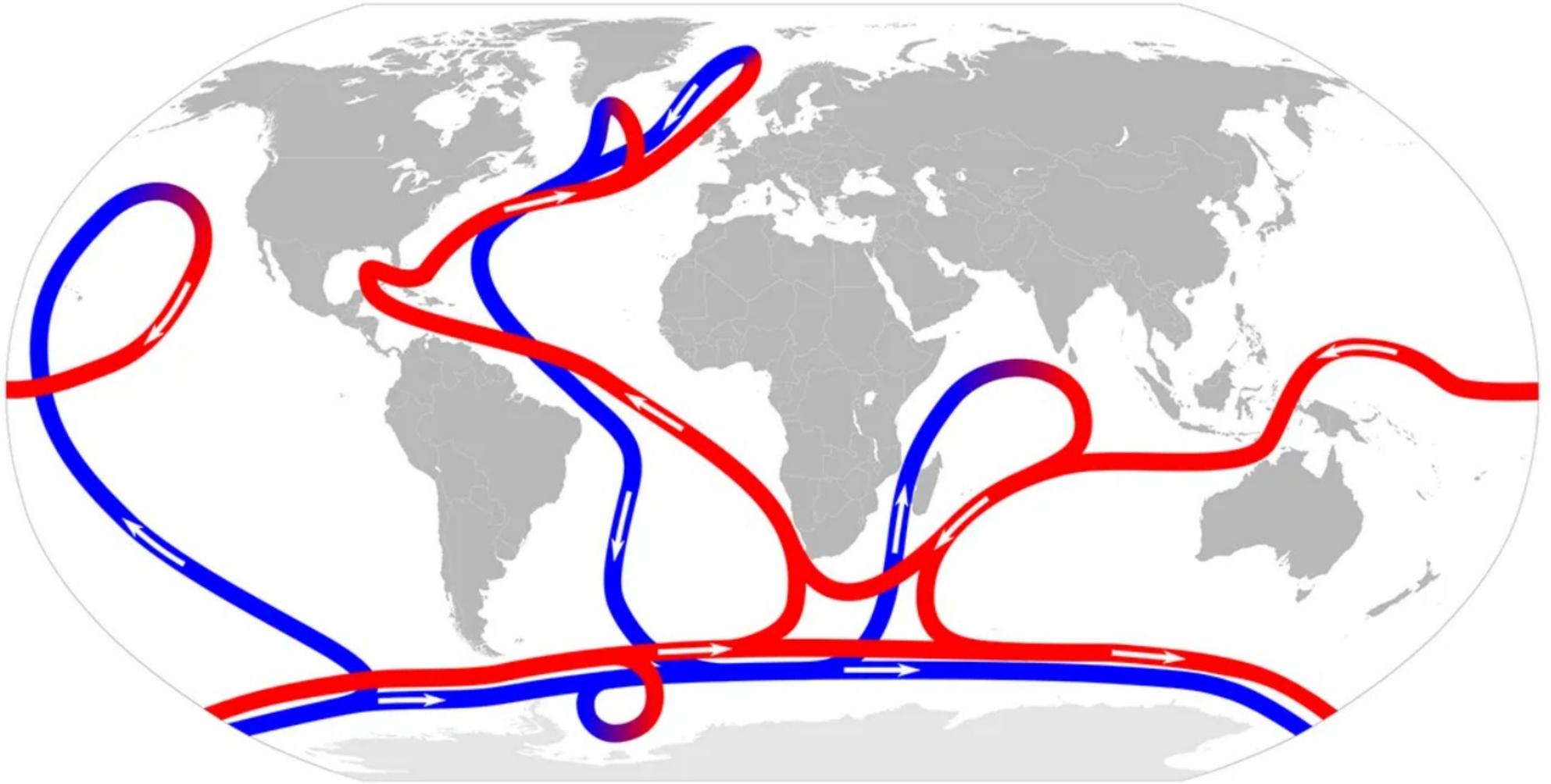


Une introduction à la circulation océanique grande-échelle



Comment observer l'océan ?



Années 1930

Comment observer l'océan ?



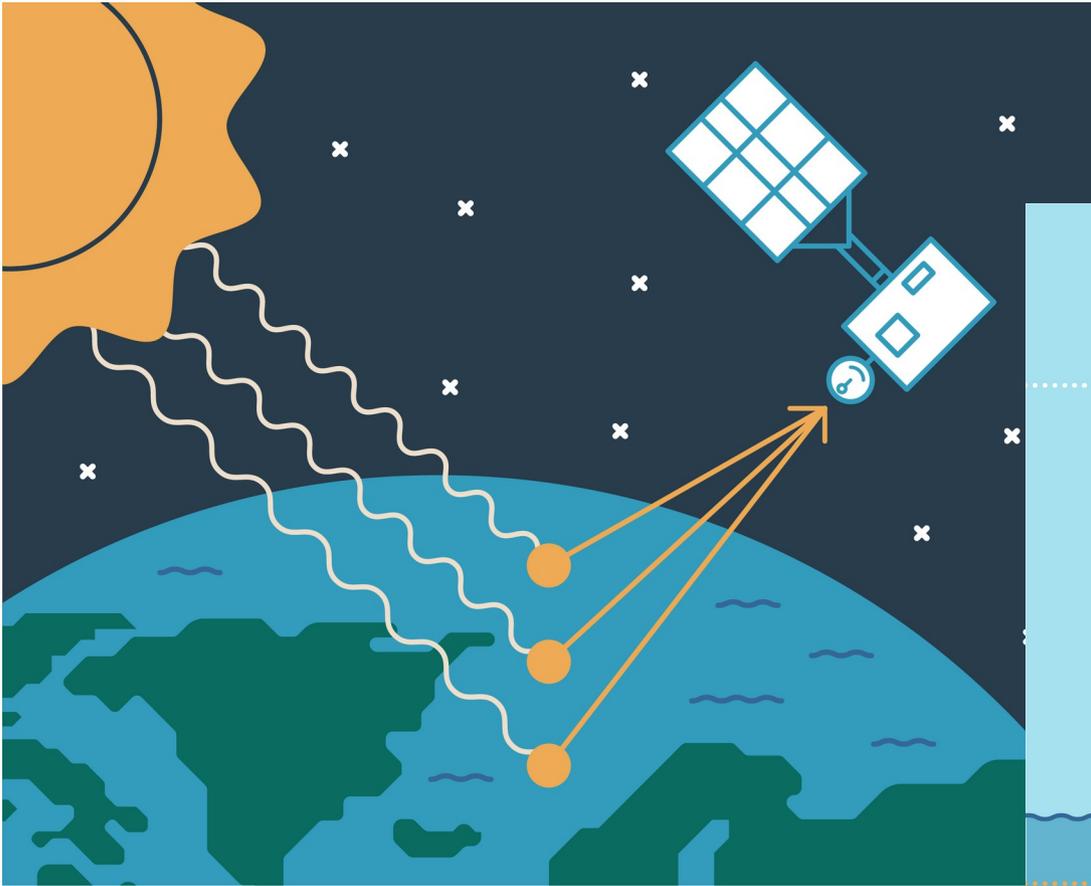
Années 1930



Present

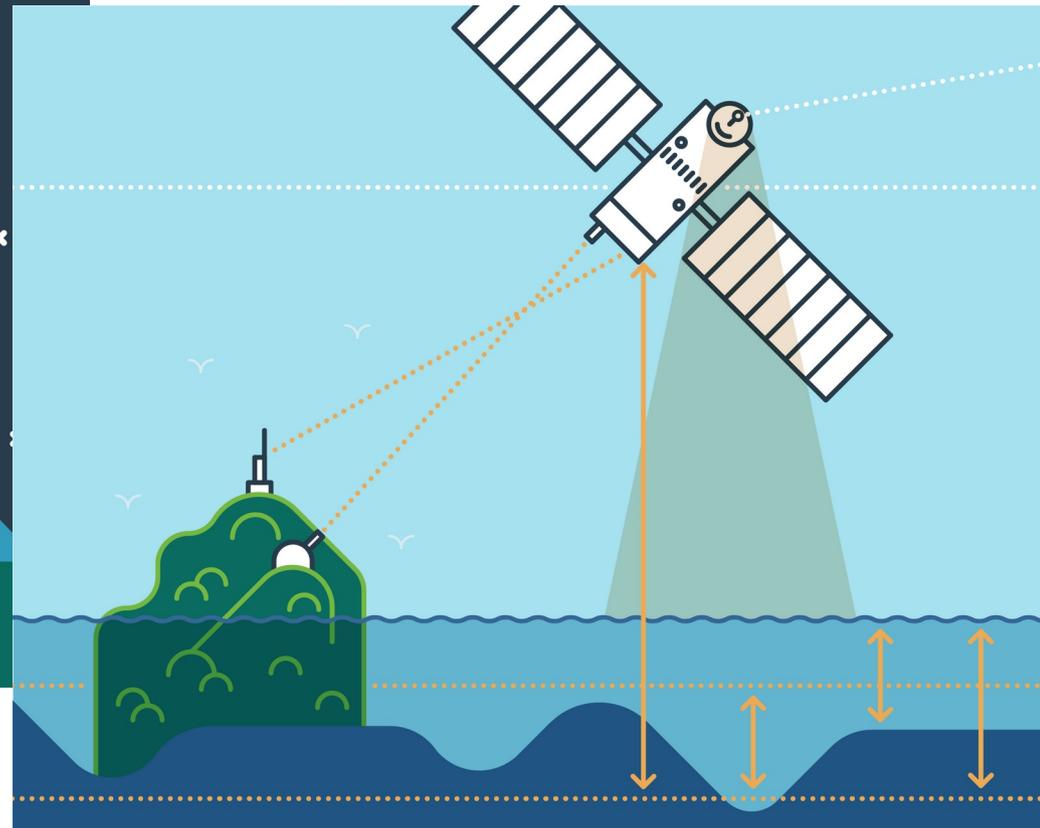
Depuis 1979 :

- Mesures satellites : niveau de la mer, température, salinité, couleur (chlorophylle), masse, couverture / épaisseur de glace...



Radiomètres : température, couverture de glace, chlorophylle, salinité...

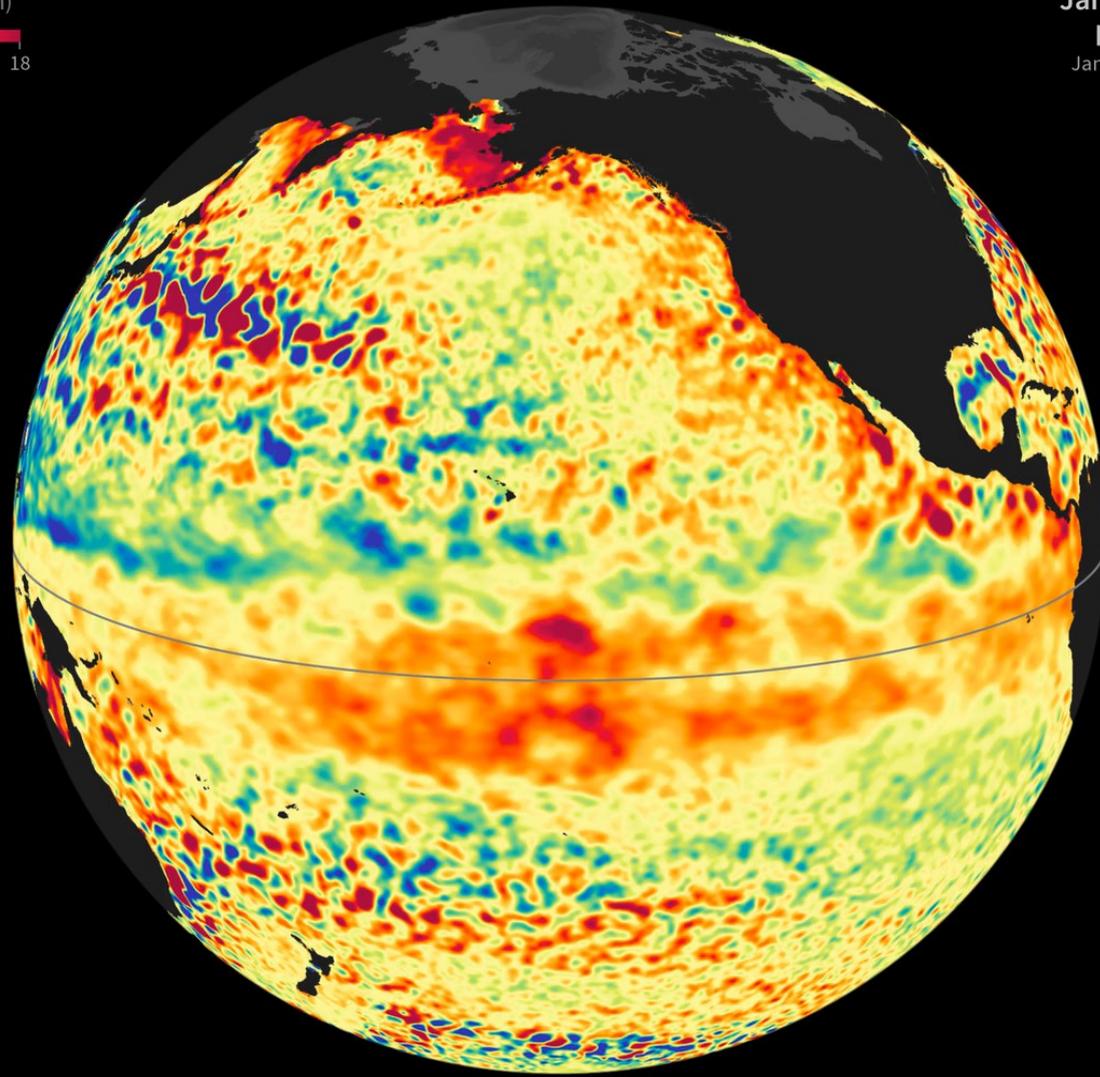
Altimètres : niveau de la mer, hauteur des vagues, glace de mer...



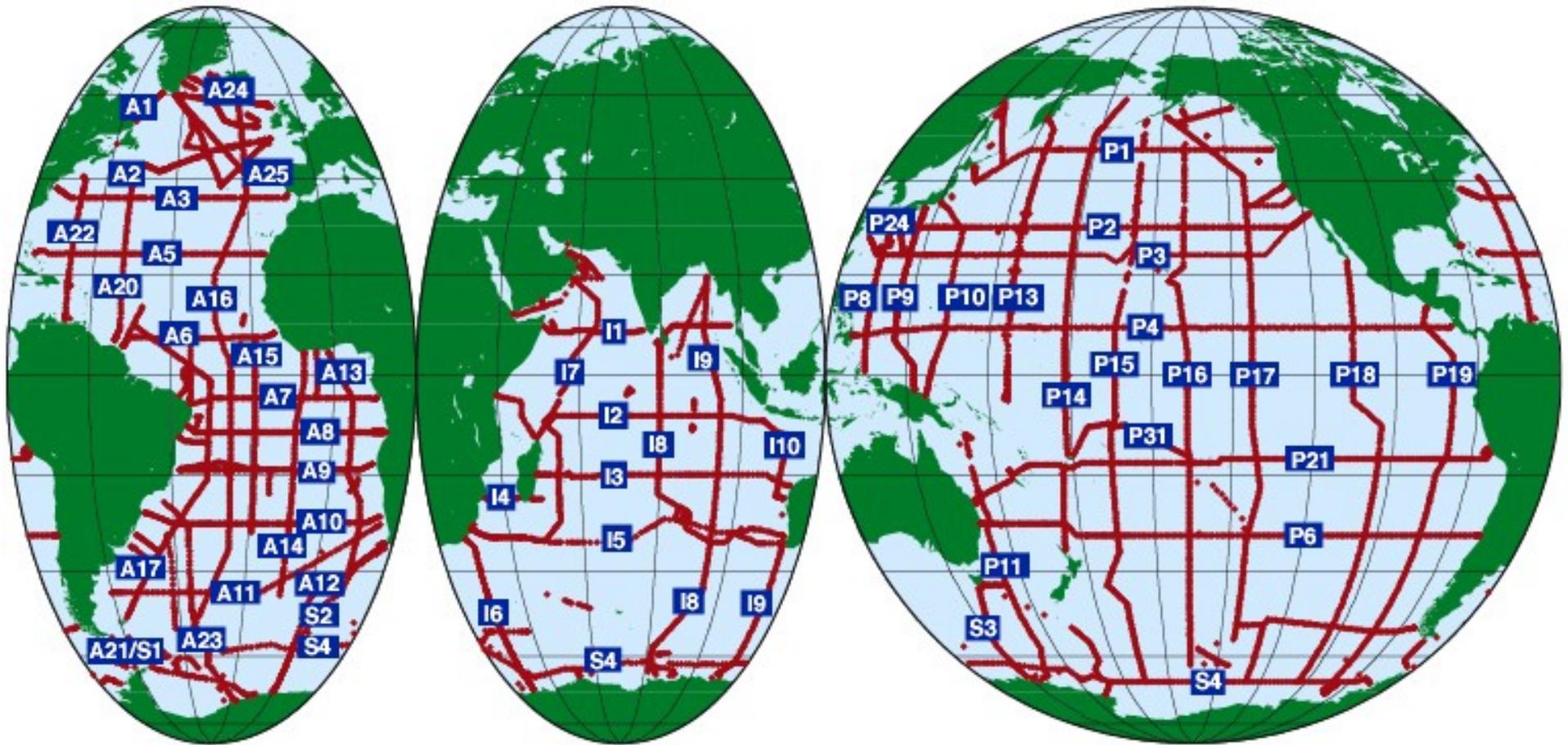
Sea Surface Height Anomaly (cm)

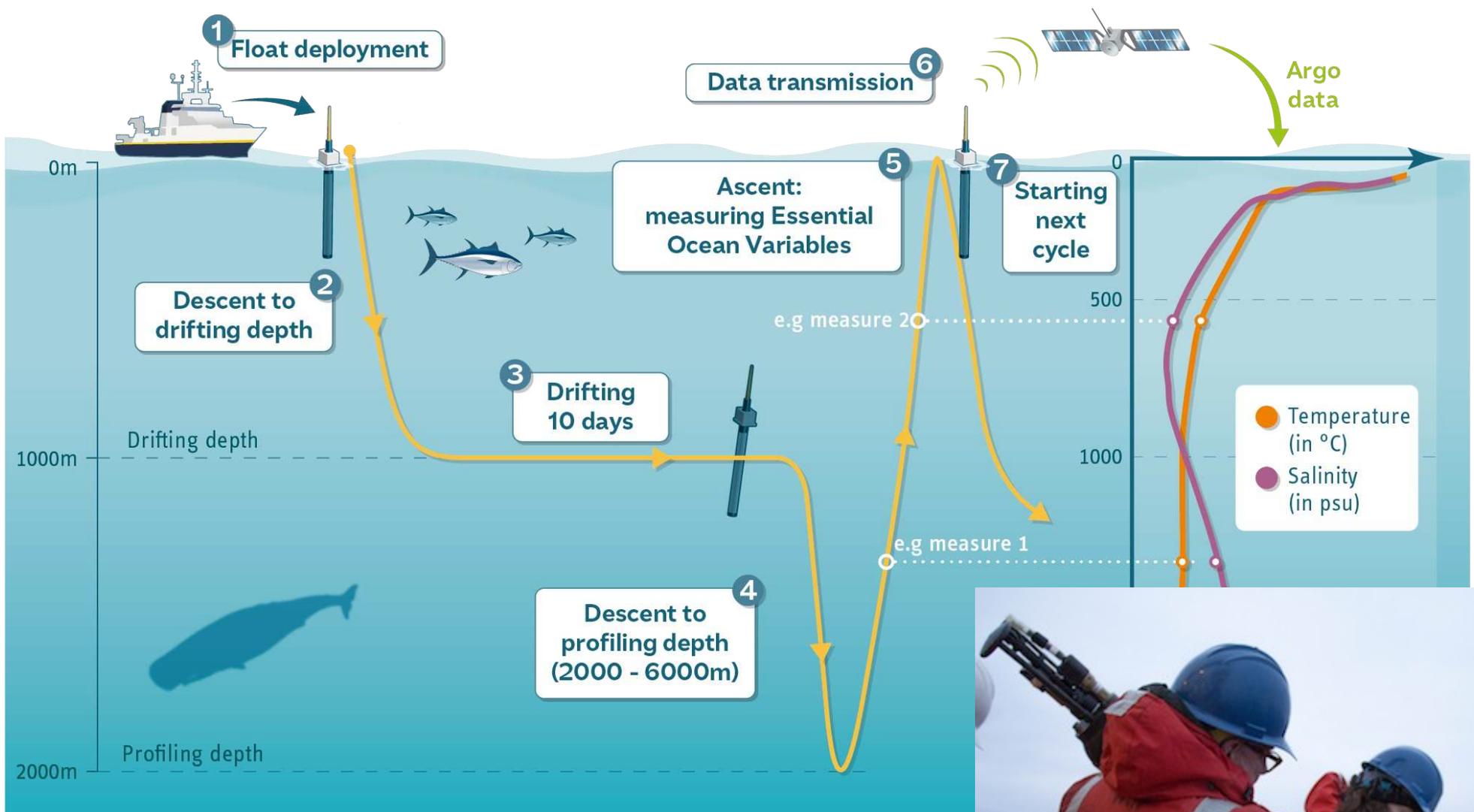


Jan 1

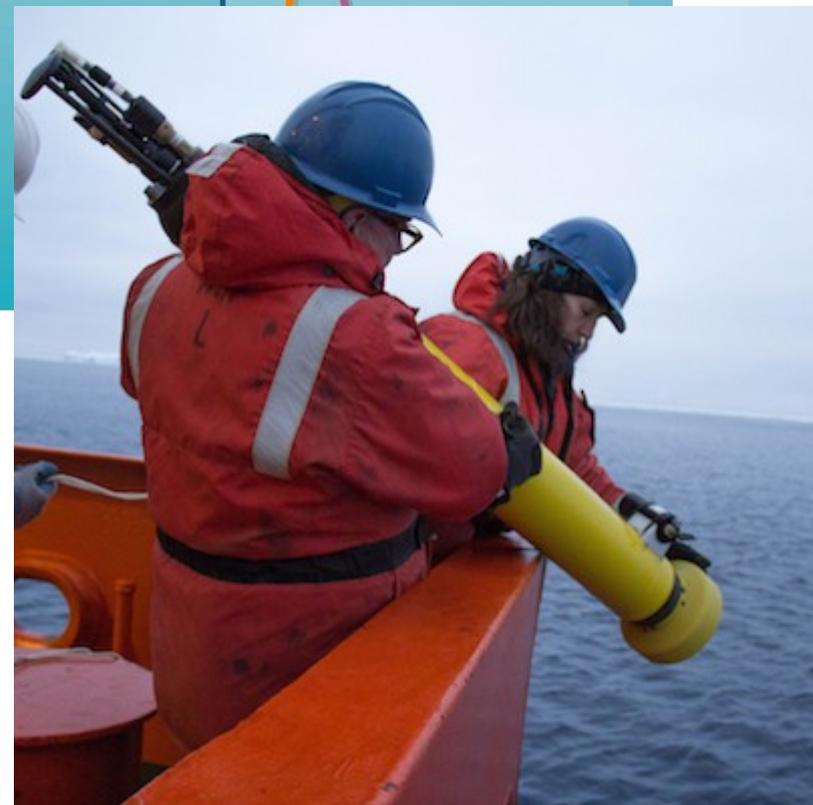


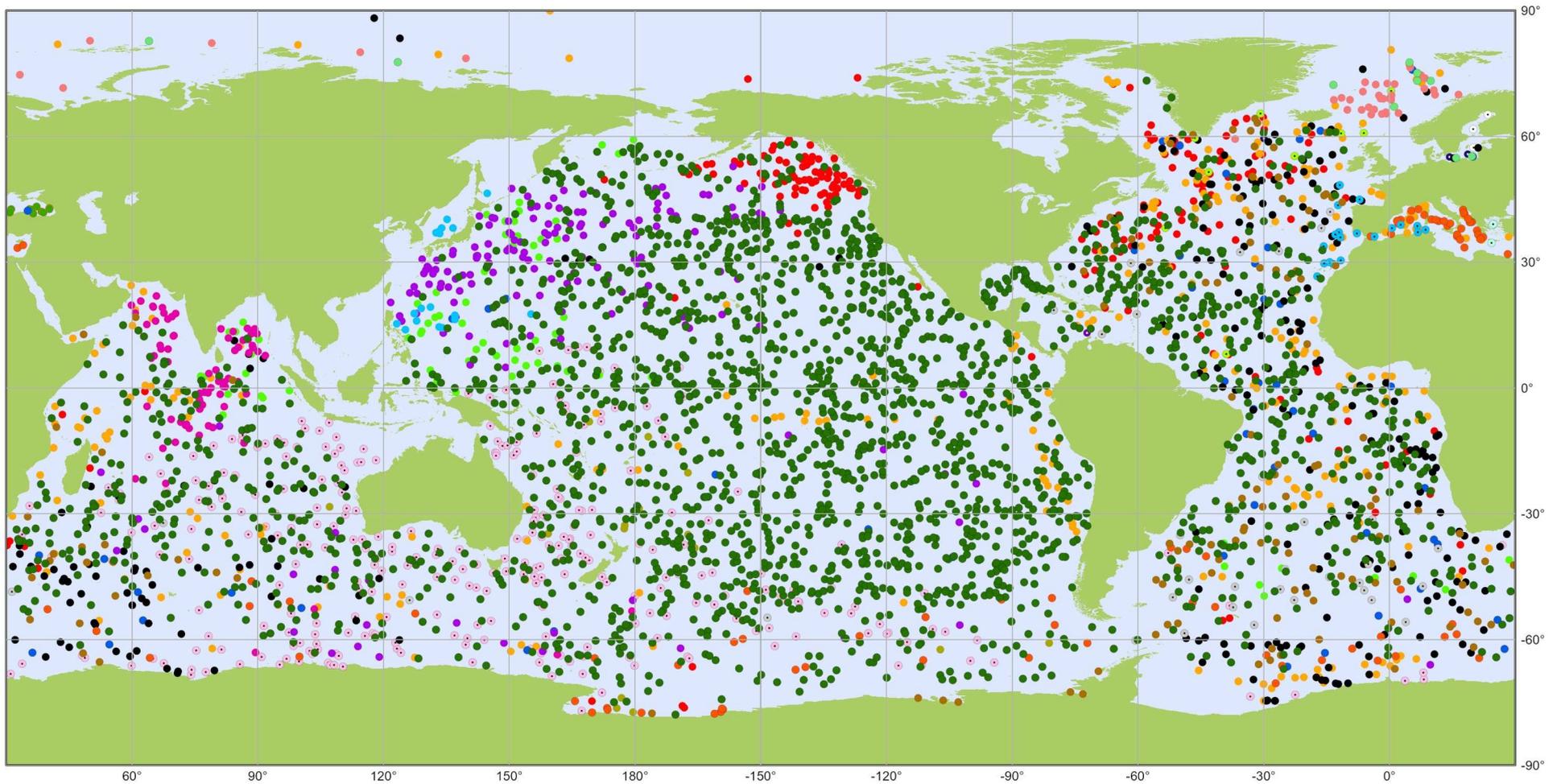
Les années 90 : World Ocean Circulation Experiment





Depuis la fin des années 90 : Argo





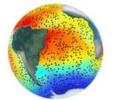
Argo

National contributions- 4139 operational floats

January 2025

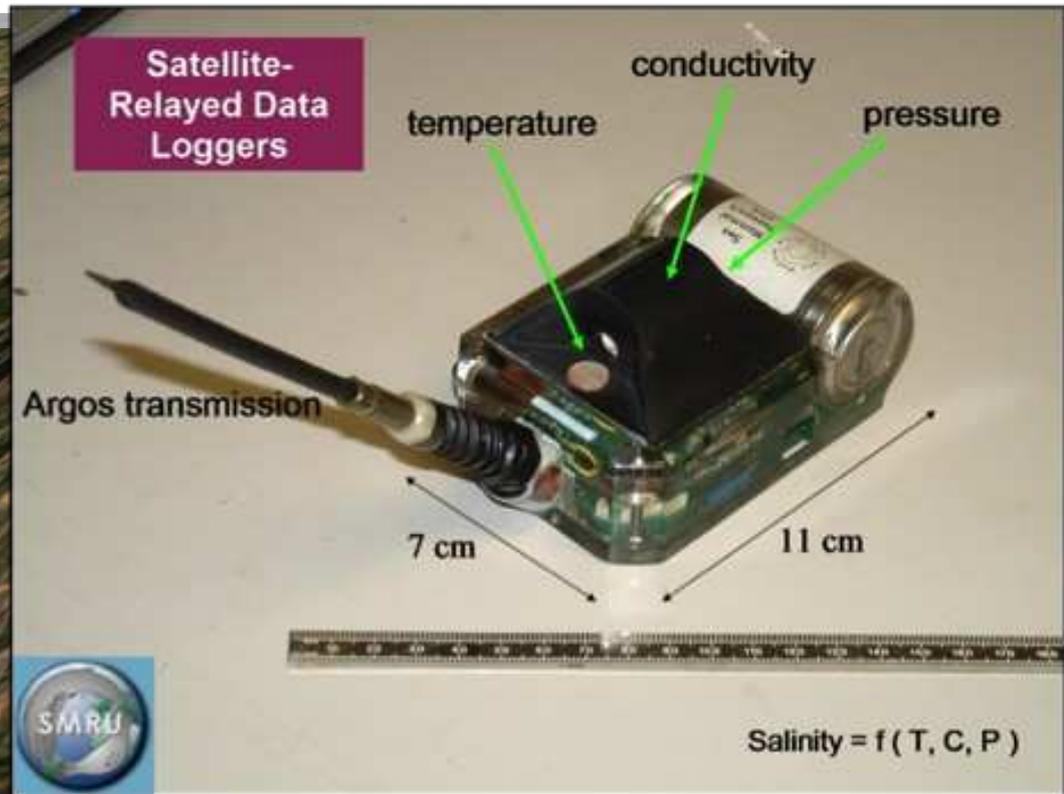
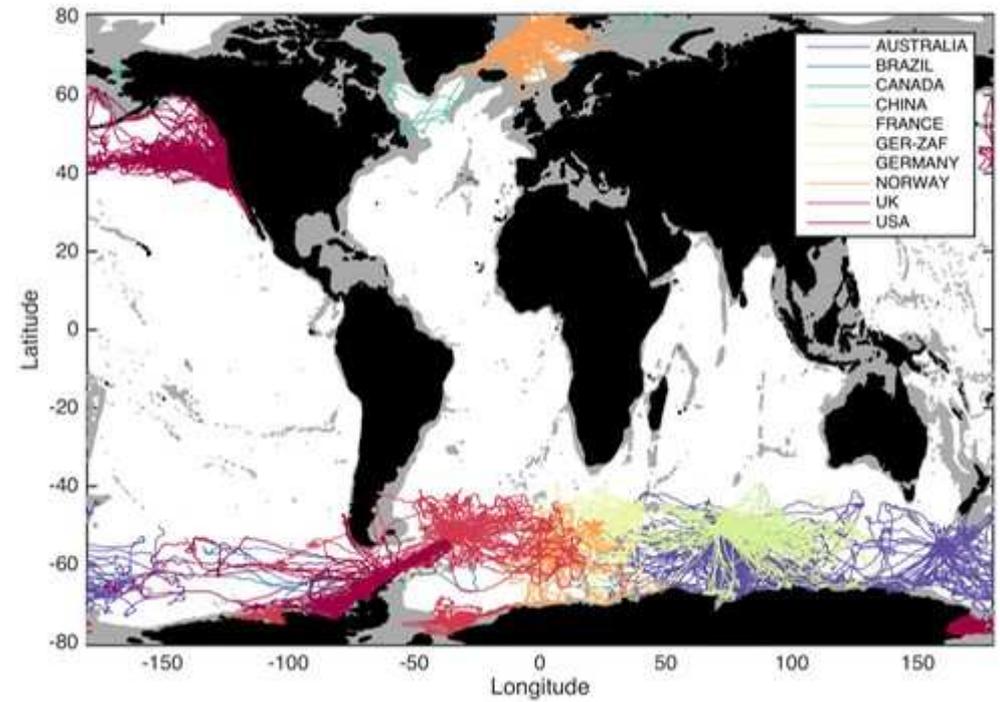
Latest location of operational floats (data distributed within the last 30 days)

- | | | | | |
|-------------------|-----------------|---------------|---------------------------|--------------|
| ○ AUSTRALIA (308) | ● DENMARK (3) | ○ GREECE (6) | ○ NETHERLANDS (35) | ● SPAIN (19) |
| ● BULGARIA (10) | ● EUROPE (53) | ● INDIA (76) | ● NEW ZEALAND (17) | ● UK (134) |
| ● CANADA (197) | ○ FINLAND (3) | ● IRELAND (9) | ● NORWAY (38) | ● USA (2334) |
| ● CHINA (70) | ● FRANCE (287) | ● ITALY (84) | ● POLAND (10) | |
| ● COLOMBIA (1) | ● GERMANY (262) | ● JAPAN (165) | ● KOREA, REPUBLIC OF (18) | |

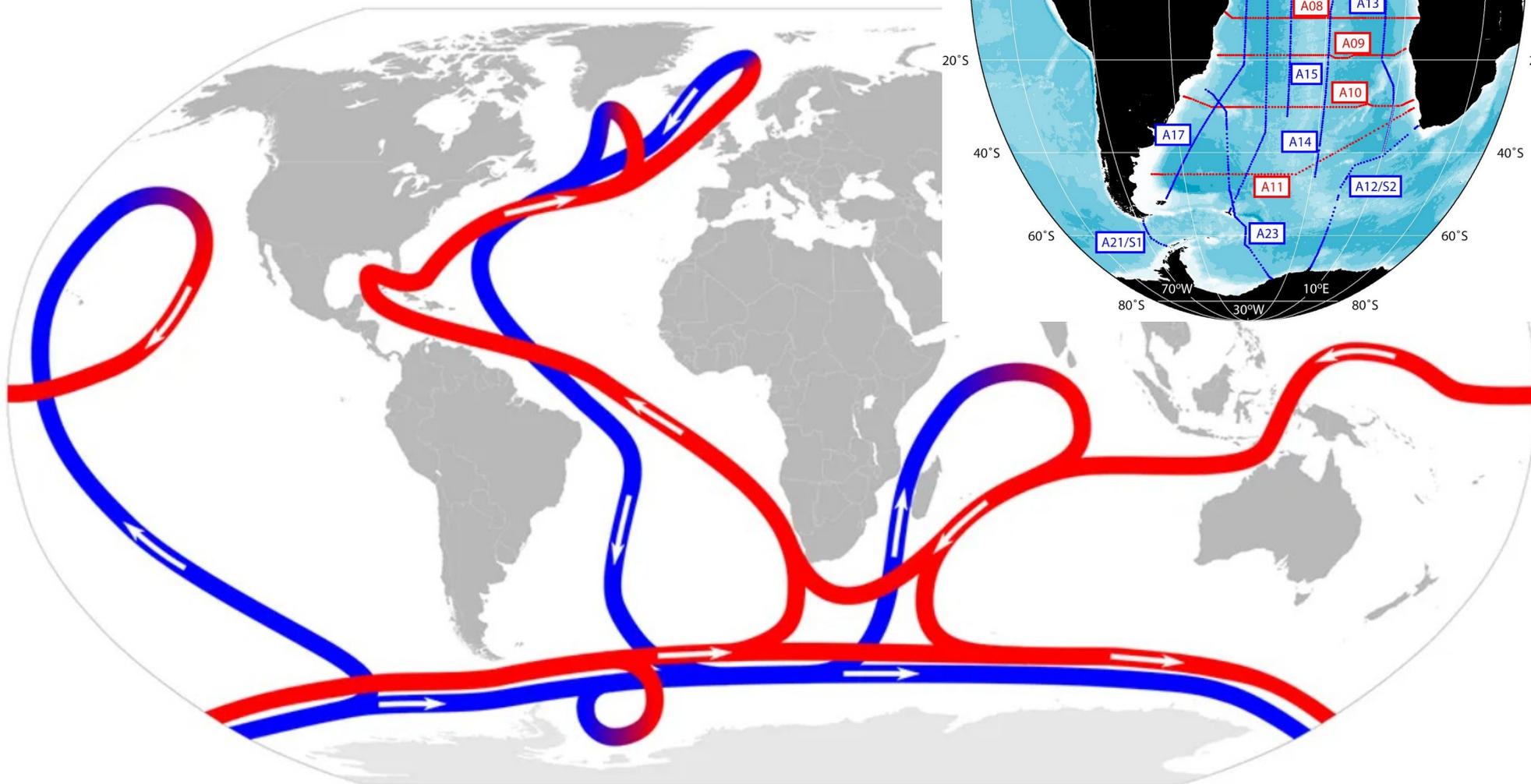
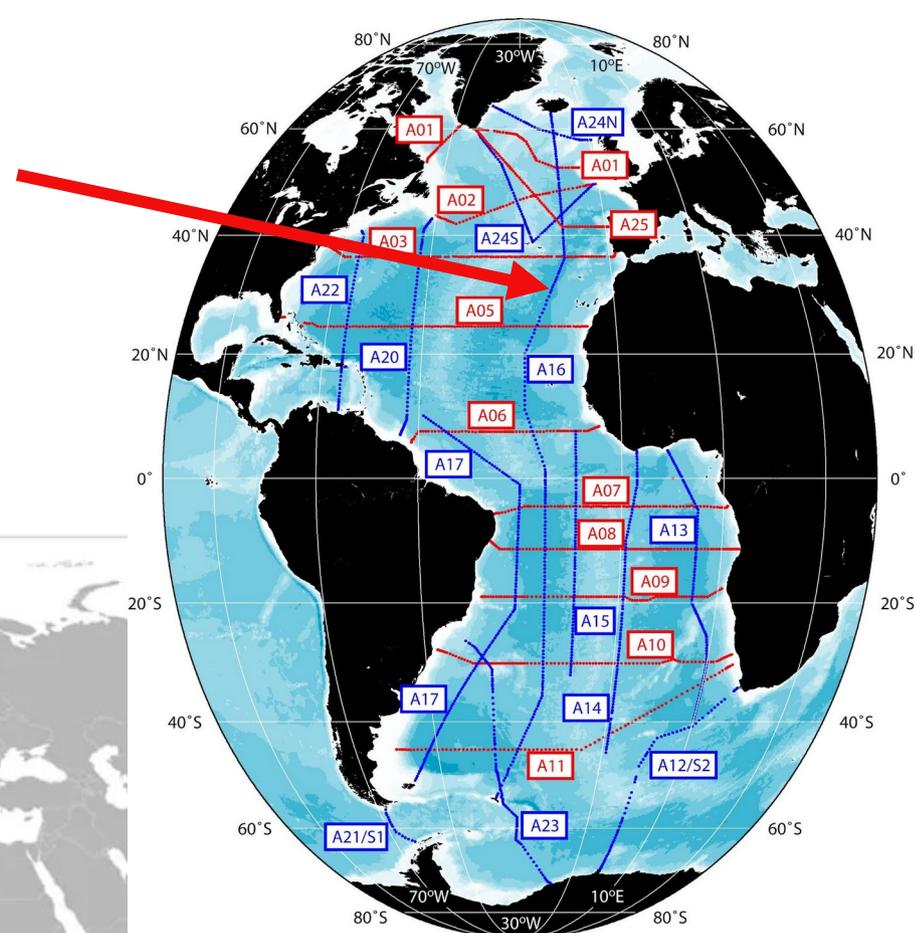


Generated by ocean-ops.org, 2025-02-06
Projection: Plate Carree (-150.0000)

Depuis les années 2000 :



A quoi ressemble l'intérieur... ?

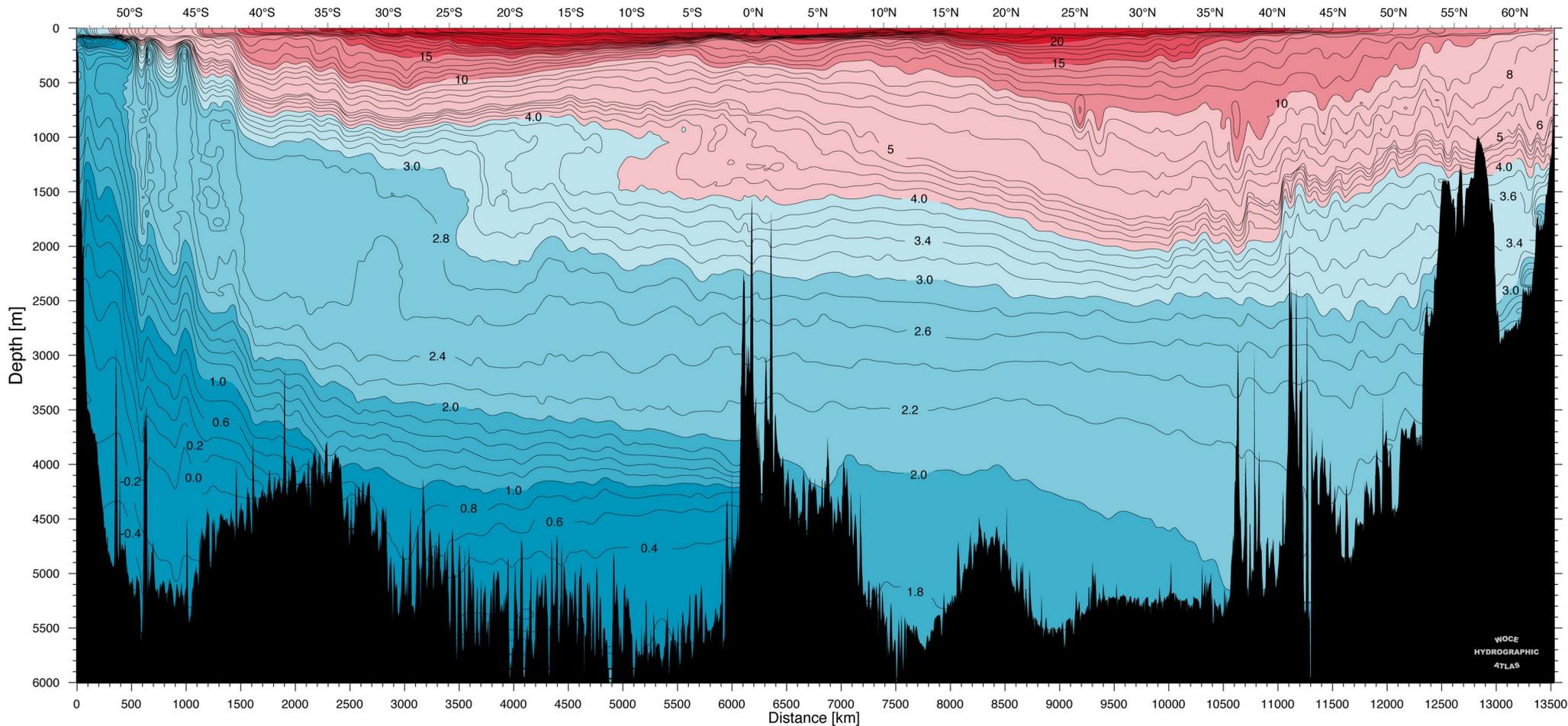
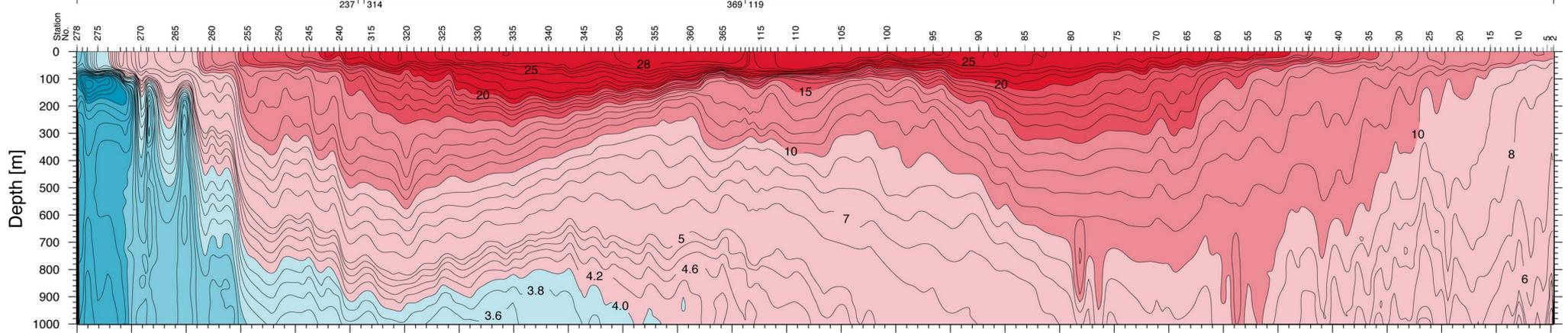


Potential Temperature [°C] for A16 25° W

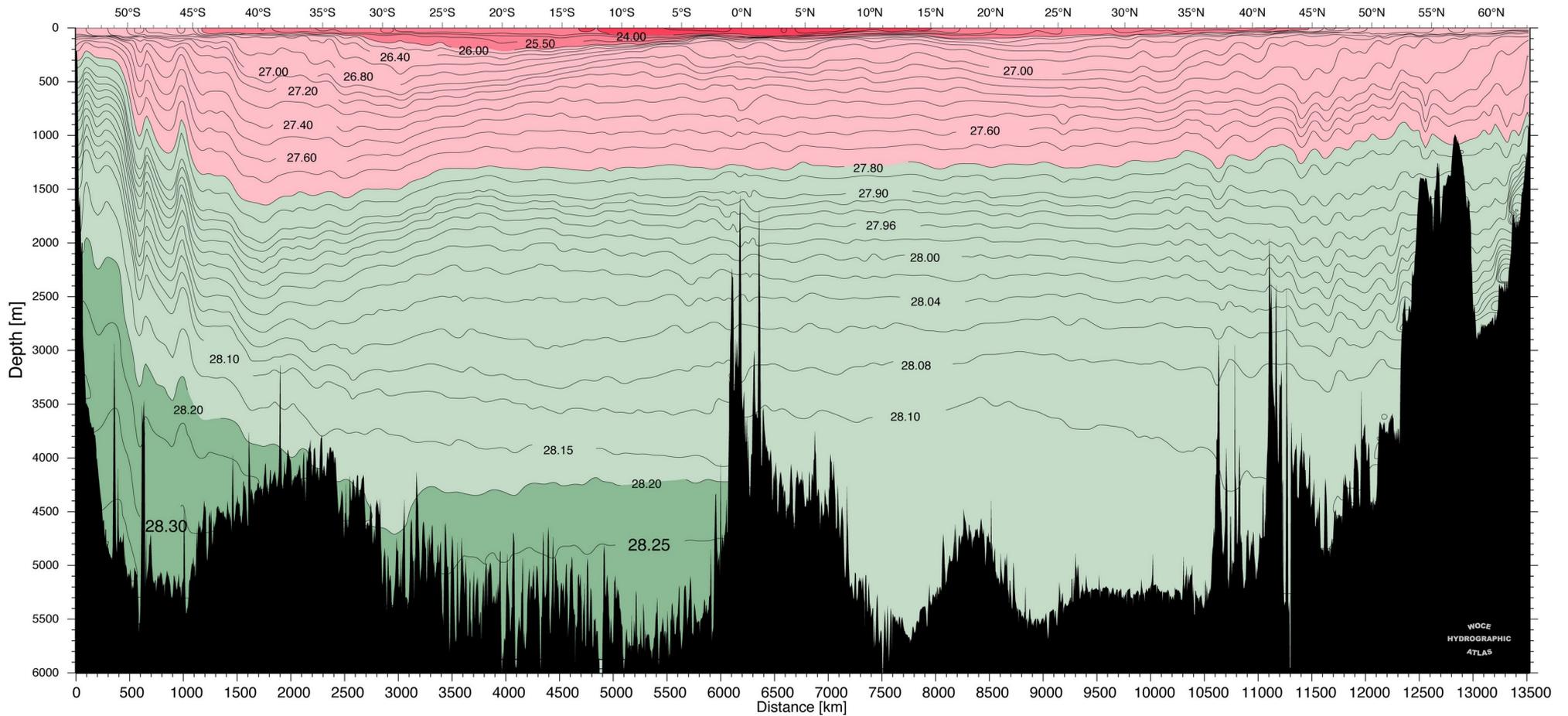
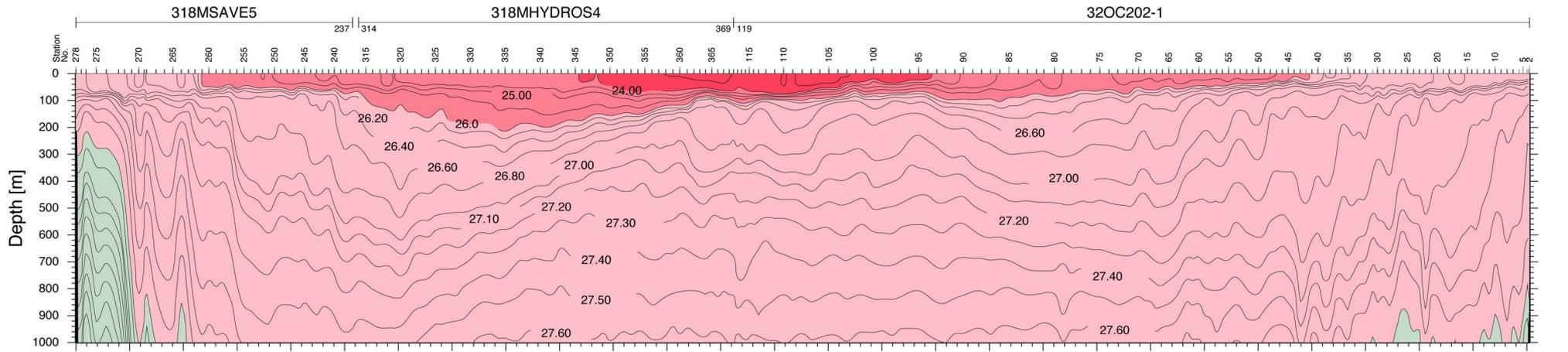
318MSAVE5

318MHYDROS4

320C202-1

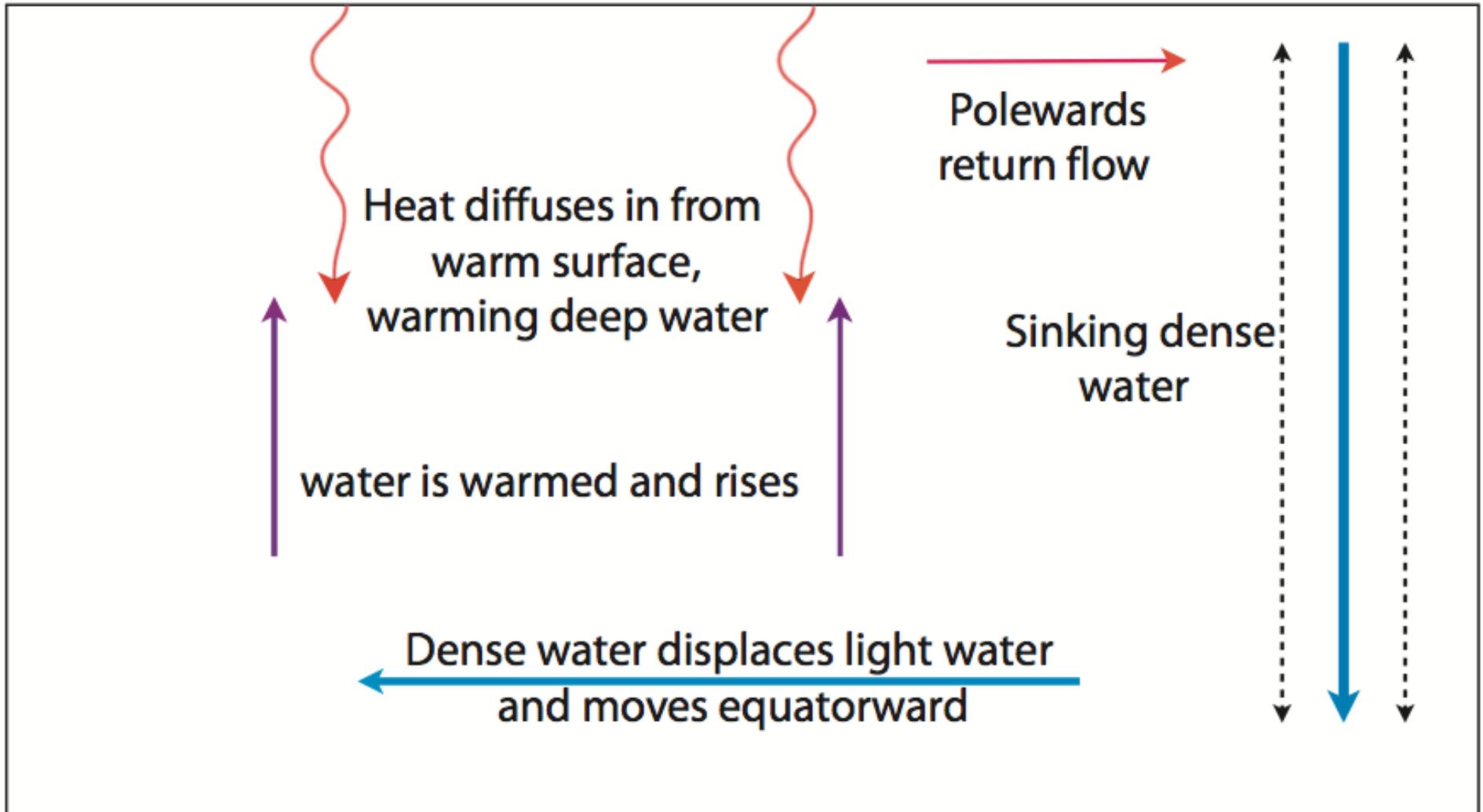


γ^t [kg/m³] for A16 25° W



Warm surface

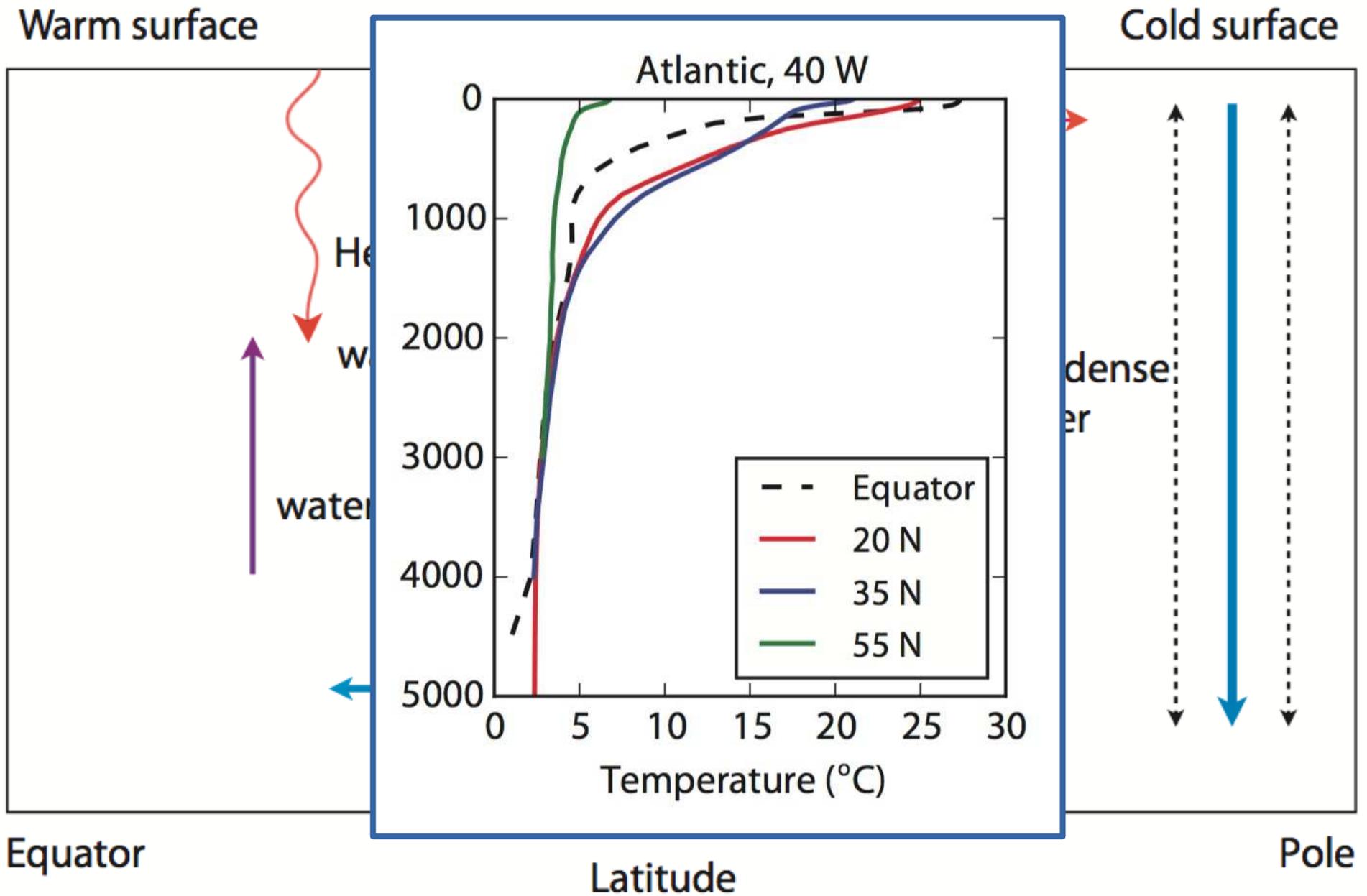
Cold surface



Equator

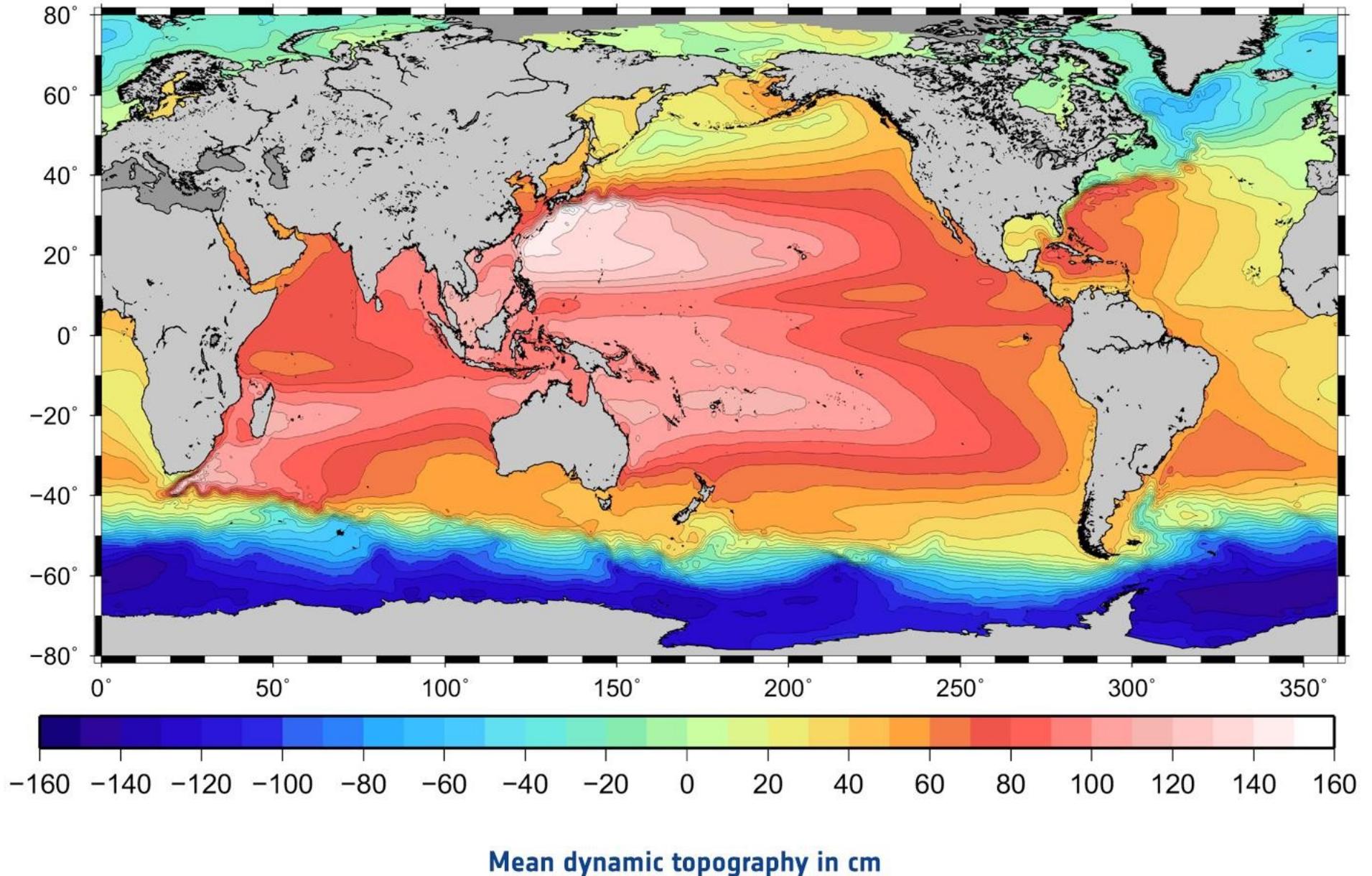
Latitude

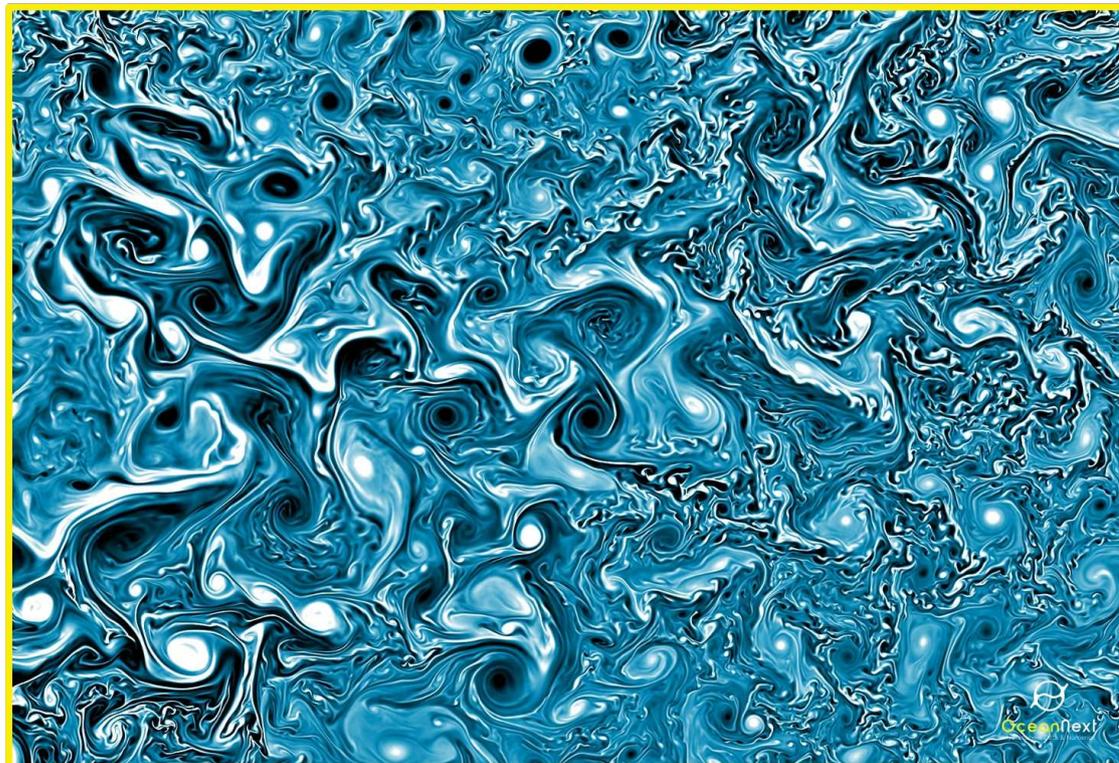
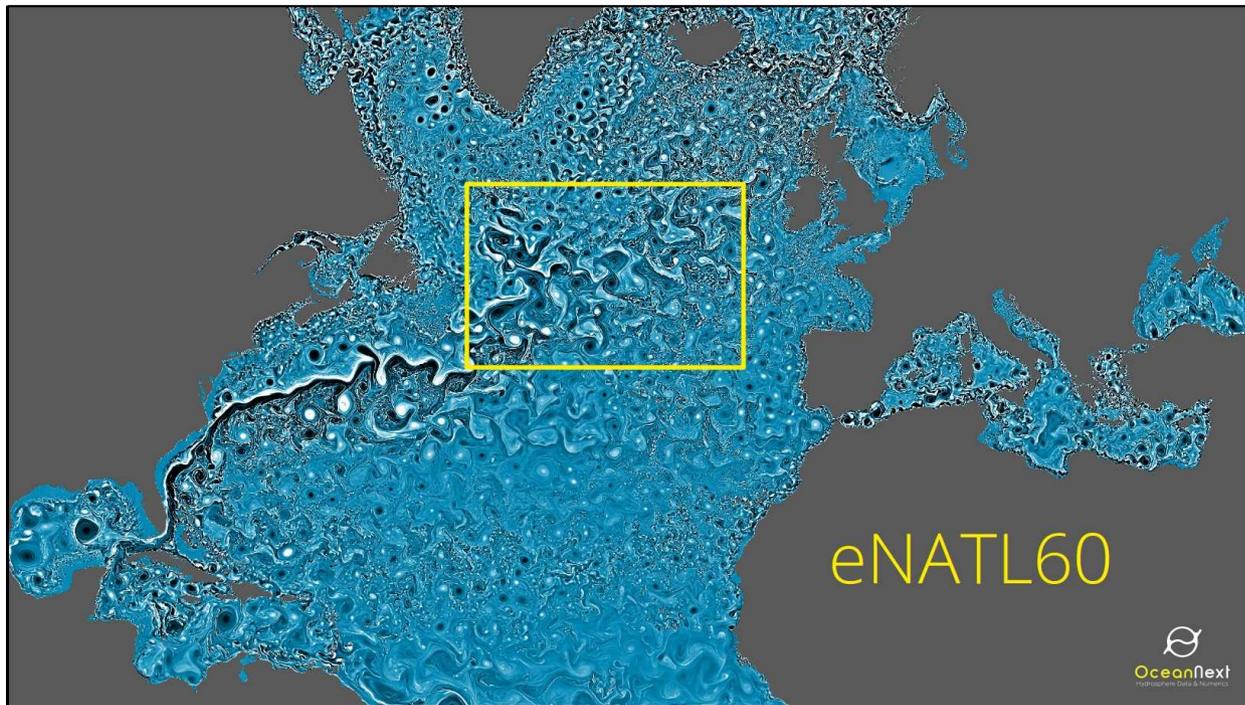
Pole



Problème #1: l'océan devrait être rempli d'eau froide...?

Observations satellites du niveau de la mer

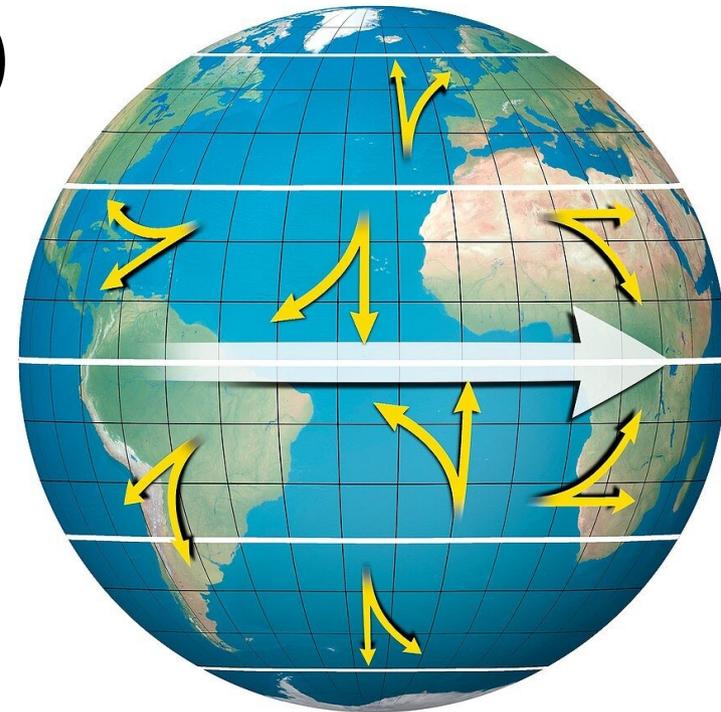
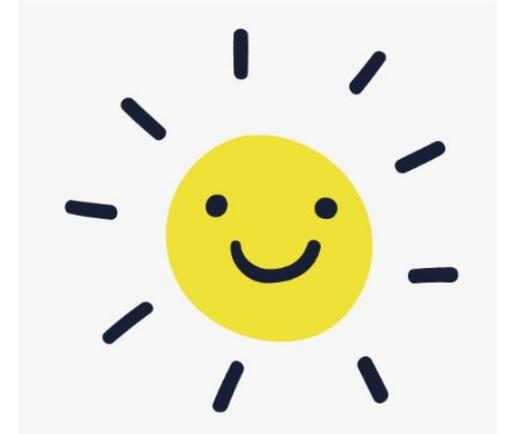




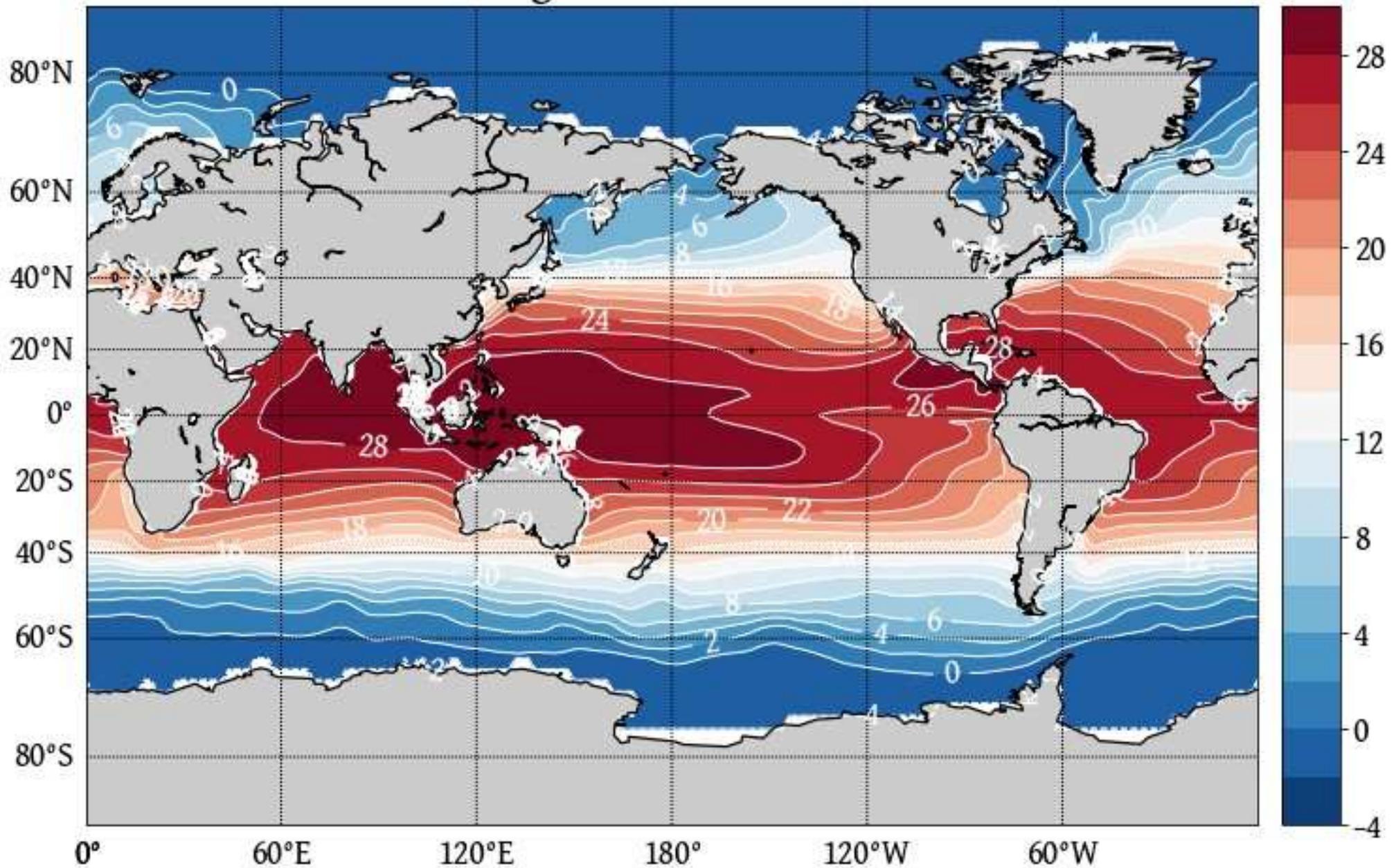
**Pourquoi est-ce que la circulation
océanique existe ?**

Pourquoi est-ce que la circulation océanique existe ?

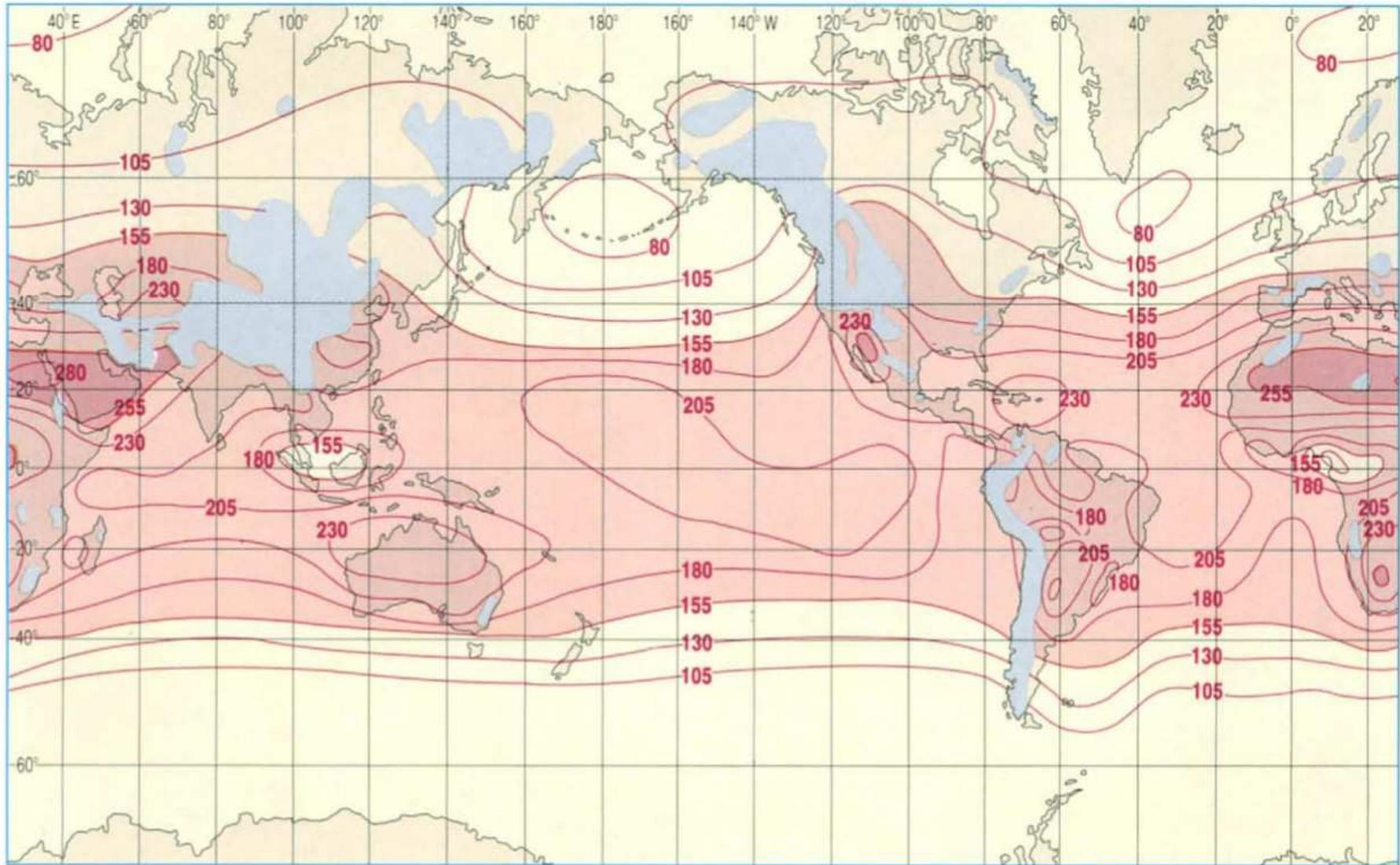
- Il y a une source d'énergie
 - Échanges de chaleur directes entre l'atmosphère et l'océan (**forçage thermodynamique**)
 - Existence du vent (**forçage mécanique**)
- + l'effet Coriolis



Climatological mean SST: 1981-2010



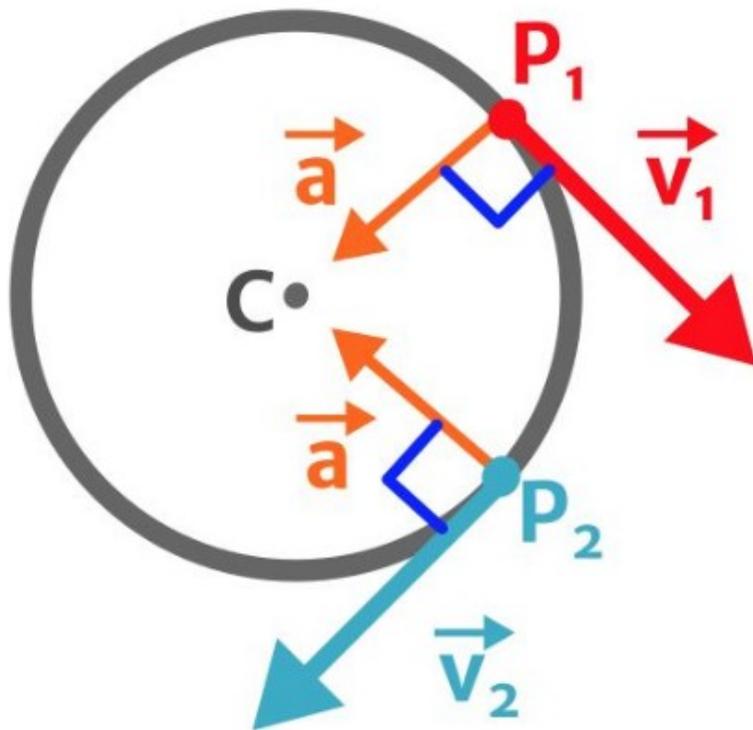
Les échanges de chaleur: rayonnement solaire reçu à la surface



En W/m^2 : moyenne annuelle

L'effet Coriolis

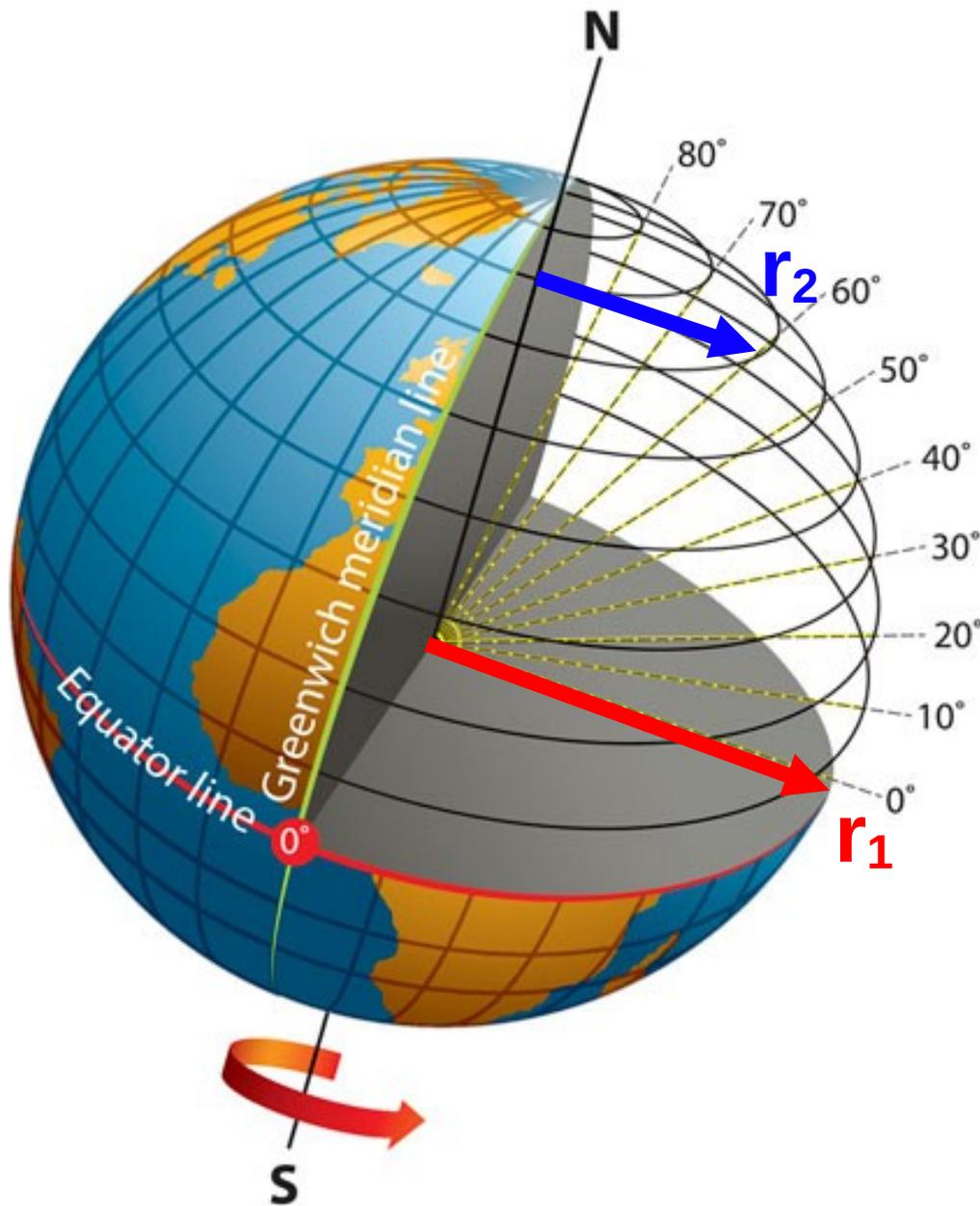
- Un objet qui essaie de se déplacer en ligne droite ressentira une déviation vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud



$$v = \frac{2\pi r}{T} = r\omega$$

La vitesse d'un objet qui suit un mouvement circulaire uniforme dépend de la vitesse angulaire, et du **rayon**

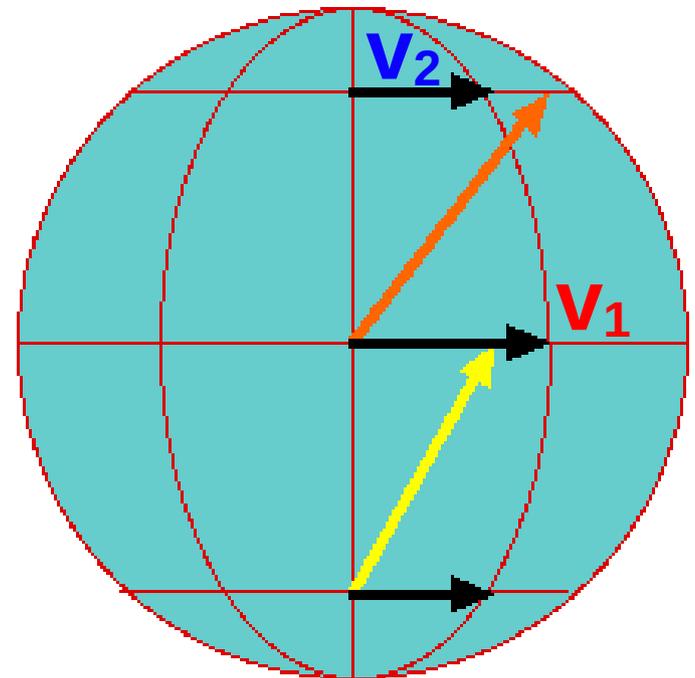
L'effet Coriolis



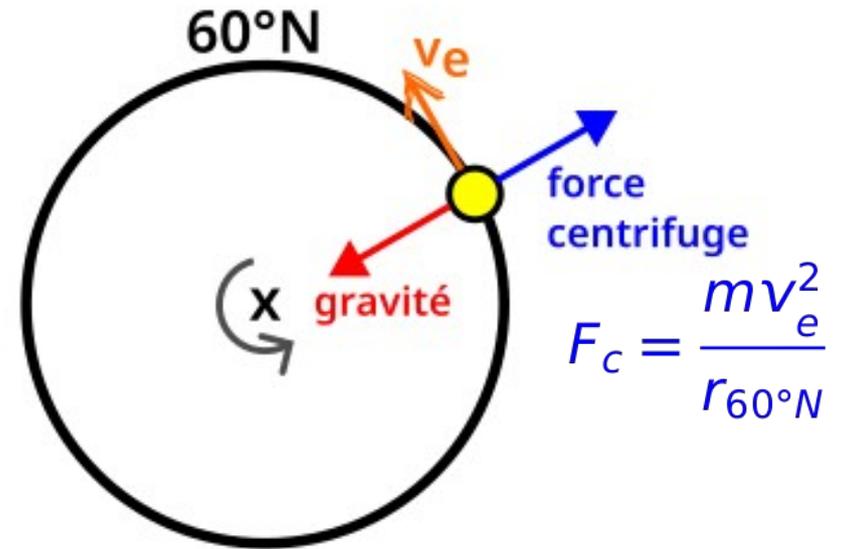
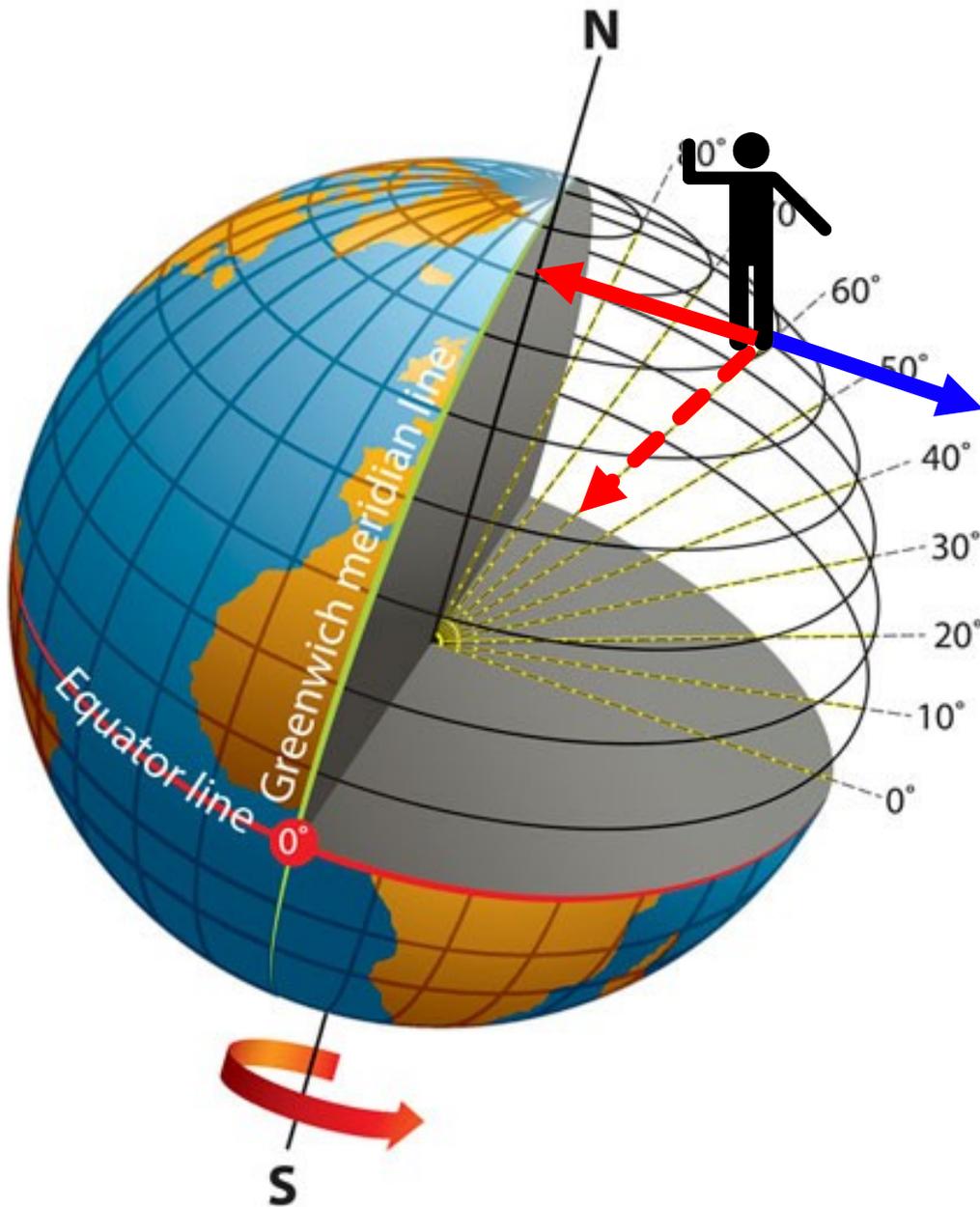
$$v = \frac{2\pi r}{T} = r\omega$$

$$r_1 > r_2$$

$$\therefore v_1 > v_2$$

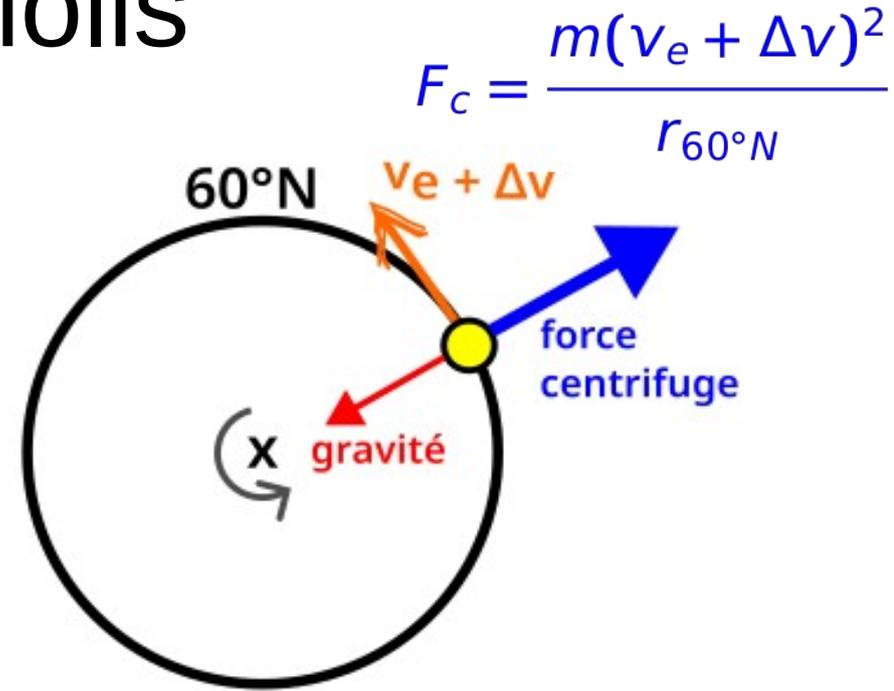
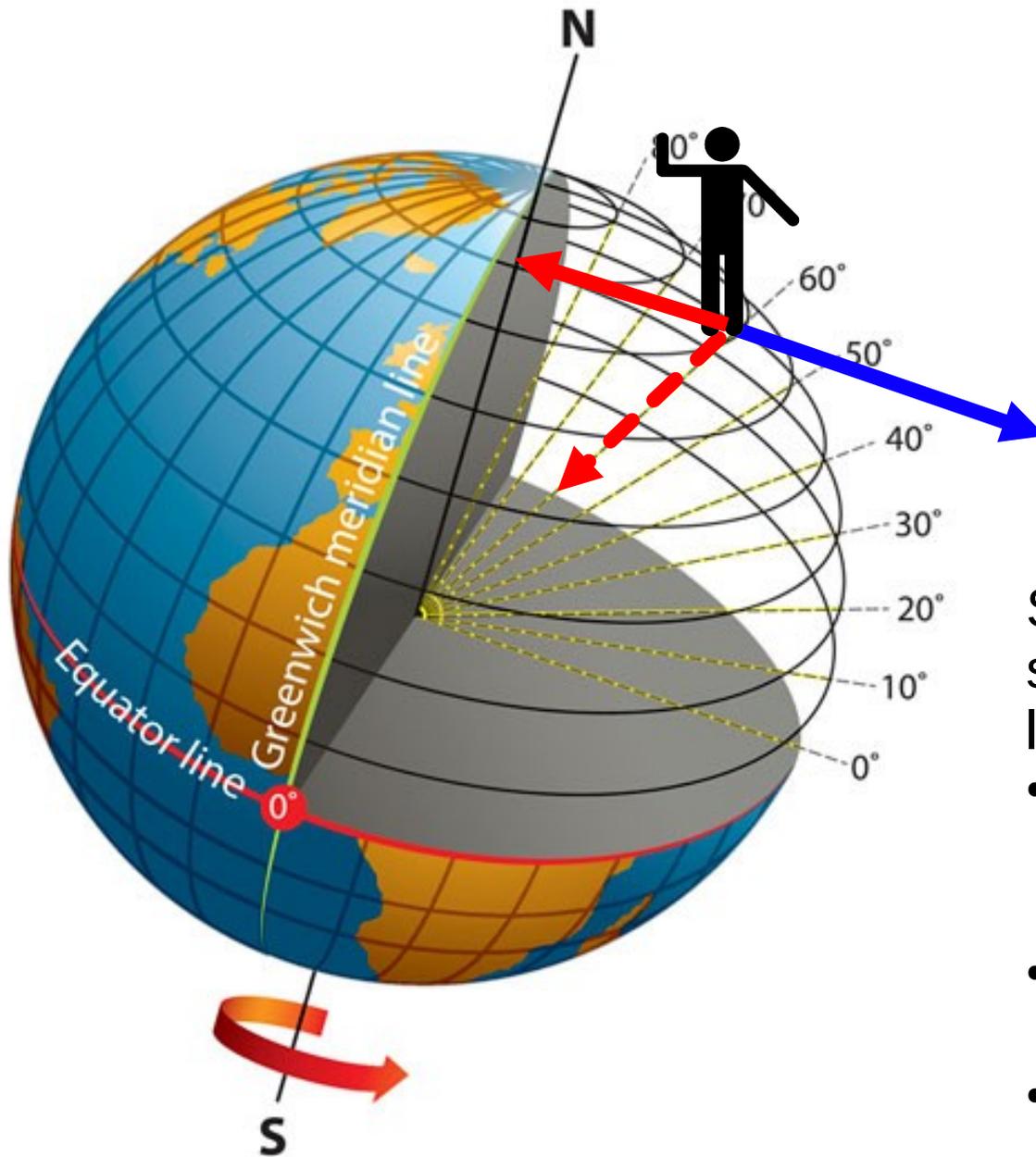


L'effet Coriolis



Si on est stationnaire par rapport à la Terre : on a la même vitesse que la Terre (v_e) et la force centrifuge et la force due à la gravité sont en équilibre

L'effet Coriolis



Si on se déplace dans le même sens que le sens de rotation de la Terre :

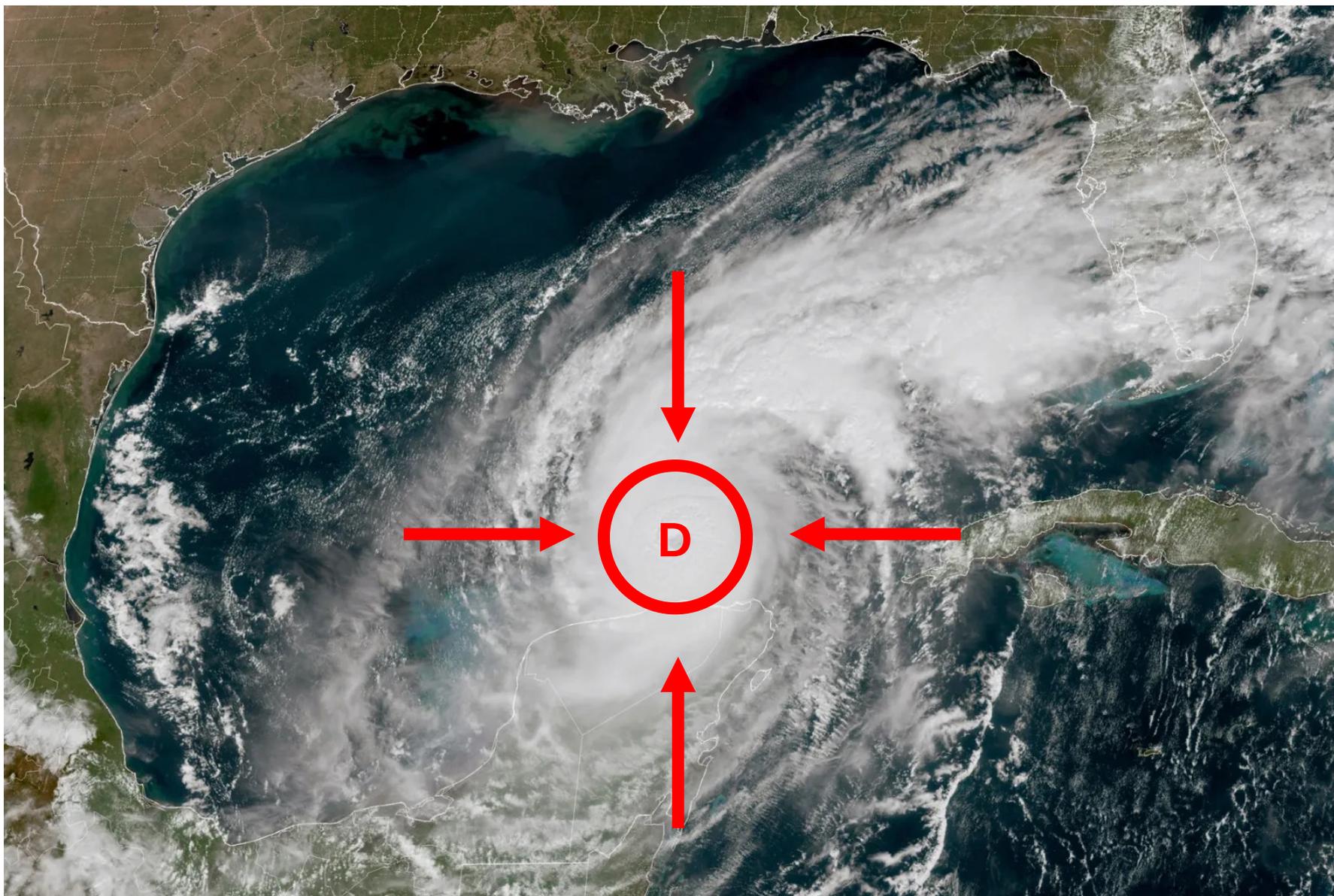
- la force centrifuge devient plus grande que la force horizontale due à la gravité à cette latitude
- on ressent une force résultante vers l'extérieure
- on se déplace vers le sud (rayon plus grand)

L'effet Coriolis



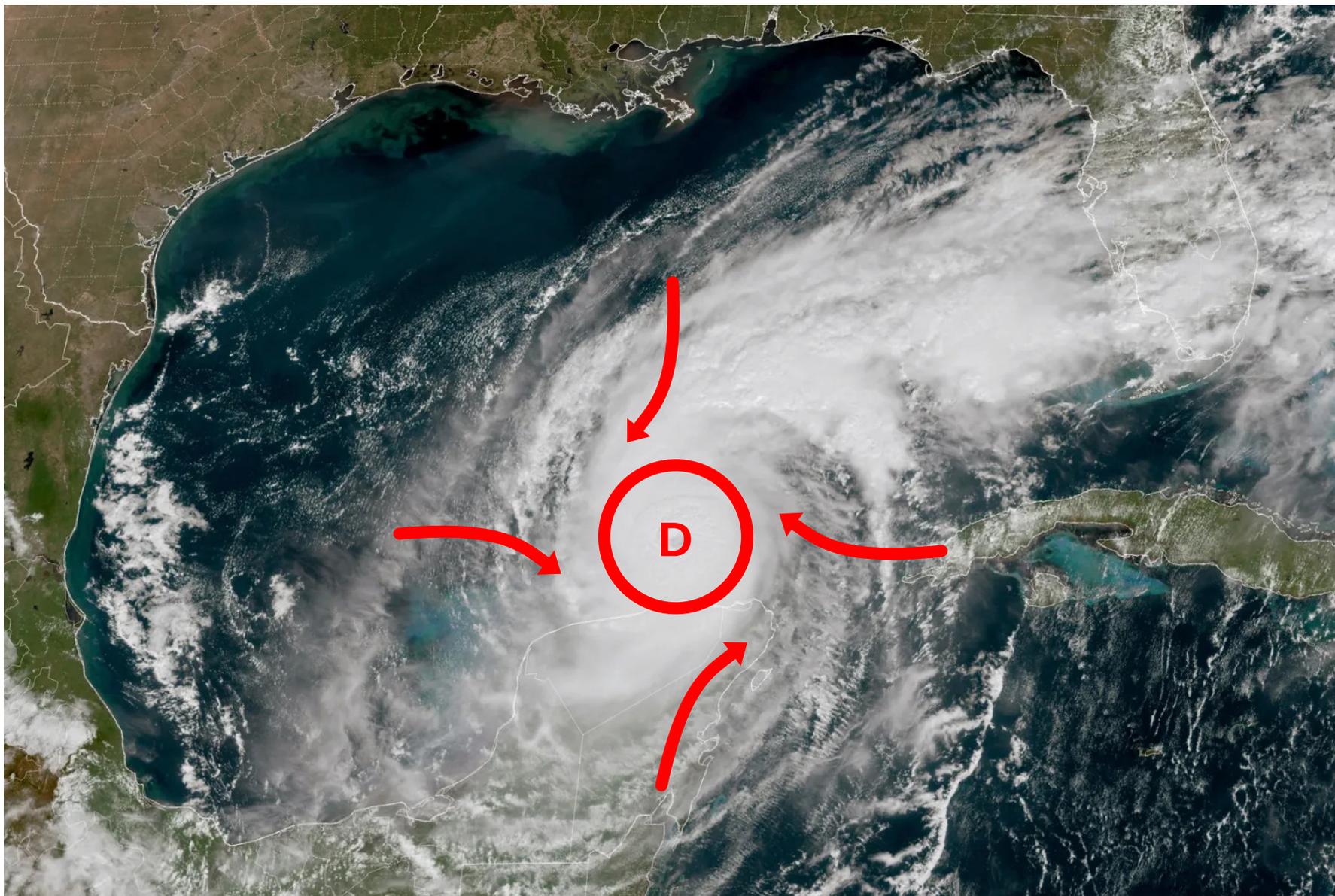
L'ouragon Milton(12/2024)

L'effet Coriolis



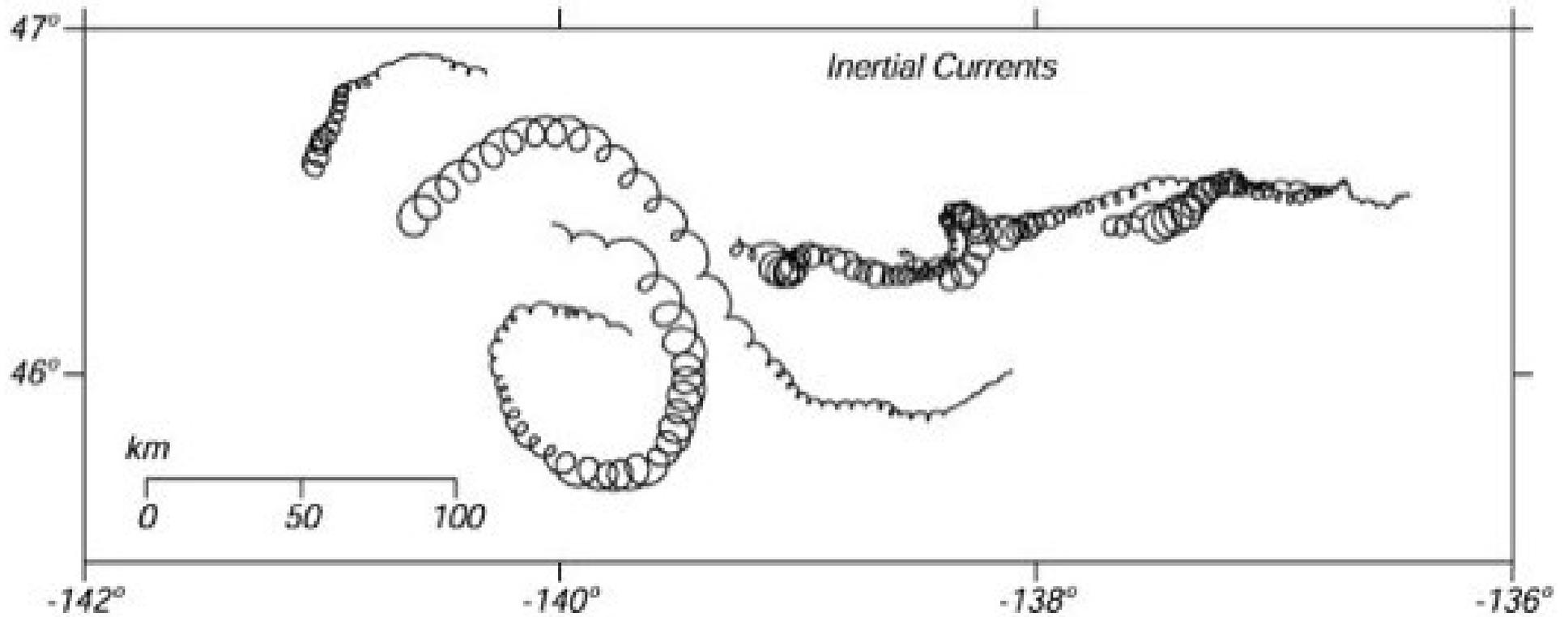
L'ouragon Milton(12/2024)

L'effet Coriolis

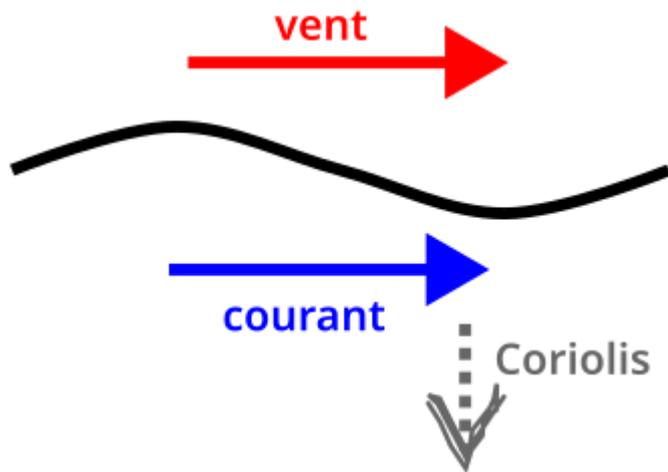


L'ouragon Milton(12/2024)

L'effet Coriolis dans l'océan

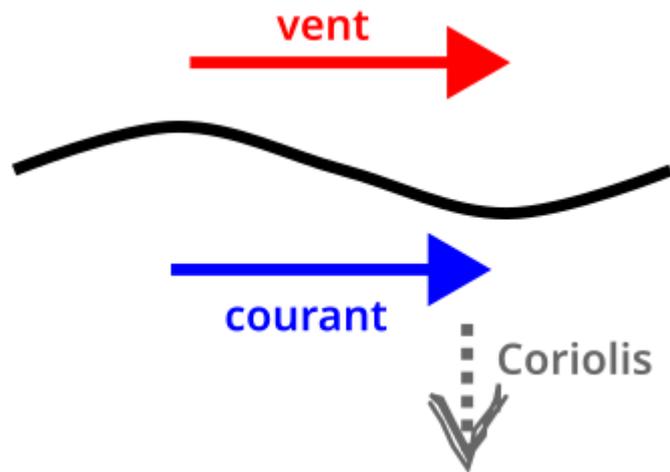


L'effet Coriolis dans l'océan : transport d'Ekman



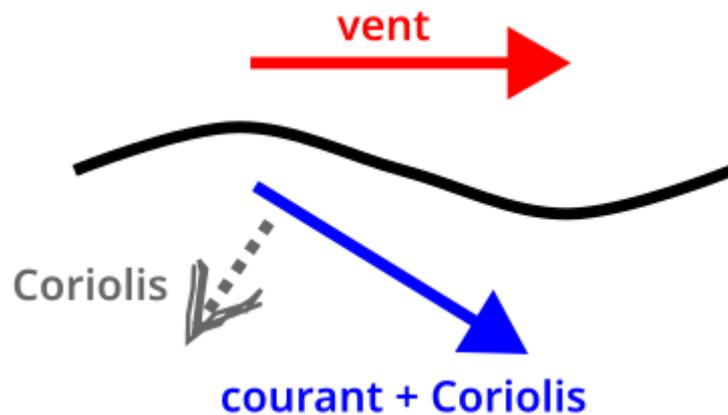
1. Le vent souffle. L'océan est mis en mouvement
2. La force de Coriolis agit. Le courant est retourné vers la droite
3. Les forces de frottement s'opposent au mouvement. On arrive dans un état d'équilibre

L'effet Coriolis dans l'océan : transport d'Ekman



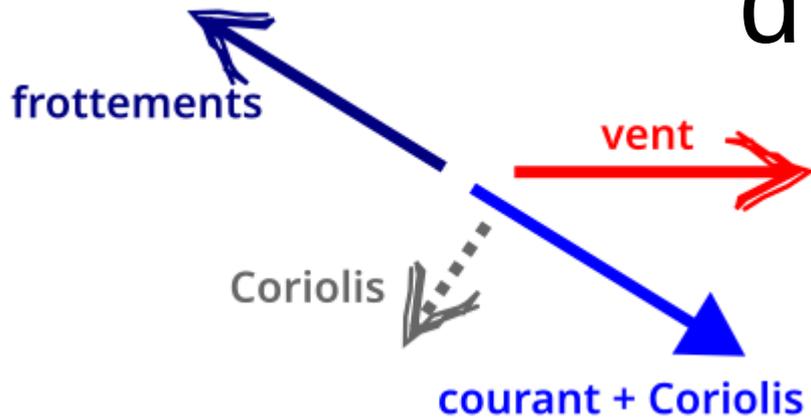
1. Le vent souffle. L'océan est mis en mouvement

2. La force de Coriolis agit. Le courant est retourné vers la droite



3. Les forces de frottement s'opposent au mouvement. On arrive dans un état d'équilibre

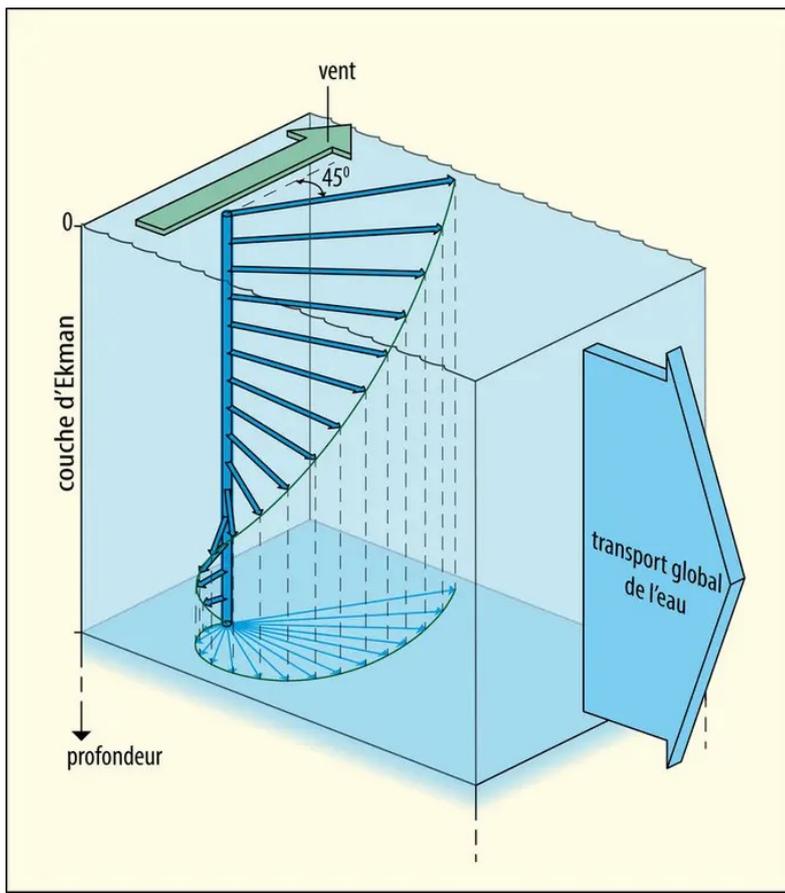
L'effet Coriolis dans l'océan : transport d'Ekman



1. Le vent souffle. L'océan est mis en mouvement

2. La force de Coriolis agit. Le courant est retourné vers la droite

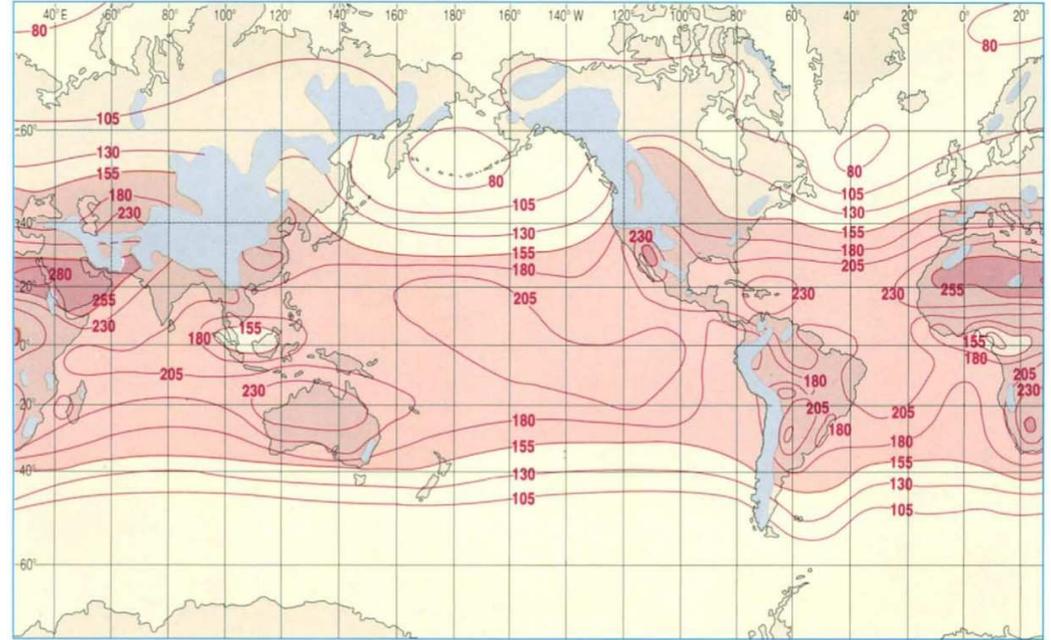
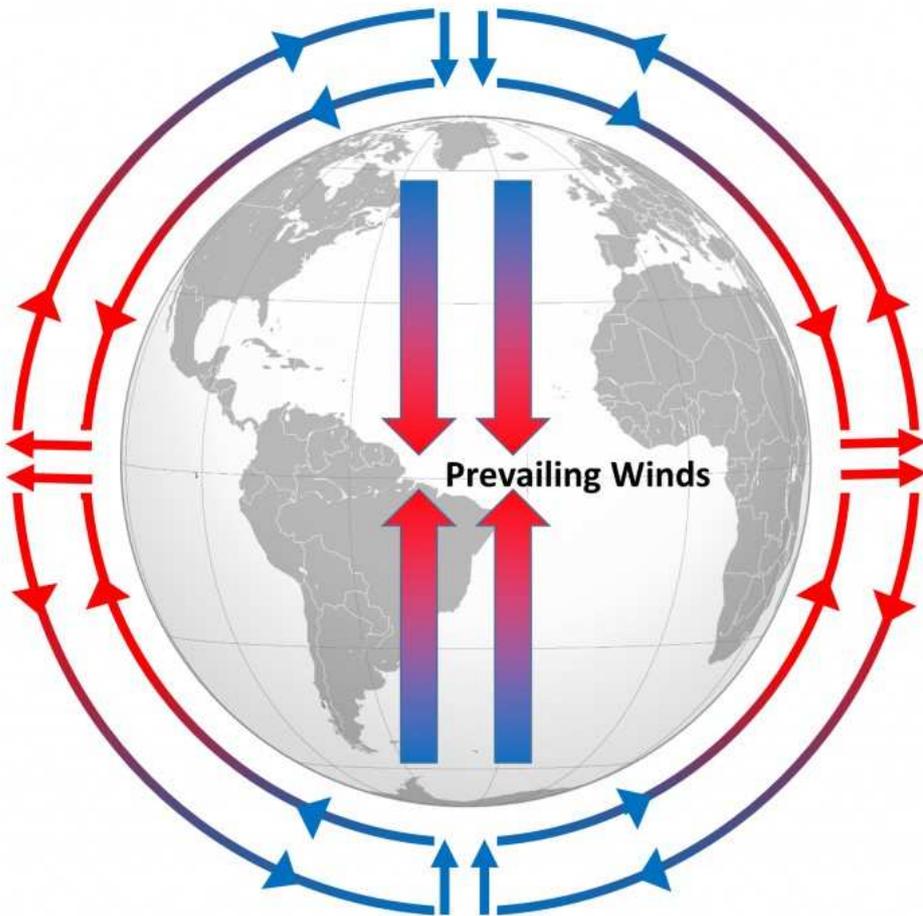
3. Les forces de frottement s'opposent au mouvement. On arrive dans un état d'équilibre



Le transport d'eau dû au vent est dirigé à 90 degrés à droite de la direction du vent (dans l'hémisphère Nord).

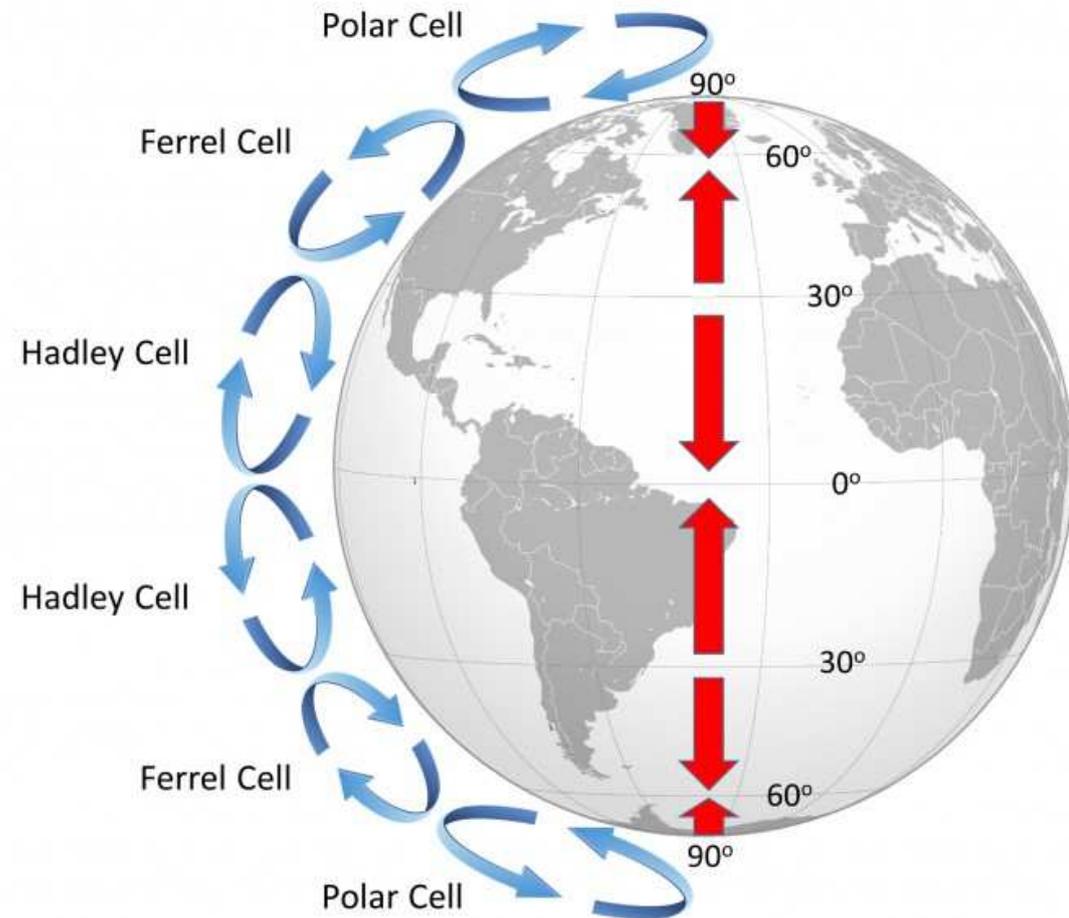
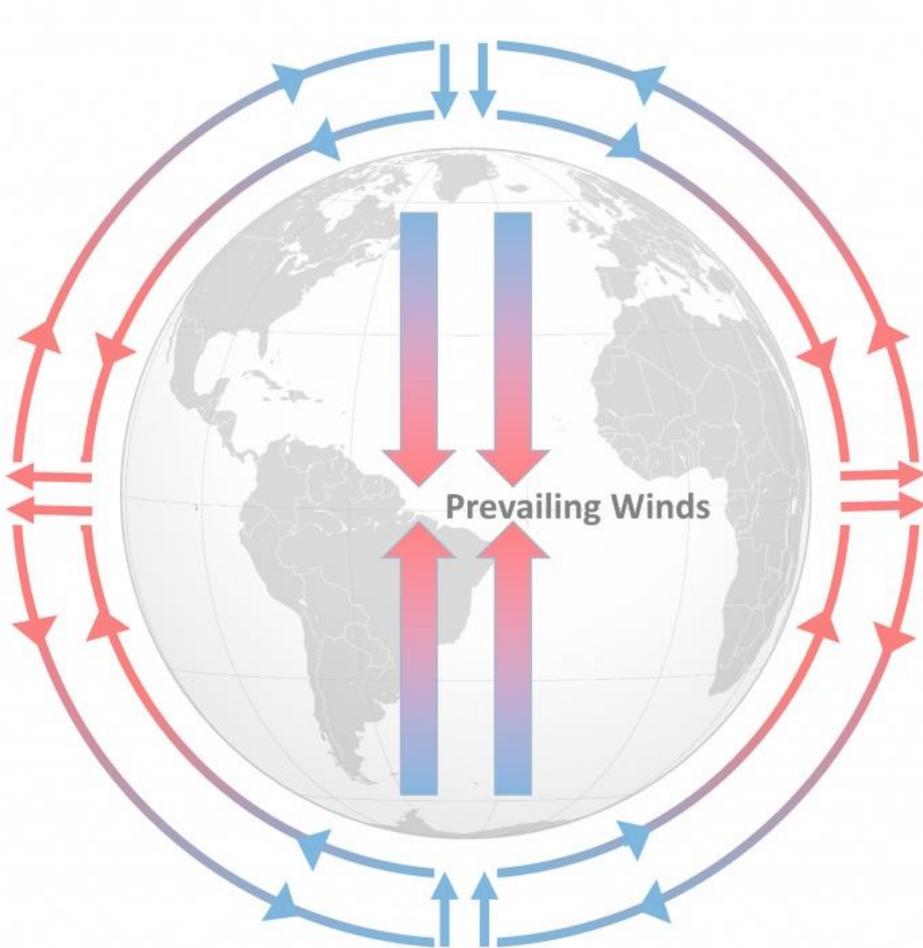
Circulation atmosphérique :

- « Terre » sans continents, et sans rotation:



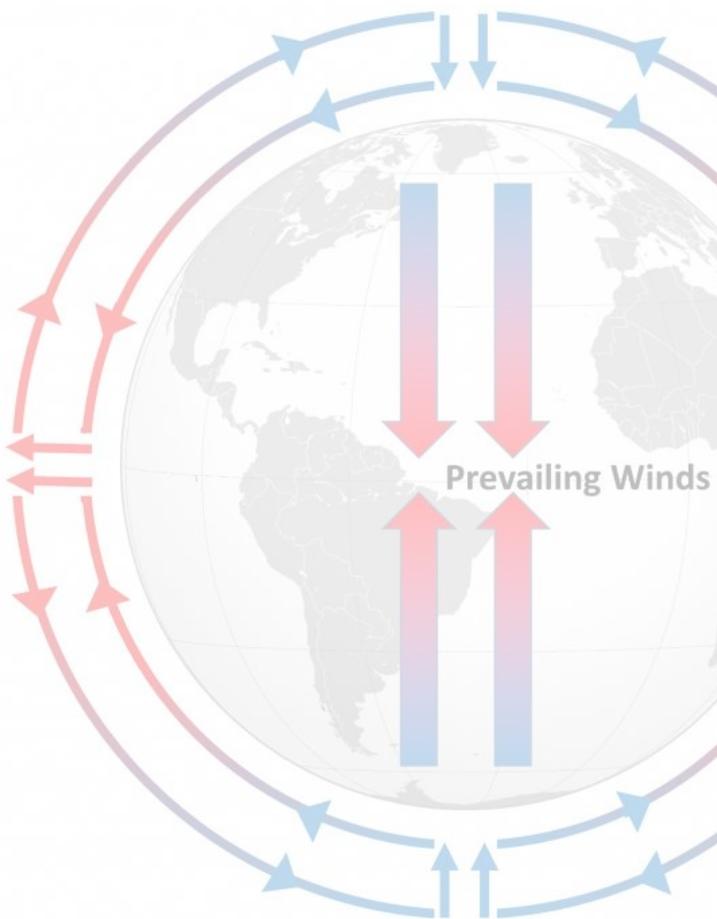
Circulation atmosphérique :

- « Terre » sans continents, et sans rotation:

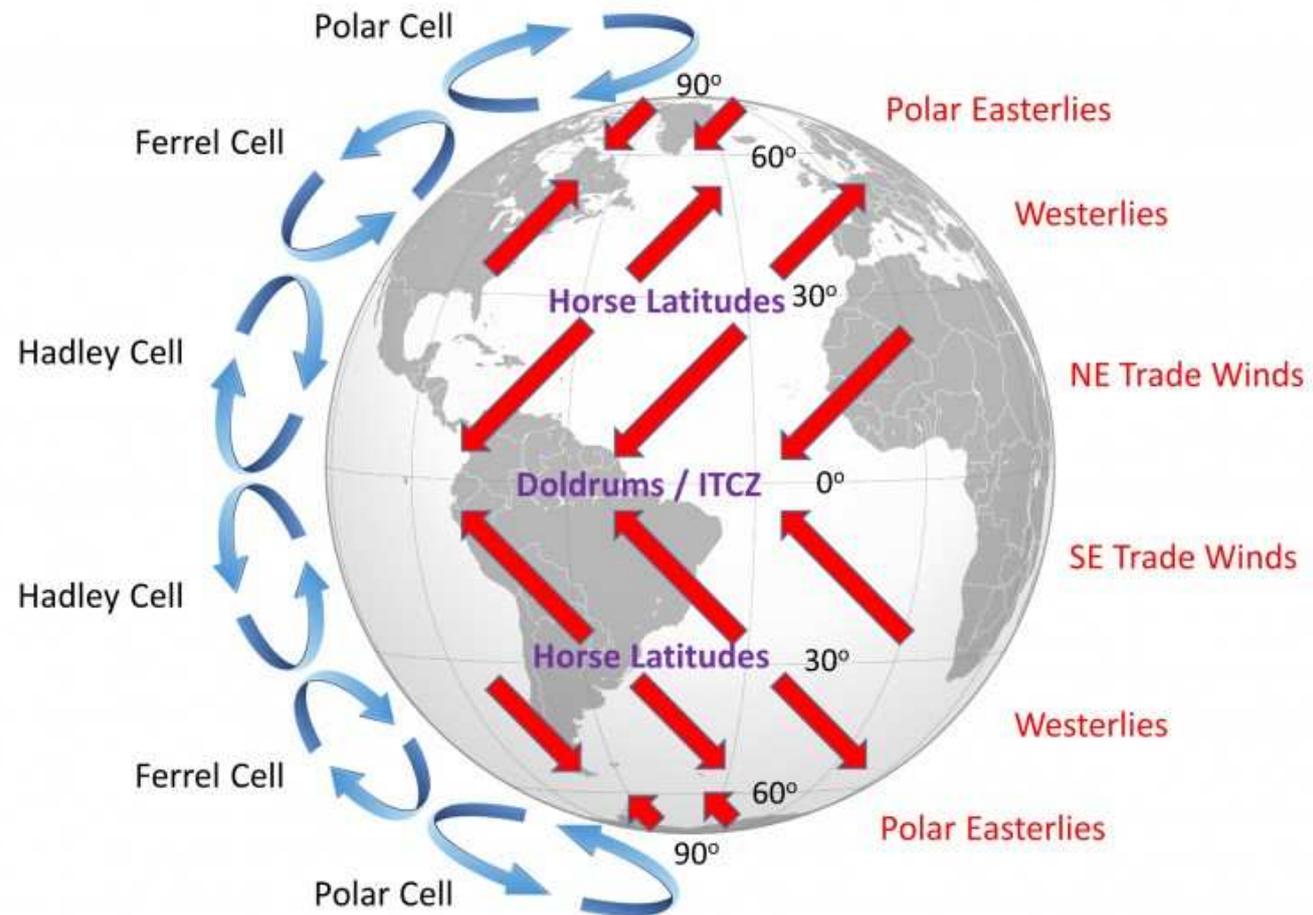


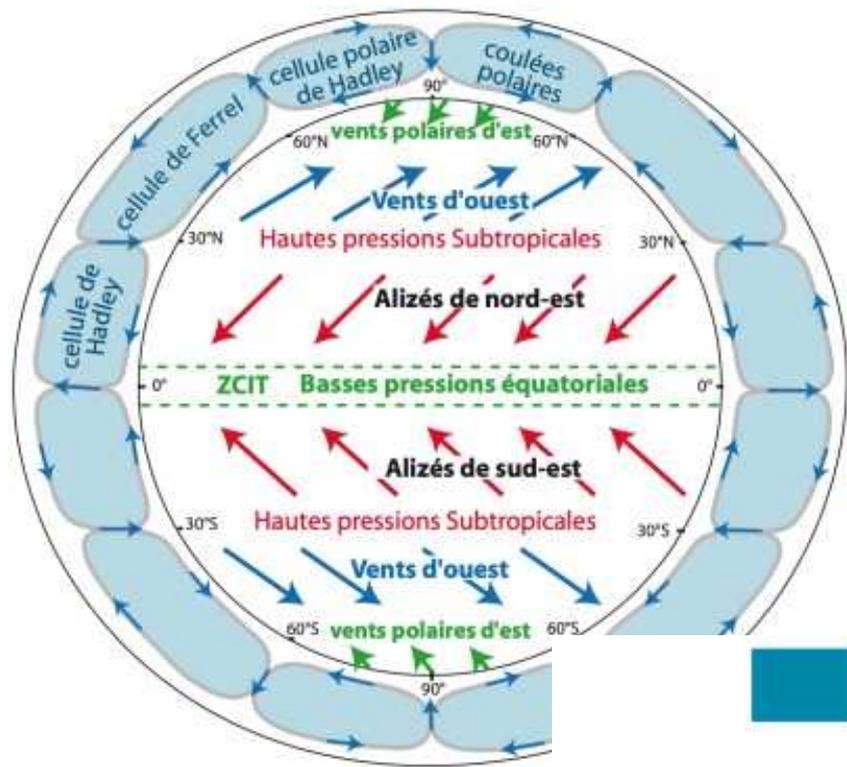
Circulation atmosphérique :

- « Terre » sans continents, et sans rotation:



- La Terre (vraie, avec rotation):



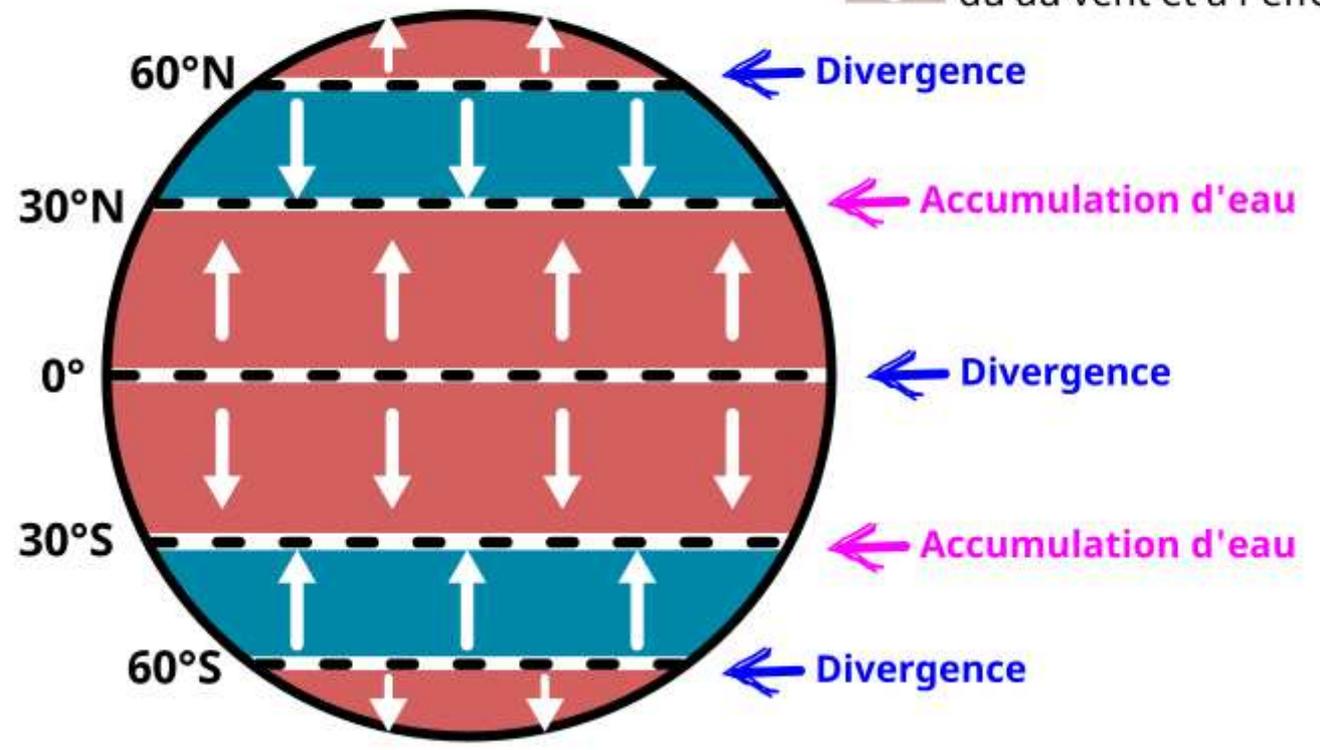


Jean Planétaire, Michèle Fieux, ENSTA, 2019

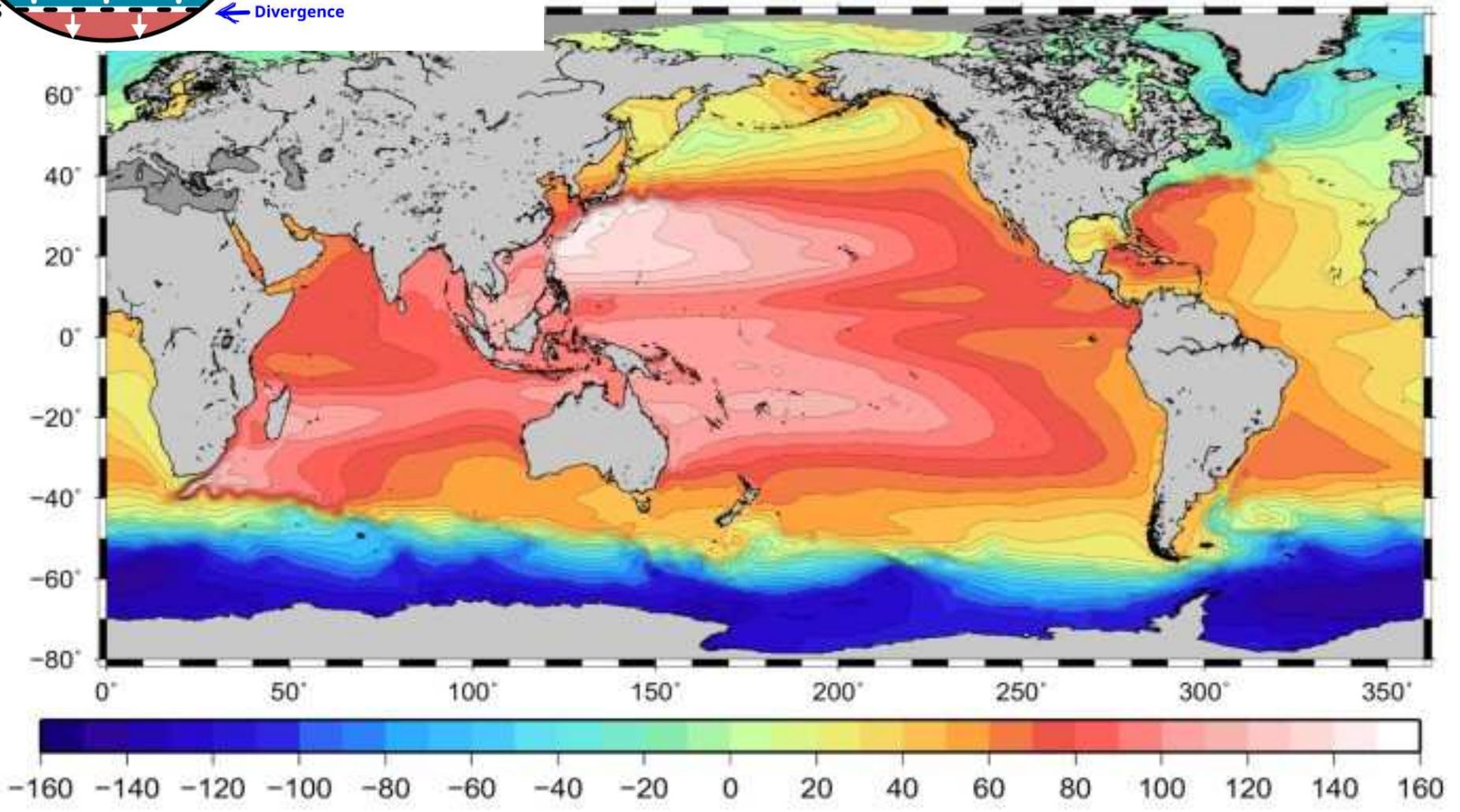
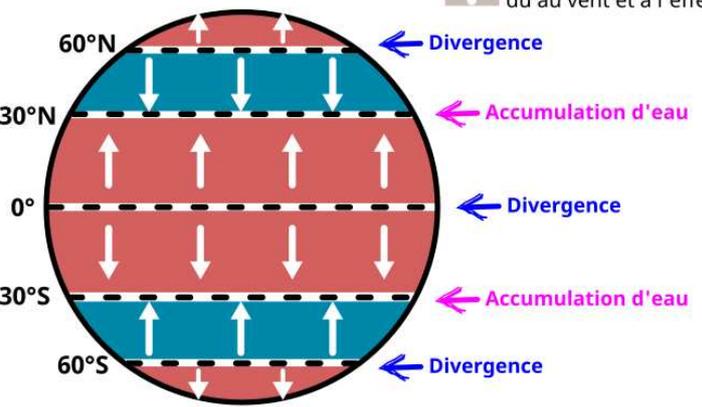
Les gyres océaniques sont créés par cette circulation atmosphérique...

Le vent souffle vers l'est
 Le vent souffle vers l'ouest
 ↑ Direction du transport d'eau dû au vent et à l'effet Coriolis

Le transport d'Ekman associé à la circulation atmosphérique crée des convergences et divergences d'eau



■ Le vent souffle vers l'est
 ■ Le vent souffle vers l'ouest
↑ Direction du transport d'eau dû au vent et à l'effet Coriolis

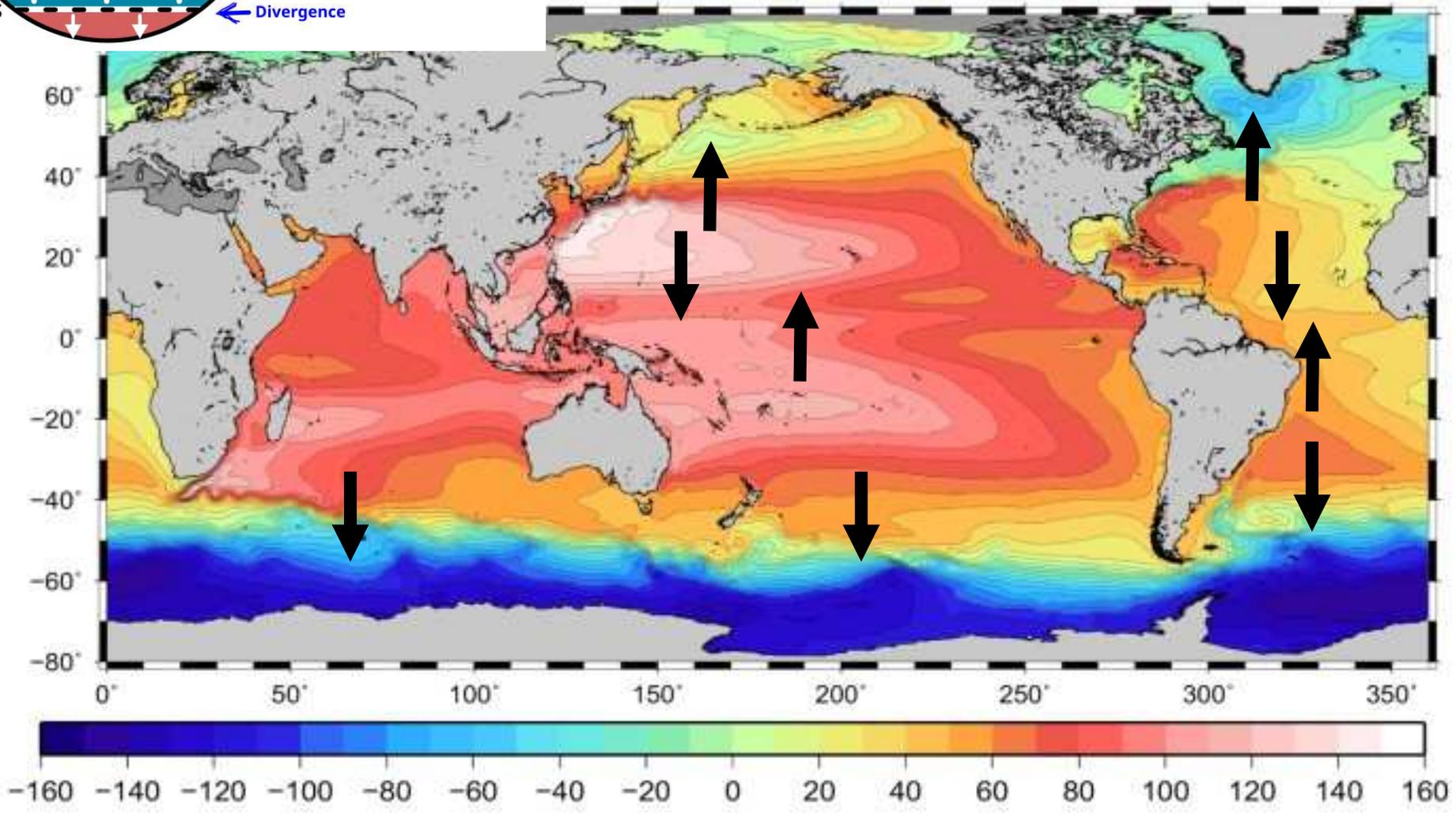
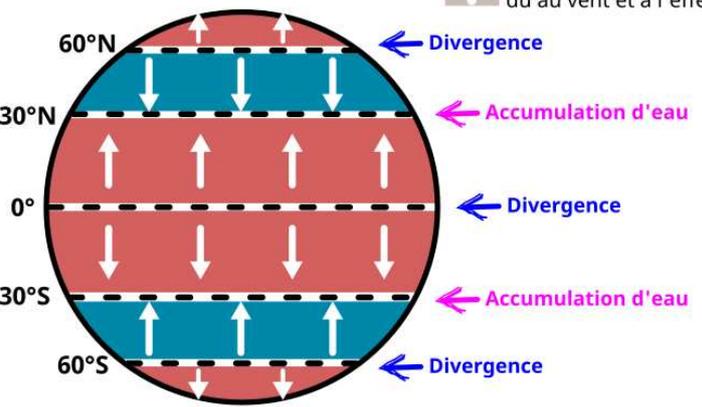


Mean dynamic topography in cm

Le vent souffle vers l'est

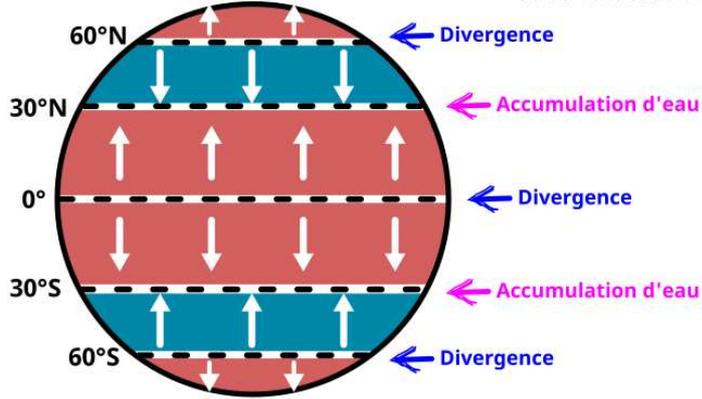
Le vent souffle vers l'ouest
Direction du transport d'eau
dû au vent et à l'effet Coriolis

Force de pression horizontale

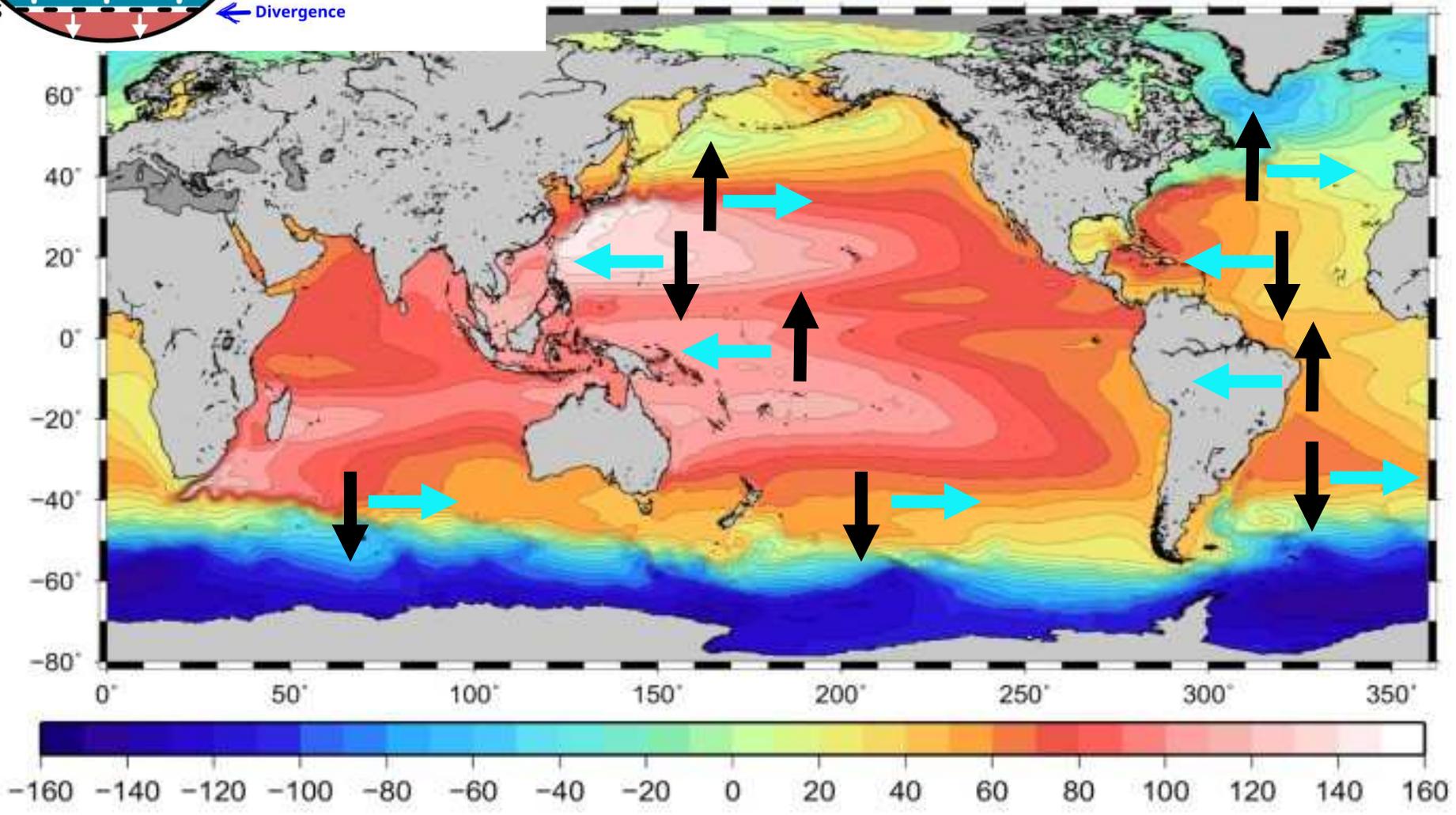


Mean dynamic topography in cm

■ Le vent souffle vers l'est
■ Le vent souffle vers l'ouest
↑ Direction du transport d'eau dû au vent et à l'effet Coriolis

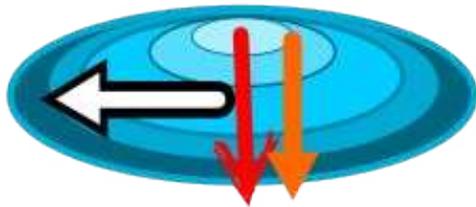


↑ Force de pression horizontale
↑ Force de Coriolis

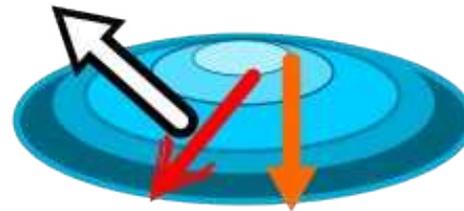


Mean dynamic topography in cm

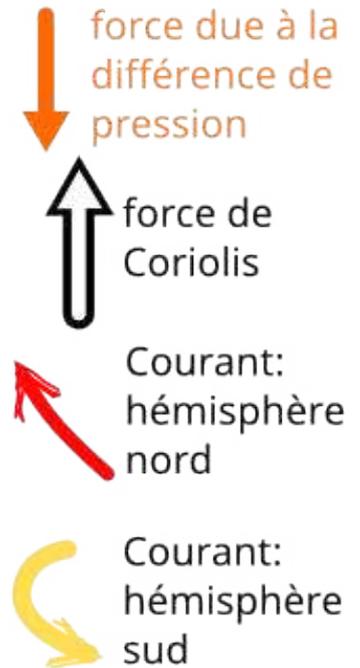
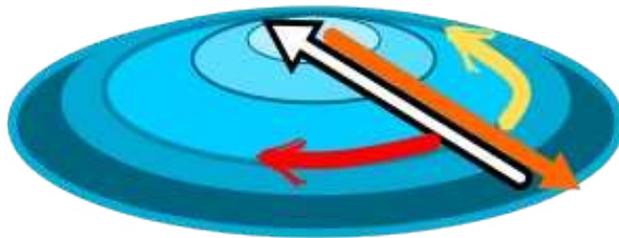
Le mouvement initial de l'eau est dans le sens de la différence de pression...

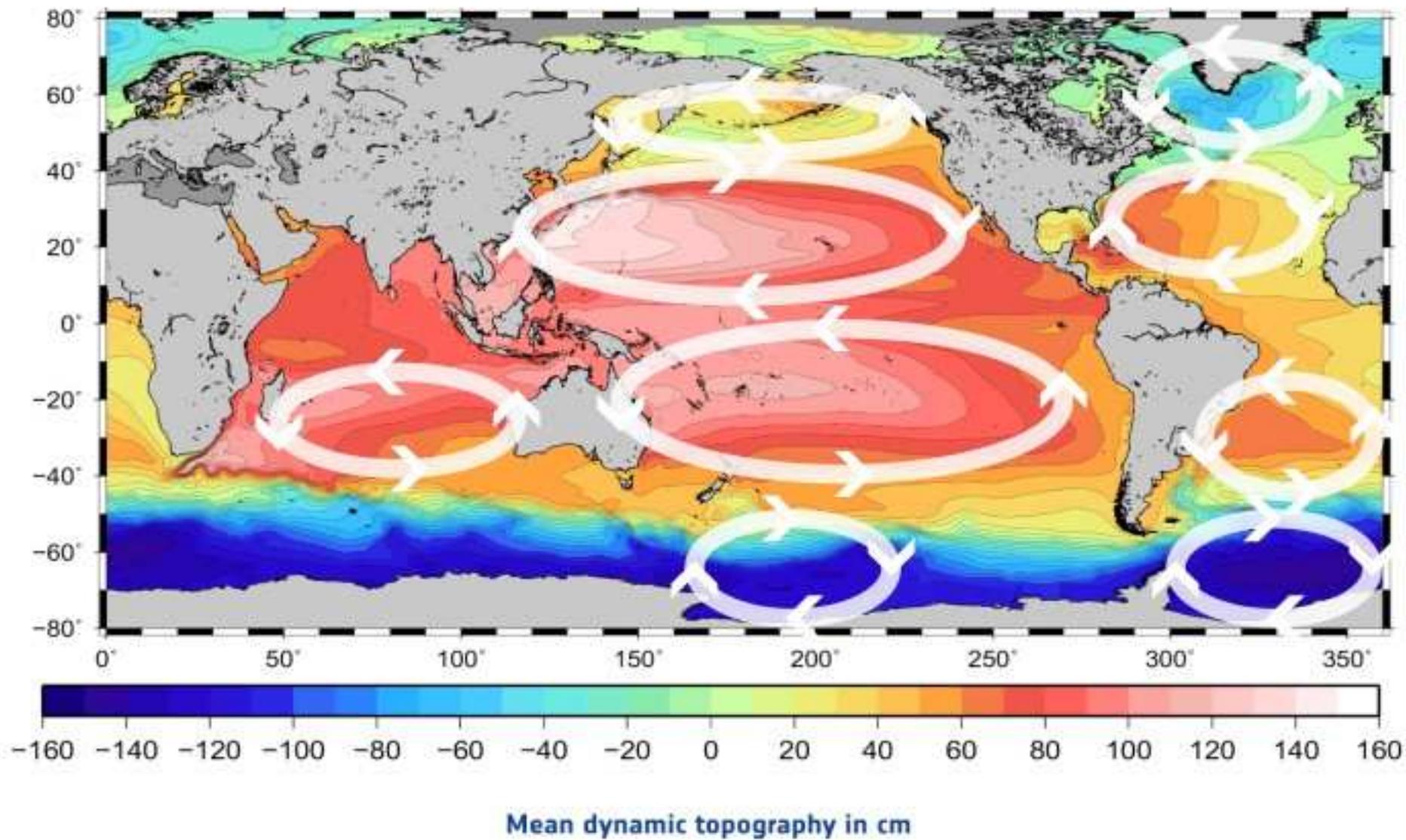


...mais la force de Coriolis fait dévier ce mouvement

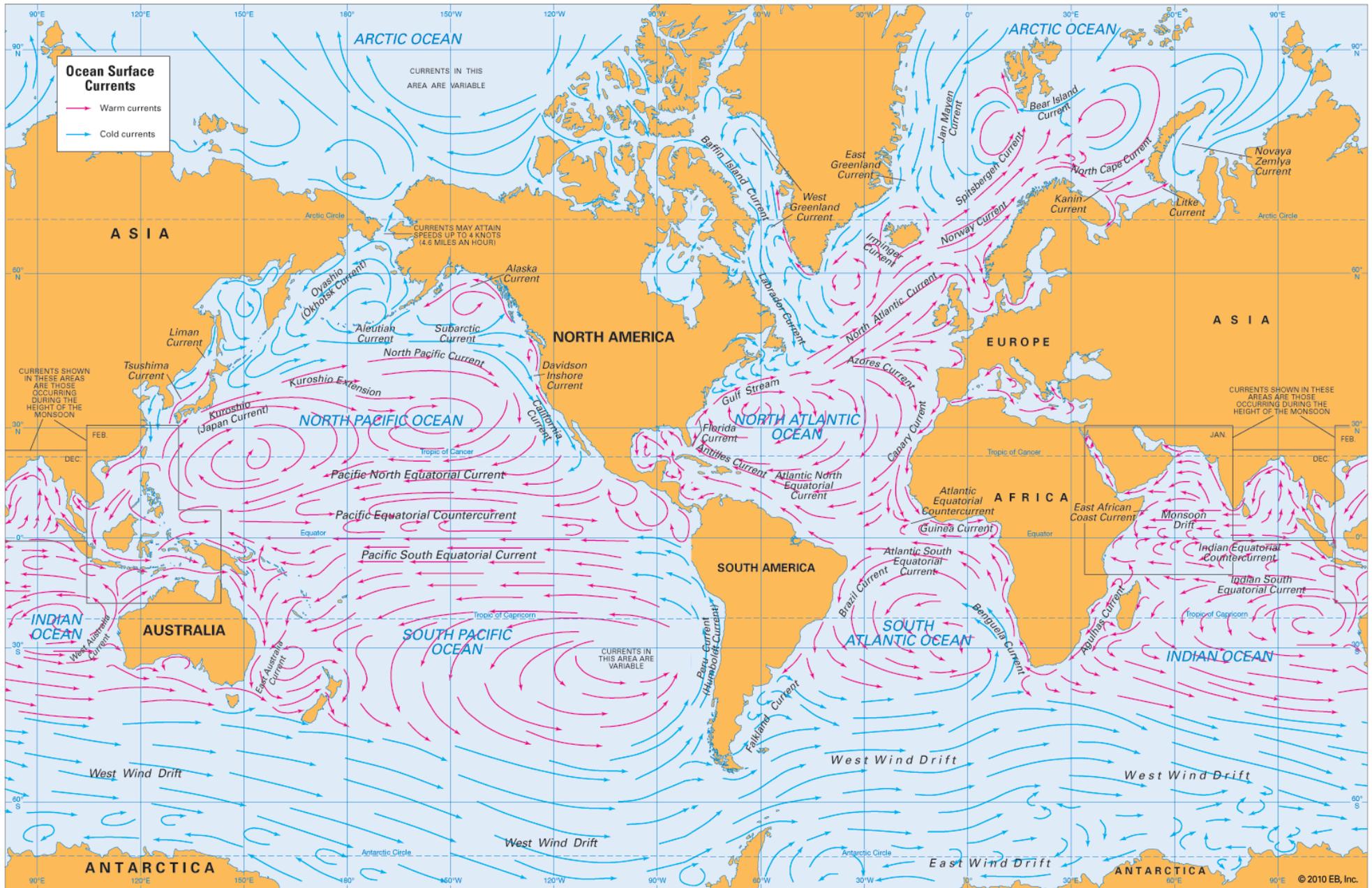


Le courant tourne, et la force de Coriolis aussi, jusqu'à ce que les forces dues à la différence de pression et l'effet Coriolis se compensent:





La circulation due au vent



- La circulation atmosphérique comporte aussi des anticyclones et dépressions « sémi-permanents » qui peuvent influencer sur la circulation océanique
- La circulation océanique due au vent est sensible aux changements de la circulation atmosphérique

Centres d'action (pression moyenne au niveau de la mer) :

