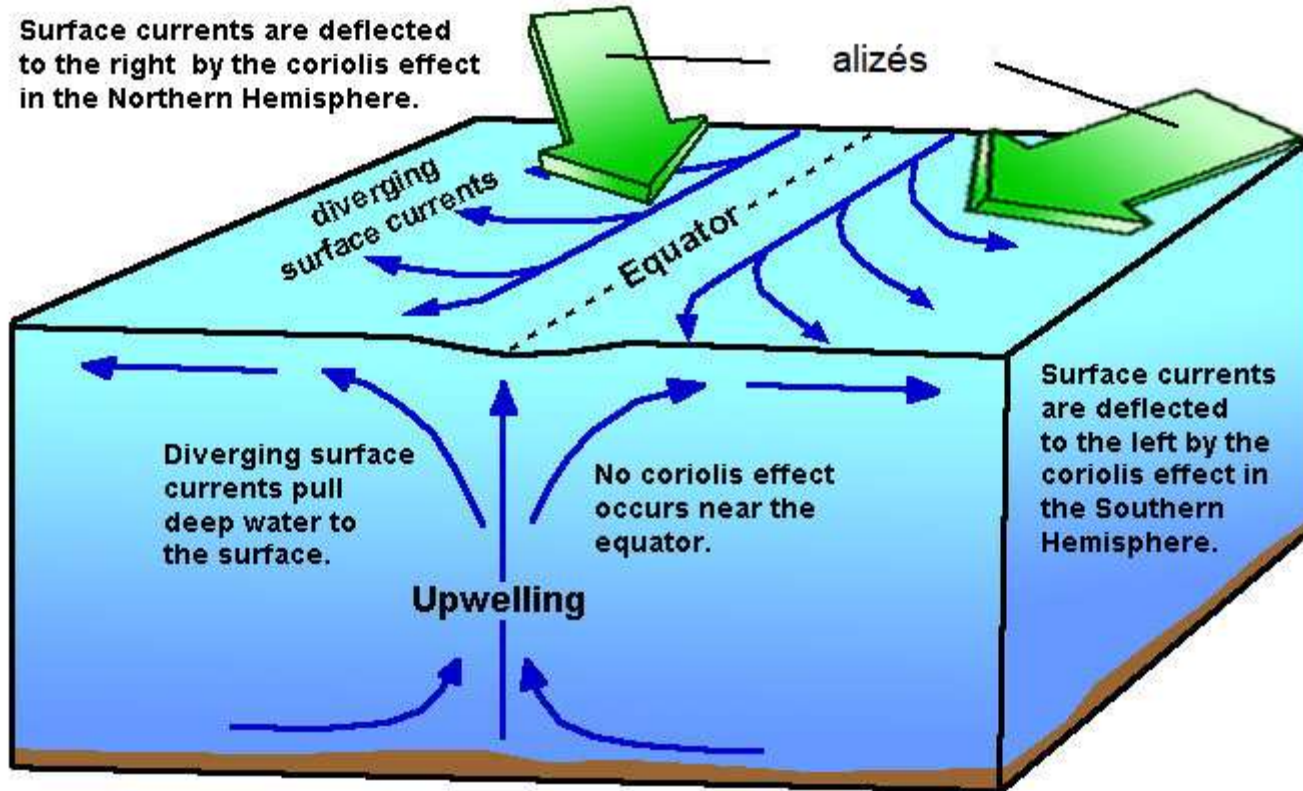


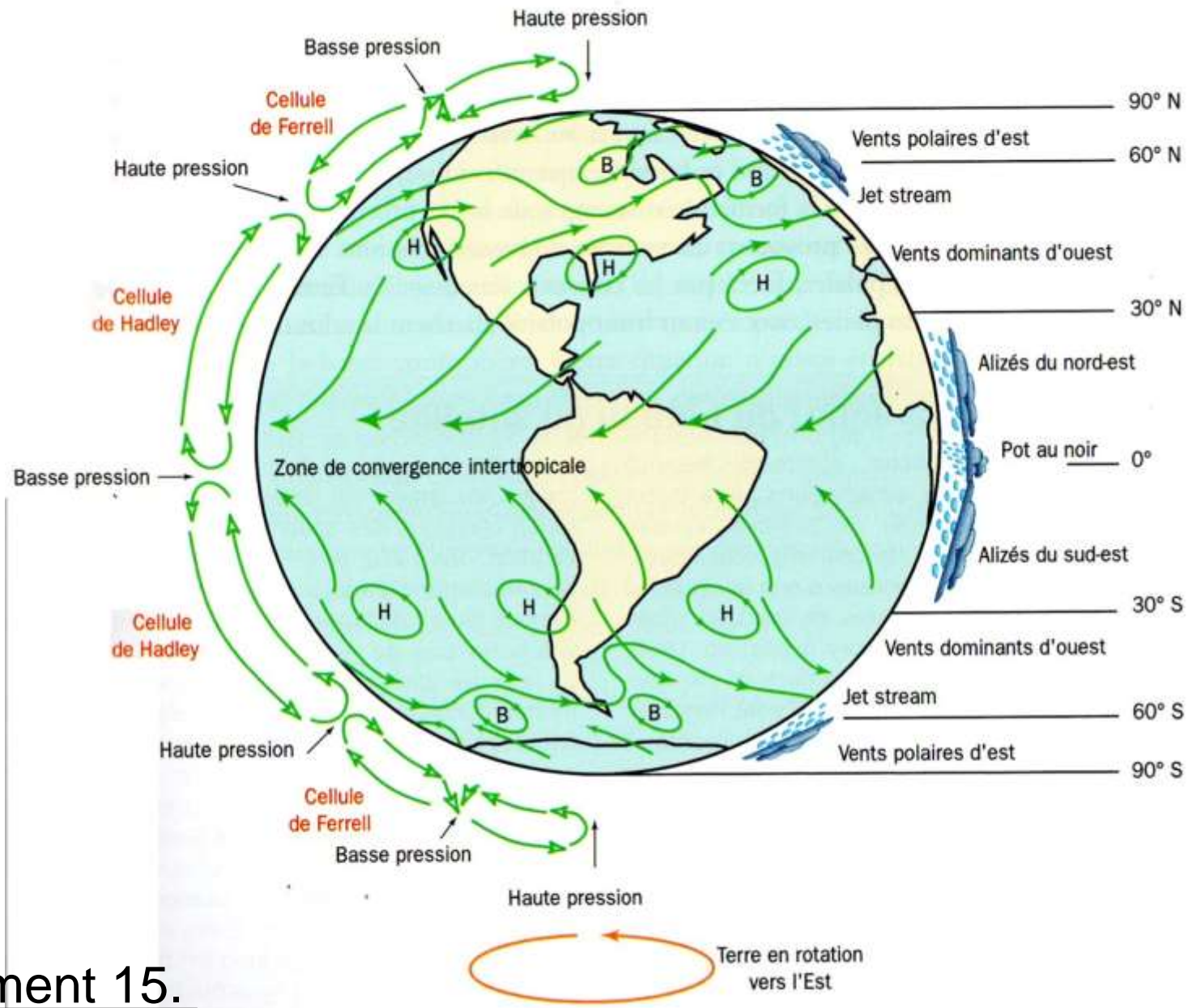
<https://earthobservatory.nasa.gov/features/ArabianSea>

## Document 22. Upwelling côtier dans l'hémisphère Sud.



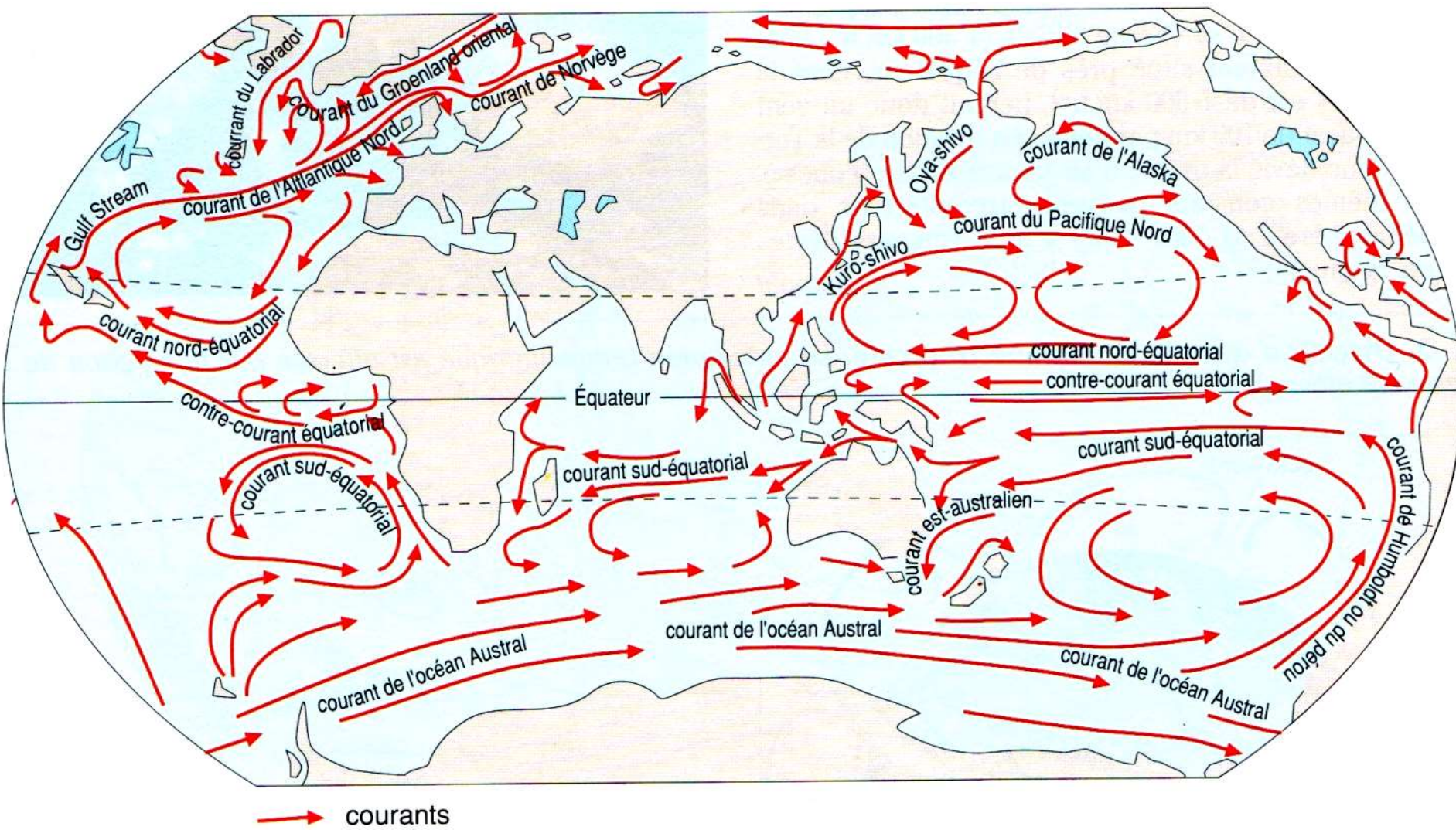
# Document 23. Upwelling équatorial.





## Document 15.

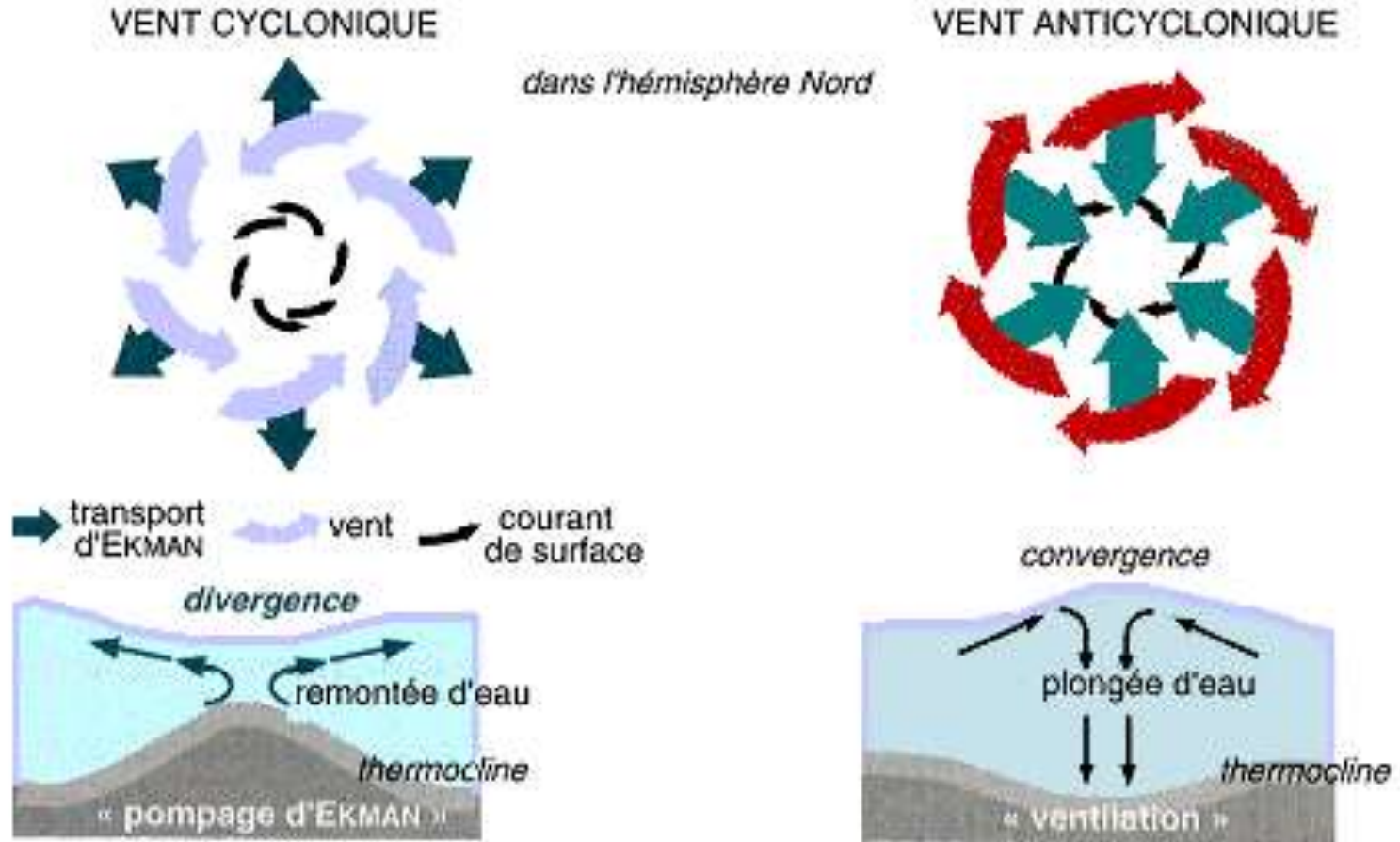
# Circulation atmosphérique globale et modèle des vents de surface



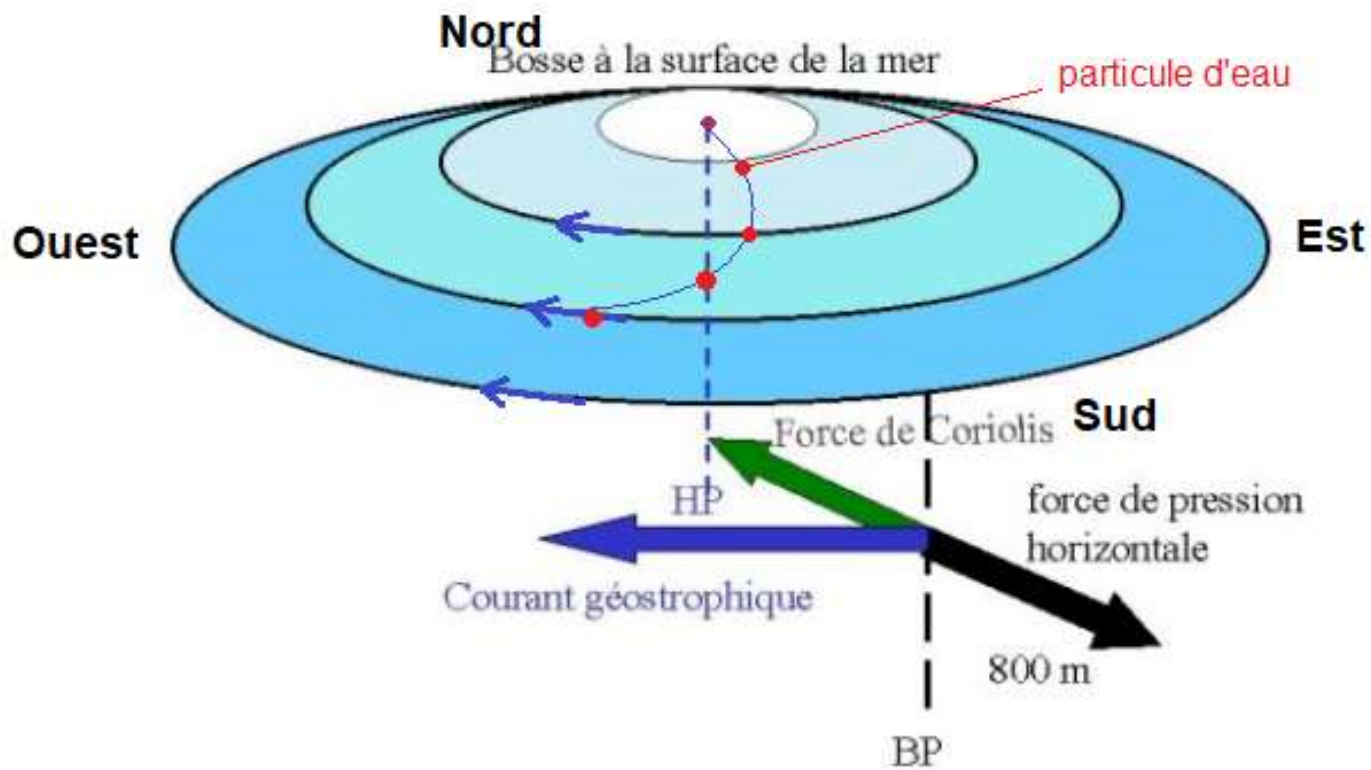
**Document 20. Carte des courants océaniques de surface.**



# Document 24. Effets du transport d'Ekman sous les centres cycloniques et anticycloniques.

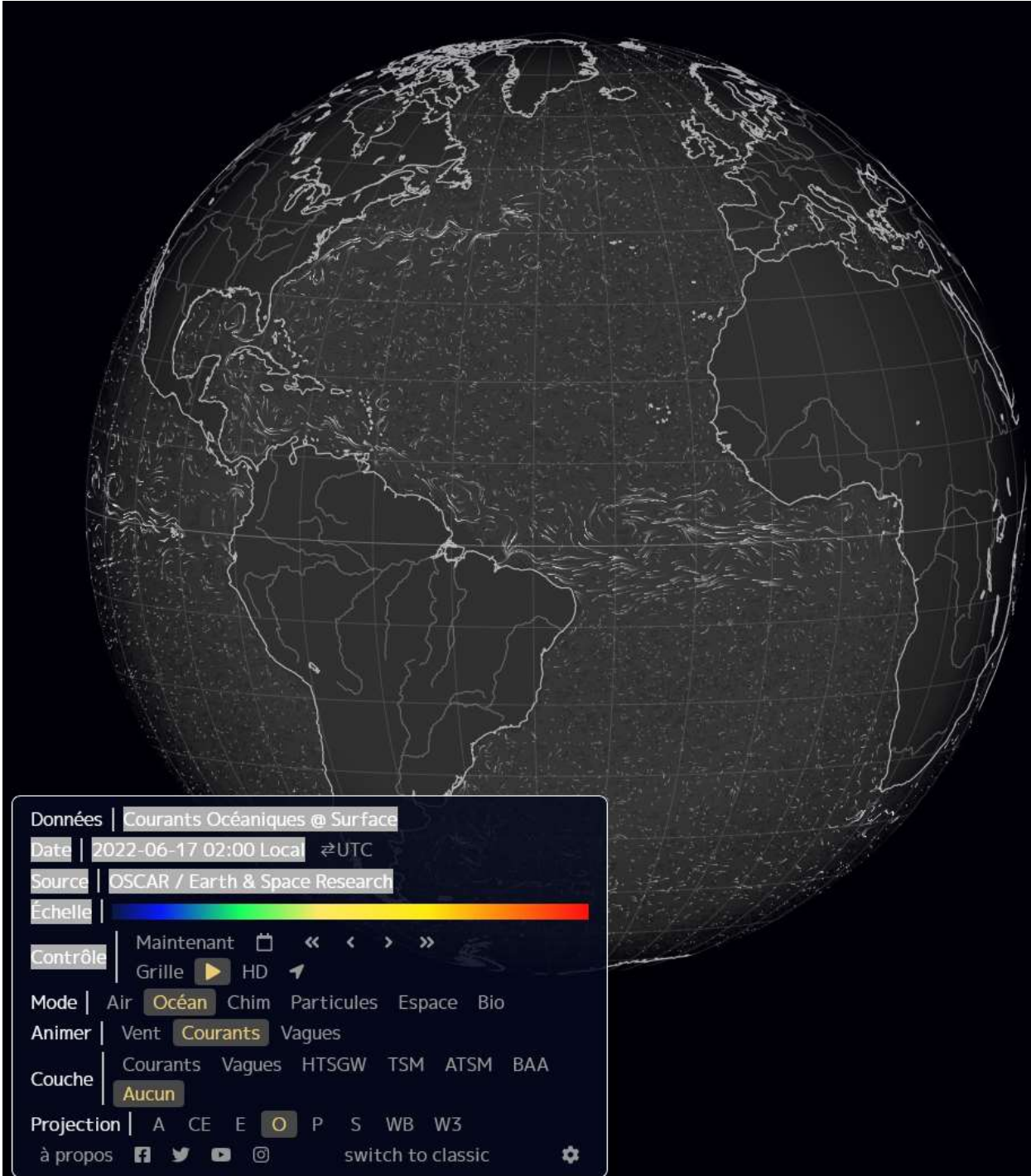


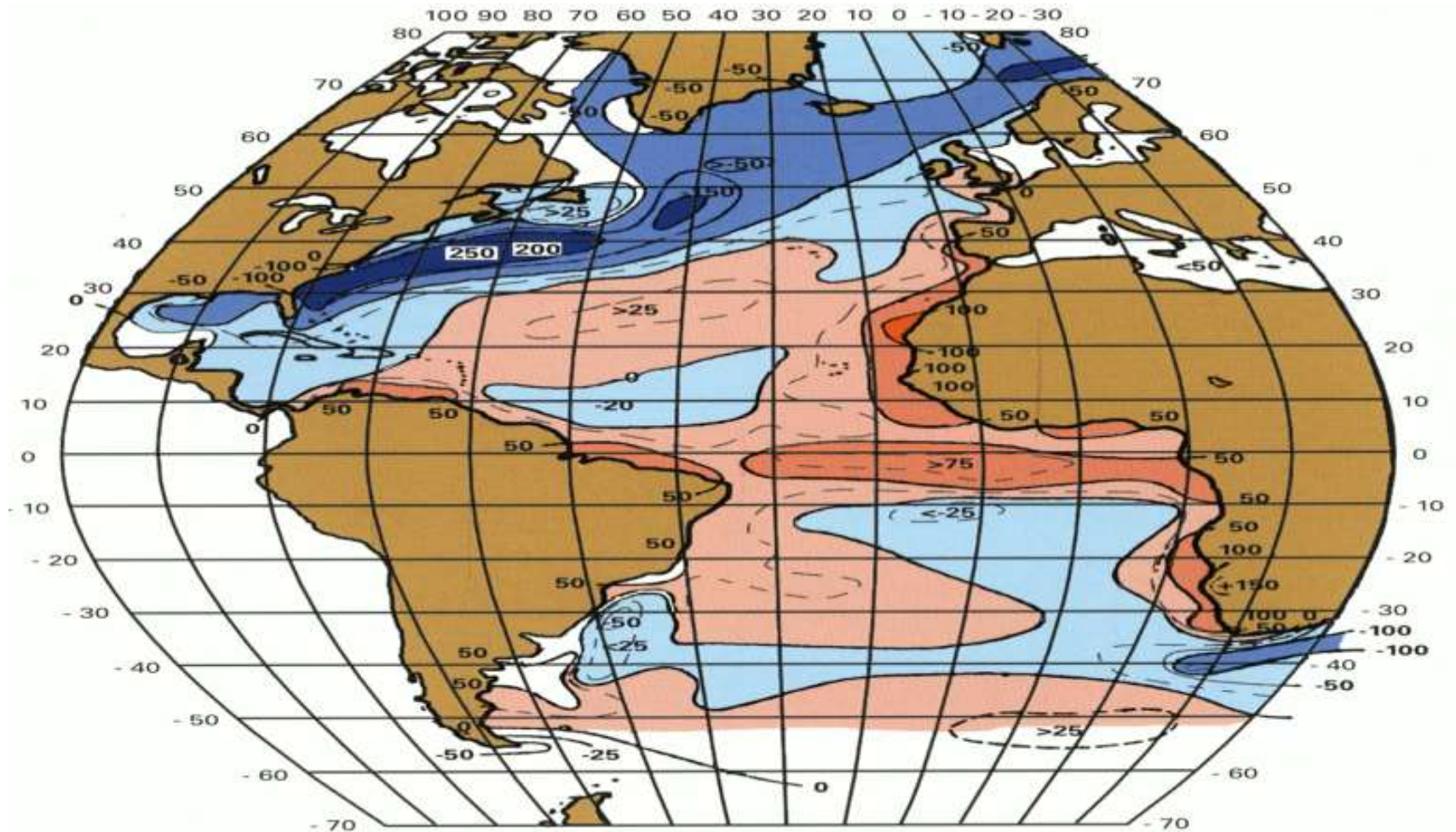
# Document 25. Mise en place d'un courant géostrophique.



# Des circulations giratoires à différentes échelles

<https://earth.nullschool.net/fr/#current/ocean/surface/currents/overlay=none/orthographic=-37.24,5.15,419>





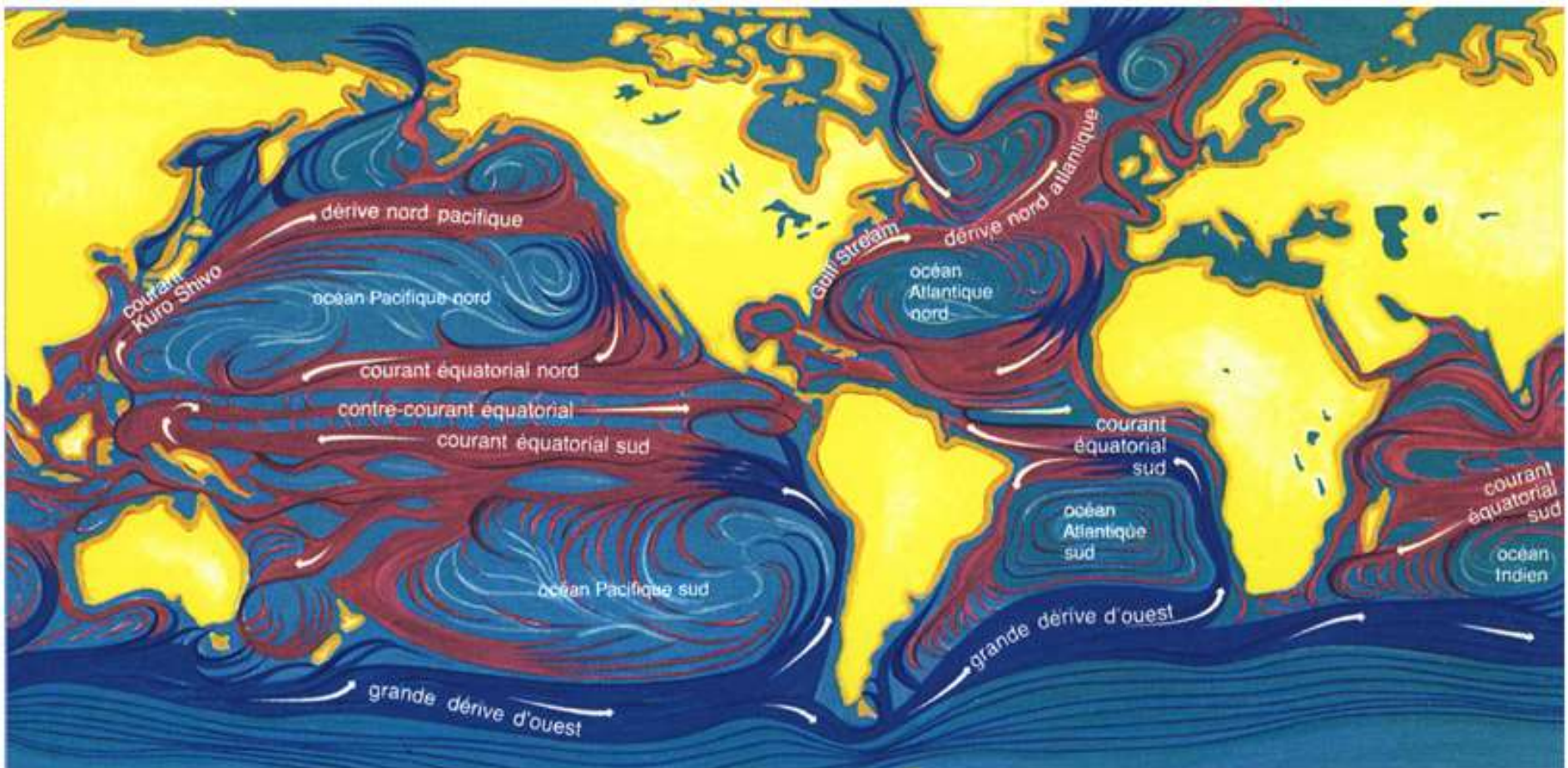
## Le bilan net de l'échange énergétique annuel moyen à la surface de l'océan Atlantique.

On remarque le gain pour l'océan (en rouge) d'environ 75 watts/m<sup>2</sup> dans la région équatoriale, et l'énorme déficit associé au Gulf Stream (en bleu) de 250 watts/m<sup>2</sup> vers 40° N, lorsque ce courant chaud pénètre dans une région où l'air est sec et froid, ce qui entraîne une perte de « chaleur latente » accompagnant une intense évaporation.

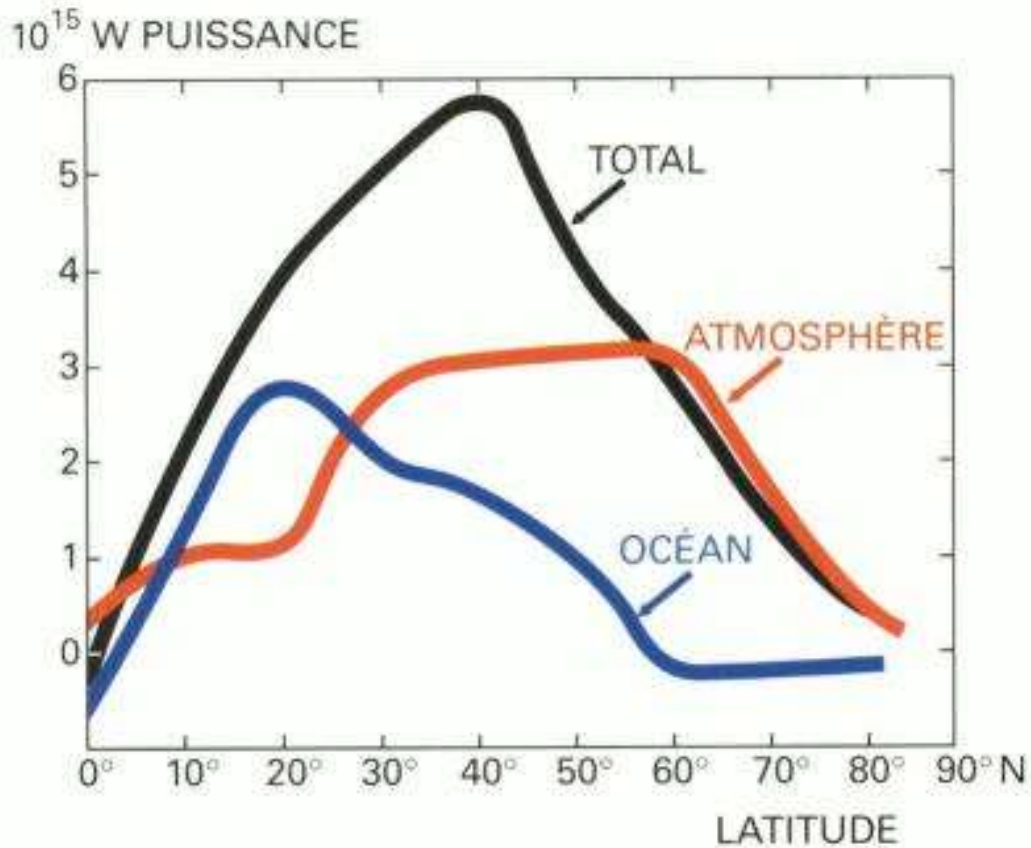
D'après Hastenrath (1980) <https://books.openedition.org/irdeditions/25553?lang=fr> « Océan et climat » J. Merle

# Circulation océanique superficielle : courants chauds (en rouge) et froids (en bleu)

Les deux gyres subtropicaux symétriques par rapport à l'équateur, presque identiques dans les océans Atlantique et Pacifique, constituent un des mécanismes principaux du transport de chaleur des régions tropicales vers les régions tempérées.



## Document 26. Composantes méridiennes du transport thermique moyen opéré par l'atmosphère et les océans pour l'hémisphère Nord.



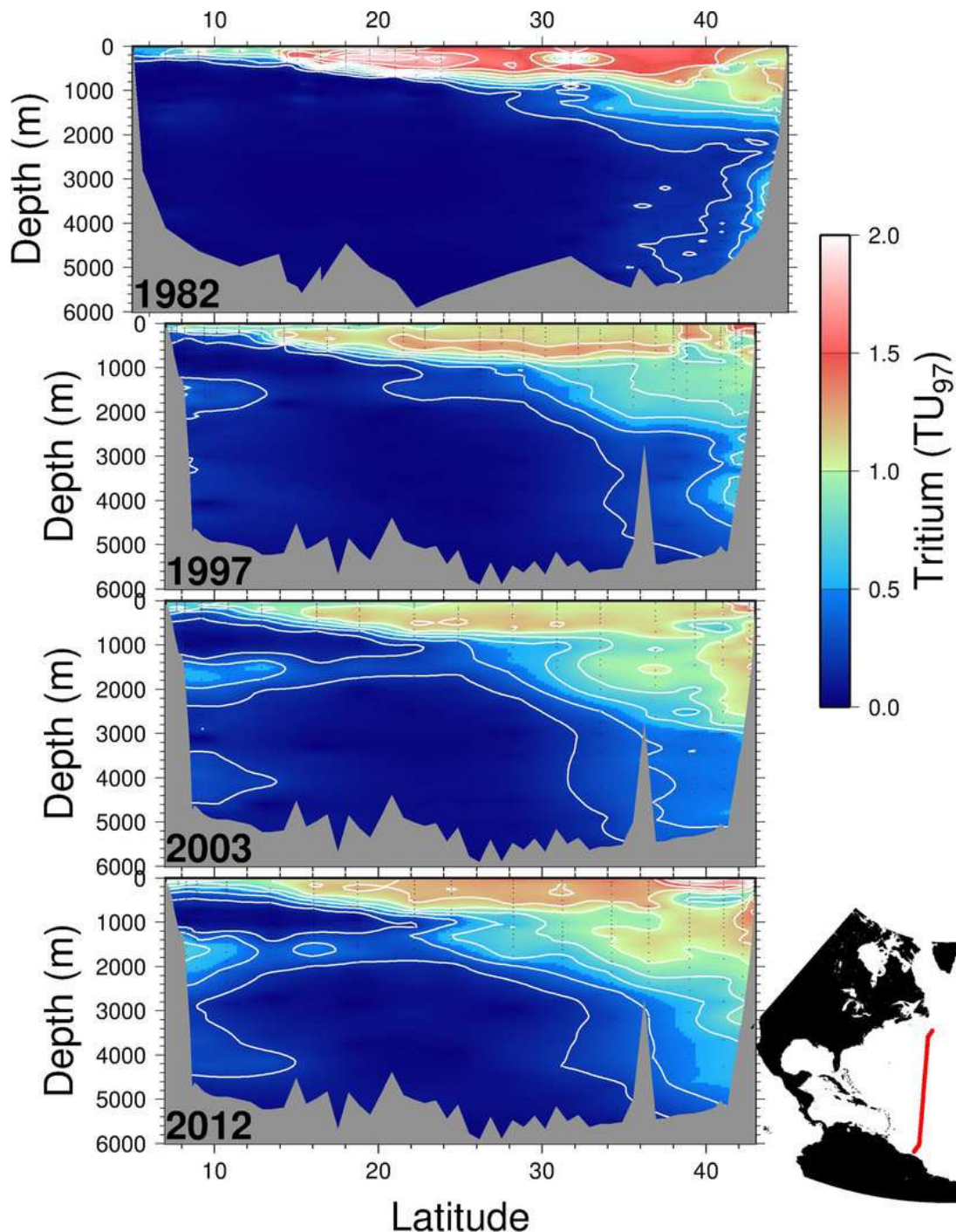
**Capacité thermique massique :**

$$C_{\text{eau liquide}} = 4\,185 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$$

$$C_{\text{air sec}} = 1\,005 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$$

Le transport thermique océanique (en bleu) est voisin de zéro à l'équateur, puis atteint près de  $3 \cdot 10^{15}$  watts (ou 3 petawatts) à  $20^\circ$  de latitude.

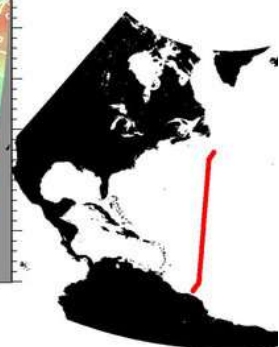
Le transport atmosphérique (en rouge), au contraire, est maximal entre  $30^\circ$  et  $70^\circ$  de latitude.



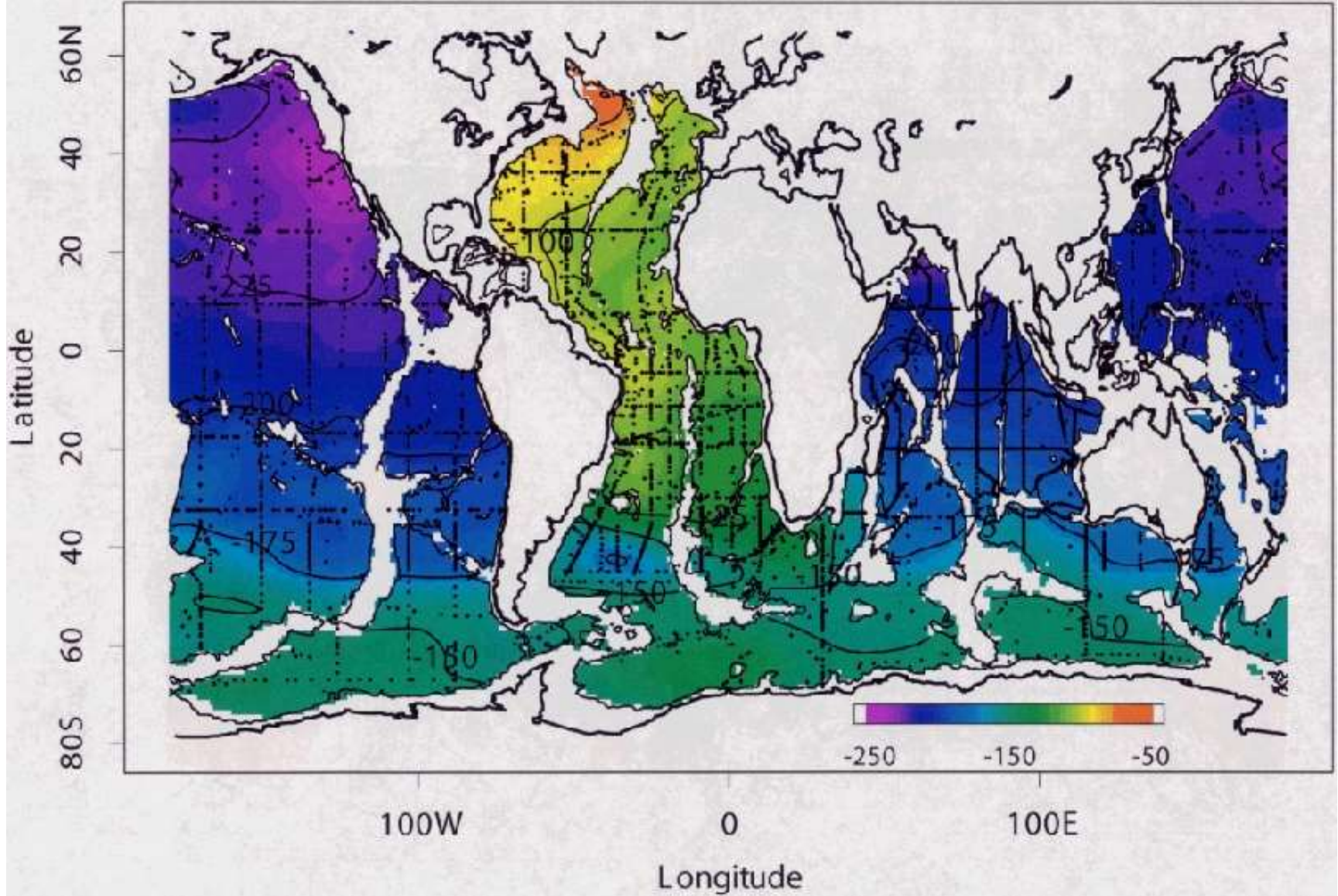
**Document 27. Teneurs en tritium <sup>3</sup>H selon la profondeur dans l’océan Atlantique, le long de transects Nord – Sud à 52°W.**

La topographie pour les mesures de 1982 diffère de celles des autres campagnes en raison d’une trajectoire différente.

Le tritium a une demi-vie de 12,3 ans.



“A comprehensive global oceanic dataset of helium isotope and tritium measurements” WJ Jenkins et al. April 2019  
 Earth System Science Data 11(2):441-454  
[https://www.researchgate.net/figure/Four-meridional-tritium-sections-along-roughly-52-W-in-the-North-Atlantic-taken-in\\_fig4\\_332232291](https://www.researchgate.net/figure/Four-meridional-tritium-sections-along-roughly-52-W-in-the-North-Atlantic-taken-in_fig4_332232291)



Objectively mapped natural <sup>14</sup>C abundance on the 3500 m water depth level. Radiocarbon abundance is expressed in  $\Delta^{14}\text{C}$  (‰). See Subsection 2.1 for data source and mapping methodology. Contours are 25‰ apart. Dots indicate station locations.

[Natural Radiocarbon Distribution in the Deep Ocean](https://www.semanticscholar.org/paper/Natural-Radiocarbon-Distribution-in-the-Deep-Ocean-Matsumoto-Key/5543297436ahf8f7c4b02ae6de772fa2a640a361) K. Matsumoto, R. Key  
<https://www.semanticscholar.org/paper/Natural-Radiocarbon-Distribution-in-the-Deep-Ocean-Matsumoto-Key/5543297436ahf8f7c4b02ae6de772fa2a640a361>



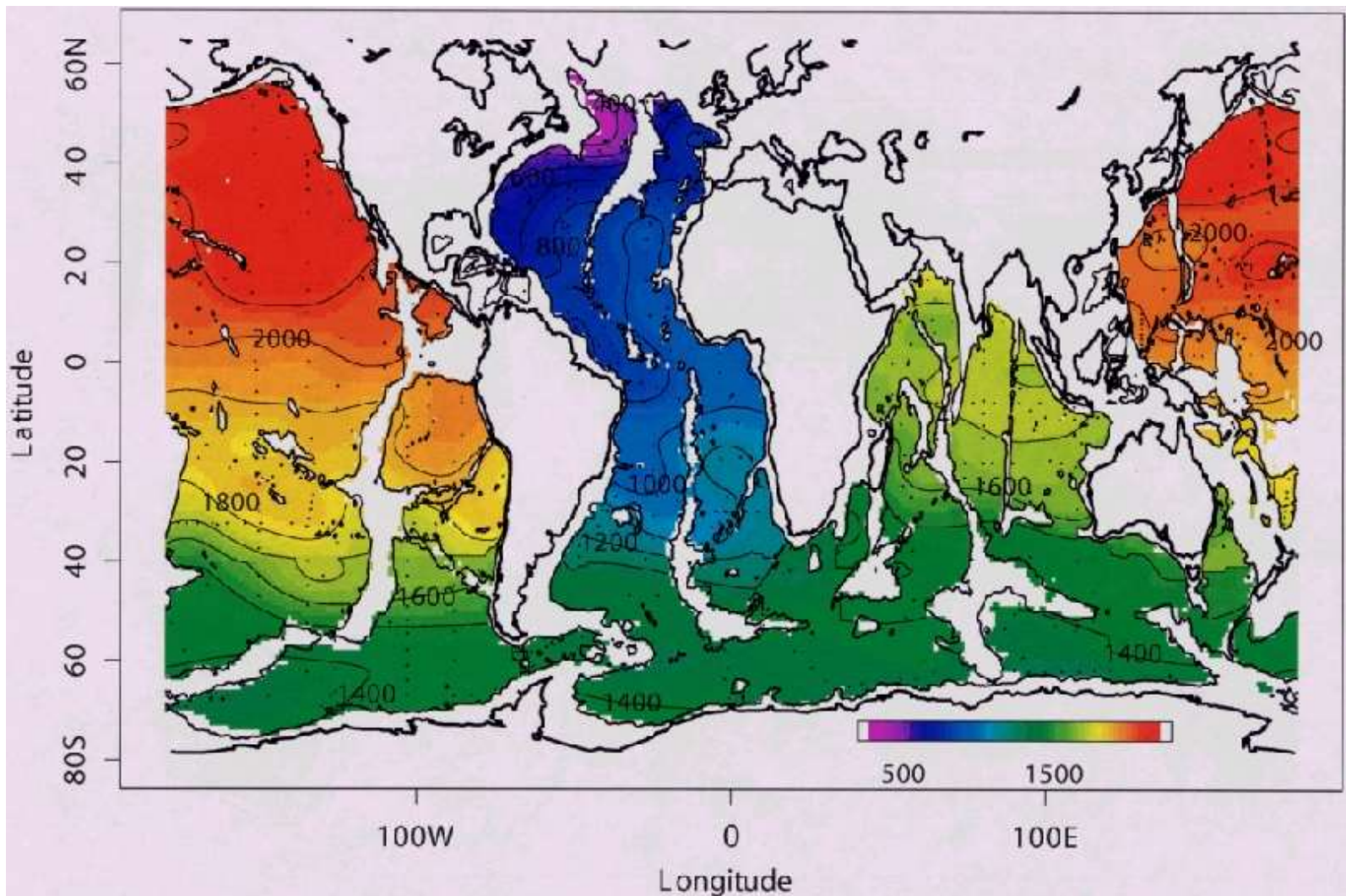


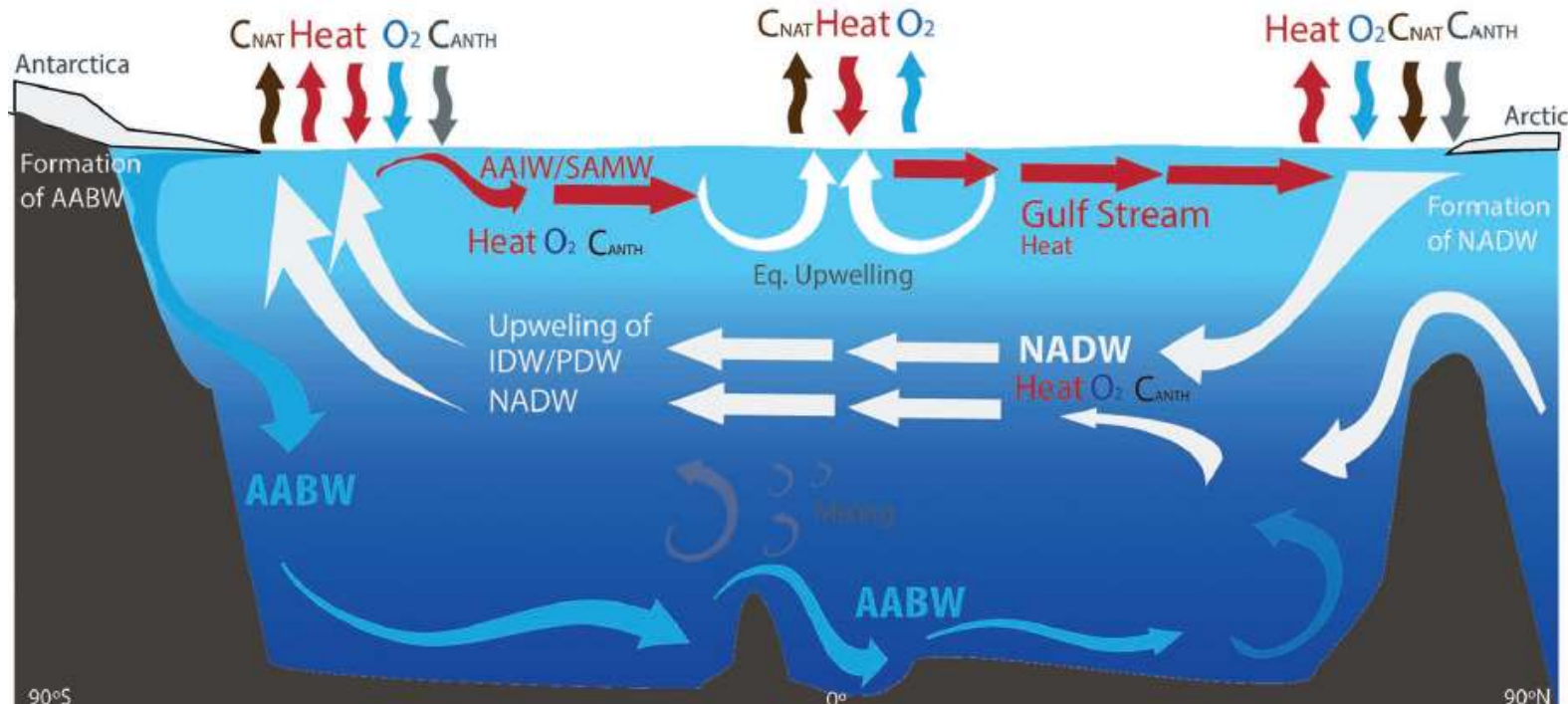
Fig. 2. Objectively mapped conventional  $^{14}\text{C}$  age of natural radiocarbon on the 3500 m level. This figure does not correlate exactly with natural  $\Delta^{14}\text{C}$  (Fig. 1), because  $^{14}\text{C}$  age is a non-linear function of  $^{14}\text{C}$  abundance. Also, in making this figure,  $\Delta^{14}\text{C}$  from Fig. 1 was first converted to  $^{14}\text{C}$  age, which was then objectively mapped (i.e., converted then mapped, not mapped then converted). Therefore the mapped variable is different in the two figures. Contours are 100 years apart.

[Natural Radiocarbon Distribution in the Deep Ocean](https://www.semanticscholar.org/paper/Natural-Radiocarbon-Distribution-in-the-Deep-Ocean-Matsumoto-Key/5543297436ahf8f7c4b02ae6de772fa2a640a361) K. Matsumoto, R. Key

<https://www.semanticscholar.org/paper/Natural-Radiocarbon-Distribution-in-the-Deep-Ocean-Matsumoto-Key/5543297436ahf8f7c4b02ae6de772fa2a640a361>

# Représentation simplifiée de la CMR et de ses impacts sur les grands flux air-mer, et sur le transport de chaleur, de dioxygène ( $O_2$ ), de carbone anthropique ( $C_{ANTH}$ ) et naturel ( $C_{NAT}$ )

AABW = eaux profondes de l'Antarctique  
 NADW = eaux profondes de l'Atlantique nord  
 IDW = eaux profondes de l'Océan Indien  
 PDW = eaux profondes du Pacifique  
 AAIW = eaux antarctiques Intermédiaires  
 SAMW = eaux modales subantarctiques

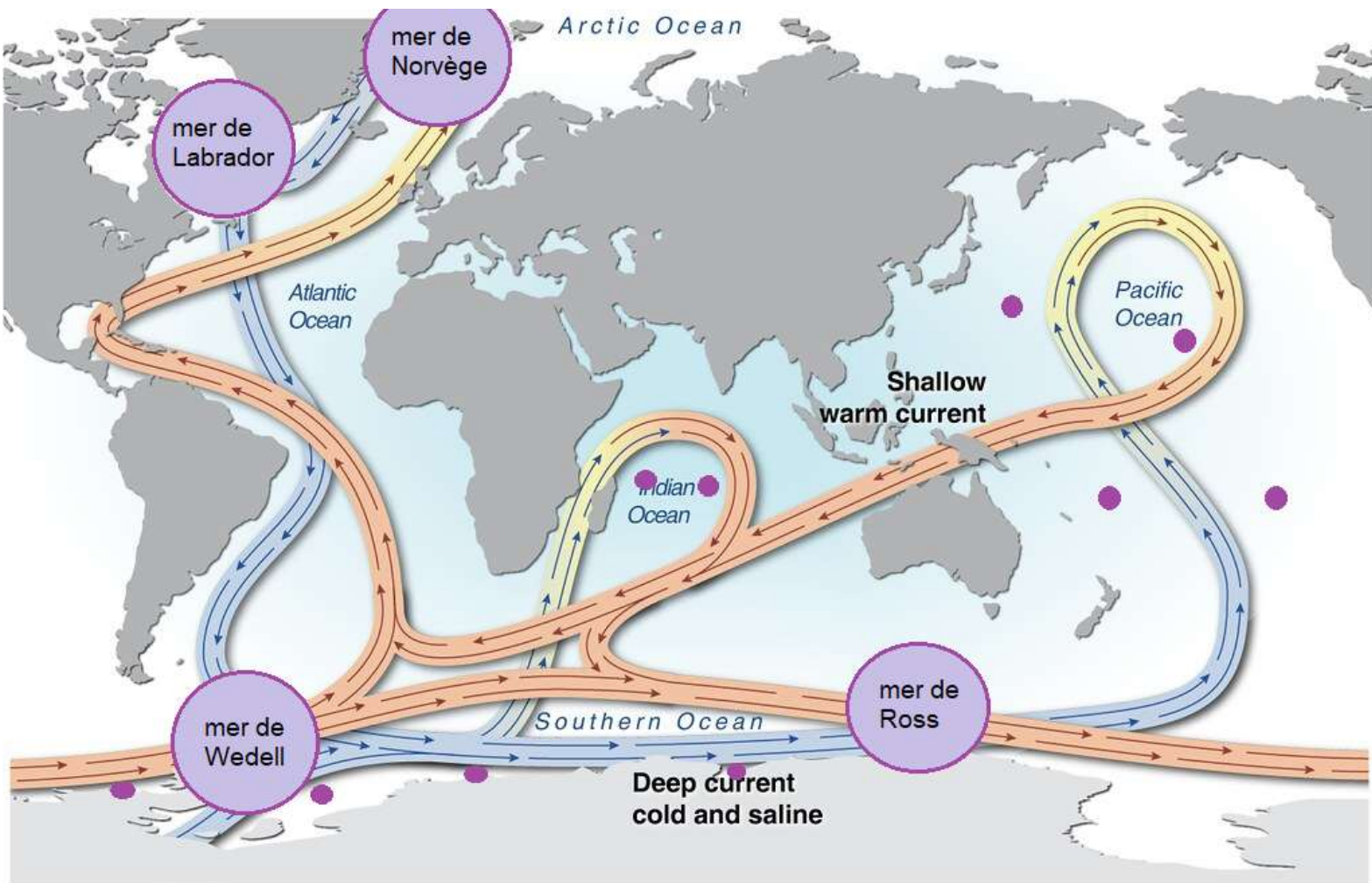


Les bassins de haute latitude, tels que l'Atlantique nord, sont des régions de fortes pertes de chaleur, et de fort stockage de  $C_{ANTH}$ , de  $C_{NAT}$  et d' $O_2$ .

Les remontées d'eaux dans l'océan austral mènent simultanément à des émissions de  $C_{NAT}$ , des captures de  $C_{ANTH}$ , et des ventilations d' $O_2$ , car les eaux profondes remontées sont pauvres en  $O_2$  et riches en carbone inorganique dissous (DIC).

La zone équatoriale est une région d'intenses remontées d'eaux froides et riches en DIC et nutriments, menant à un stockage de chaleur, une production biologique et un dégazage thermique d' $O_2$  intensifiés, ainsi qu'à de grosses émissions de  $C_{NAT}$ .

# Document 28. La circulation méridienne de retournement.

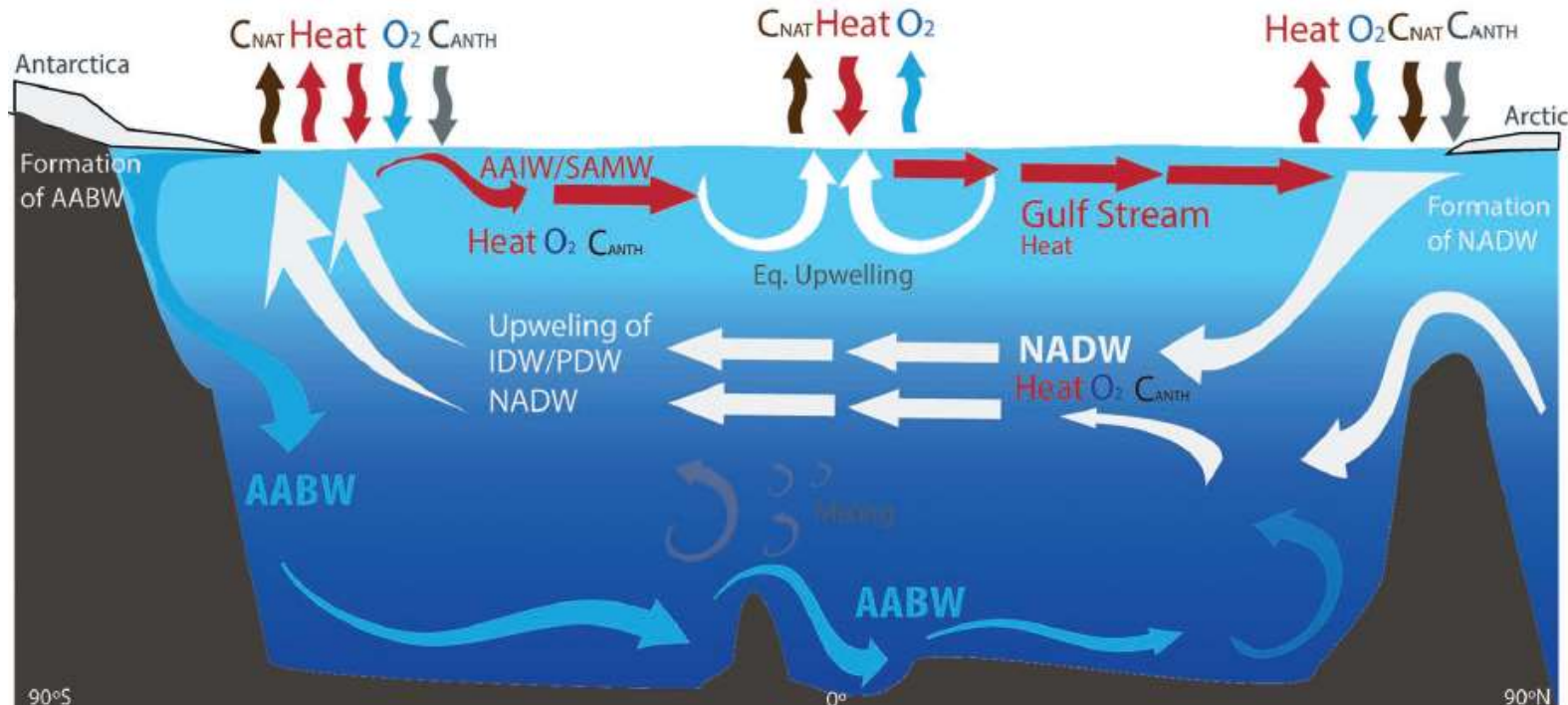


formation d'eaux profondes      remontée d'eaux profondes      courant chaud de surface      courant froid profond

D'après <https://www.grida.no/resources/5228>, modifié

# Représentation simplifiée de la CMR et de ses impacts sur les grands flux air-mer, et sur le transport de chaleur, de dioxygène ( $O_2$ ), de carbone anthropique ( $C_{ANTH}$ ) et naturel ( $C_{NAT}$ )

AABW = eaux profondes de l'Antarctique  
 NADW = eaux profondes de l'Atlantique nord  
 IDW = eaux profondes de l'Océan Indien  
 PDW = eaux profondes du Pacifique  
 AAIW = eaux antarctiques Intermédiaires  
 SAMW = eaux modales subantarctiques



Les bassins de haute latitude, tels que l'Atlantique nord, sont des régions de fortes pertes de chaleur, et de fort stockage de  $C_{ANTH}$ , de  $C_{NAT}$  et d' $O_2$ .

Les remontées d'eaux dans l'océan austral mènent simultanément à des émissions de  $C_{NAT}$ , des captures de  $C_{ANTH}$ , et des ventilations d' $O_2$ , car les eaux profondes remontées sont pauvres en  $O_2$  et riches en carbone inorganique dissous (DIC).

La zone équatoriale est une région d'intenses remontées d'eaux froides et riches en DIC et nutriments, menant à un stockage de chaleur, une production biologique et un dégazage thermique d' $O_2$  intensifiés, ainsi qu'à de grosses émissions de  $C_{NAT}$ .