

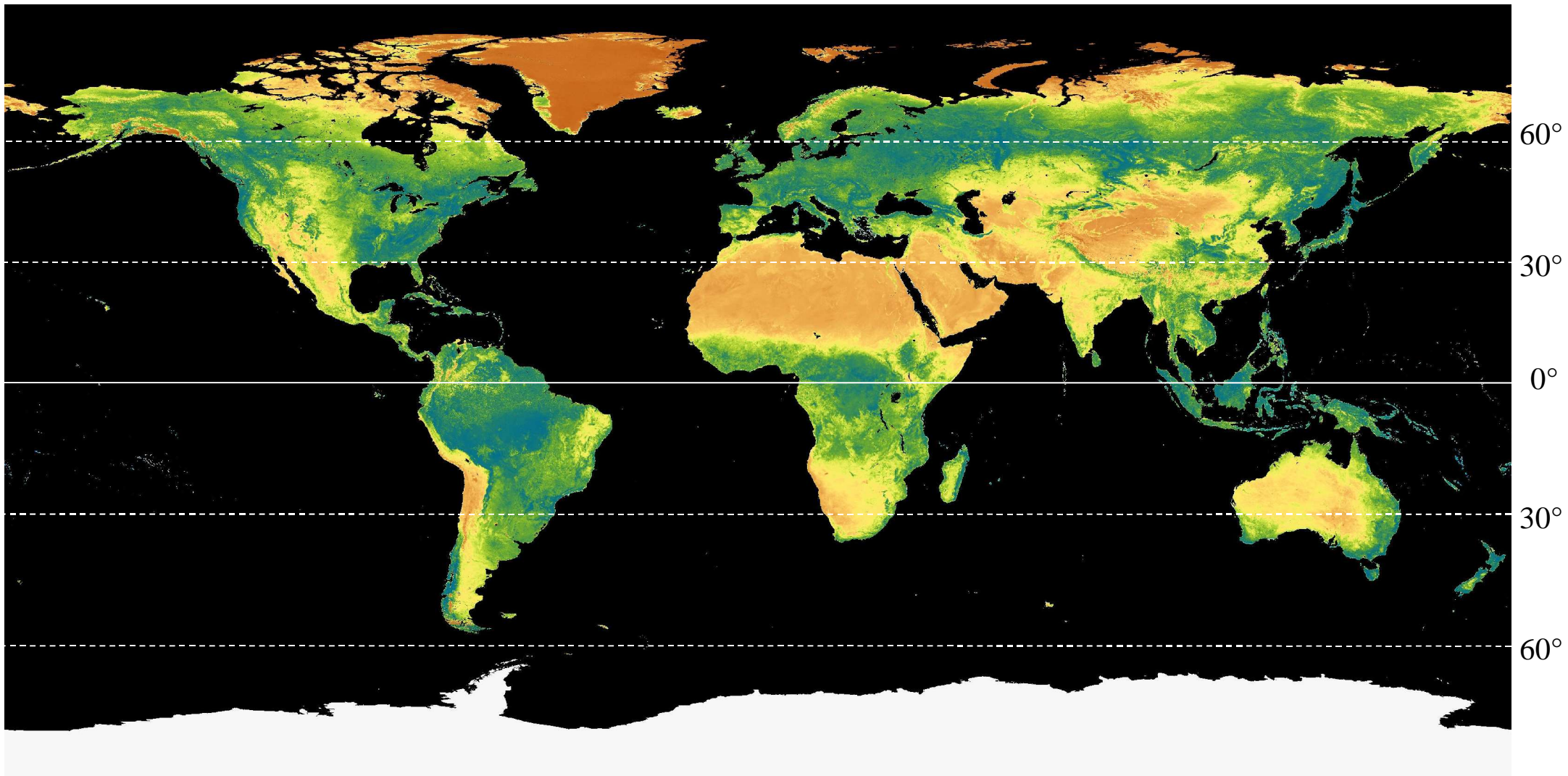
Introduction à la physique du climat.

Jean-Louis Dufresne

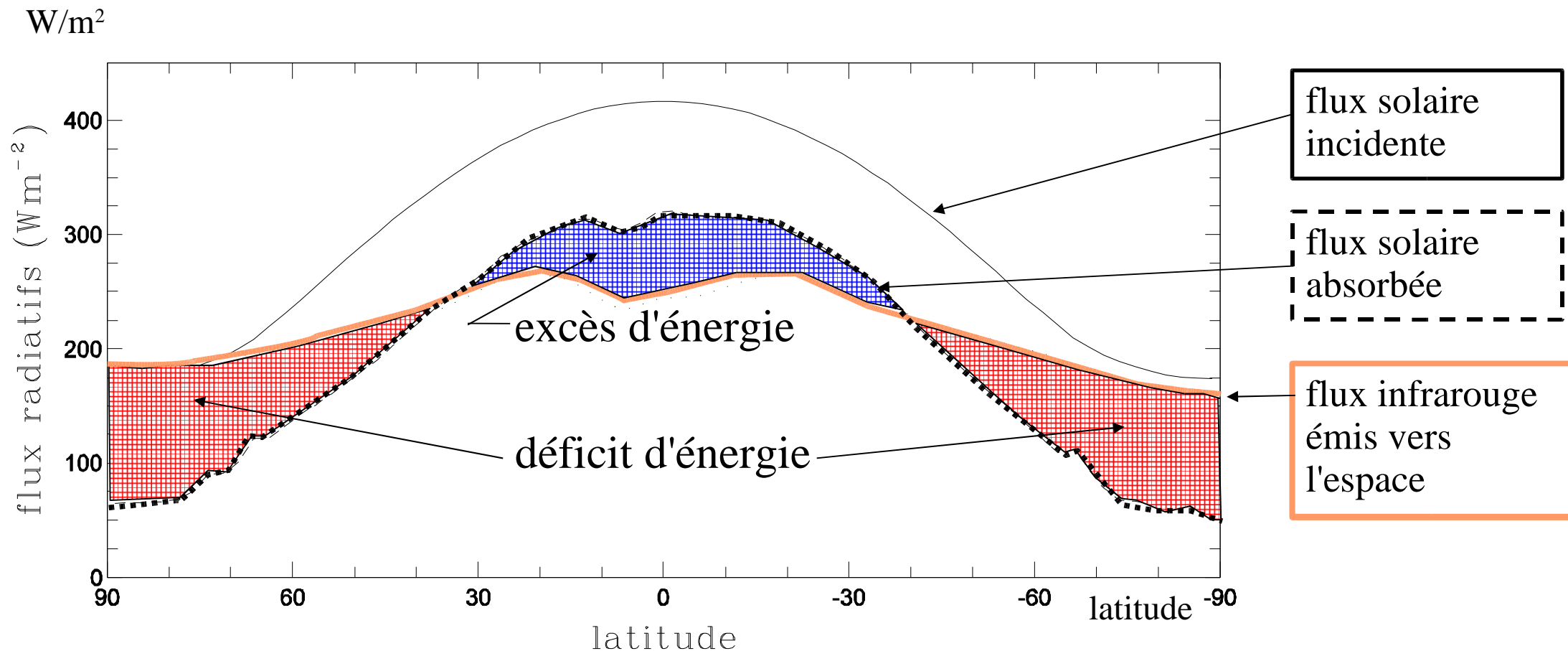
LMD / IPSL / CNRS

dufresne@lmd.jussieu.fr

La circulation générale atmosphérique vue à travers la distribution spatiale de la végétation



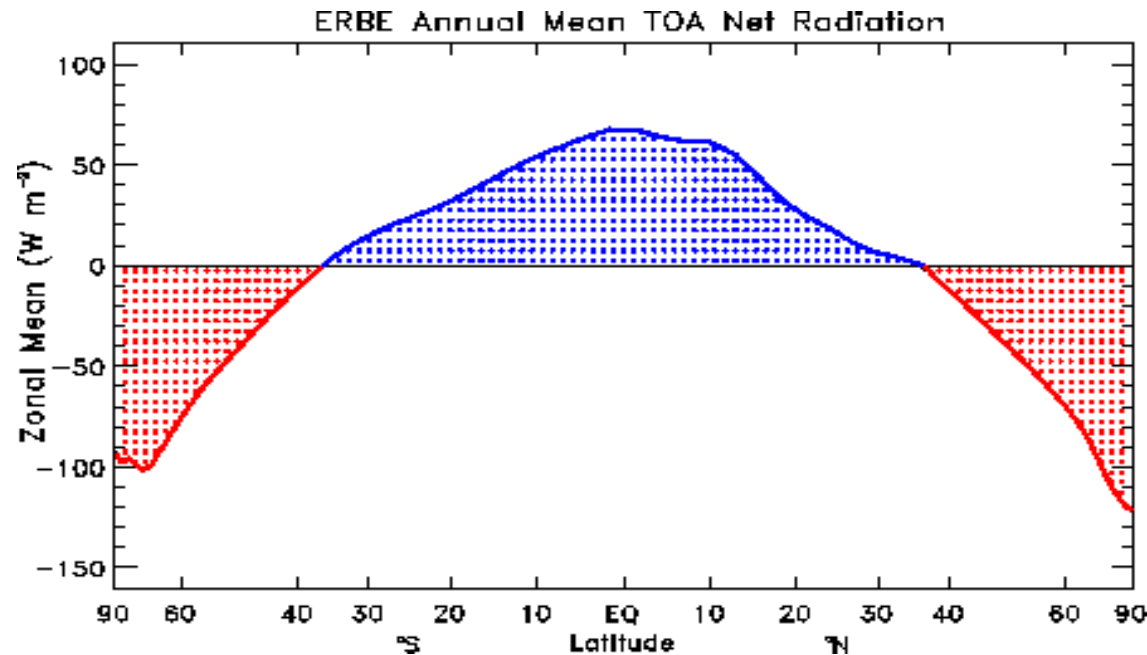
Les redistributions d'énergie en latitude



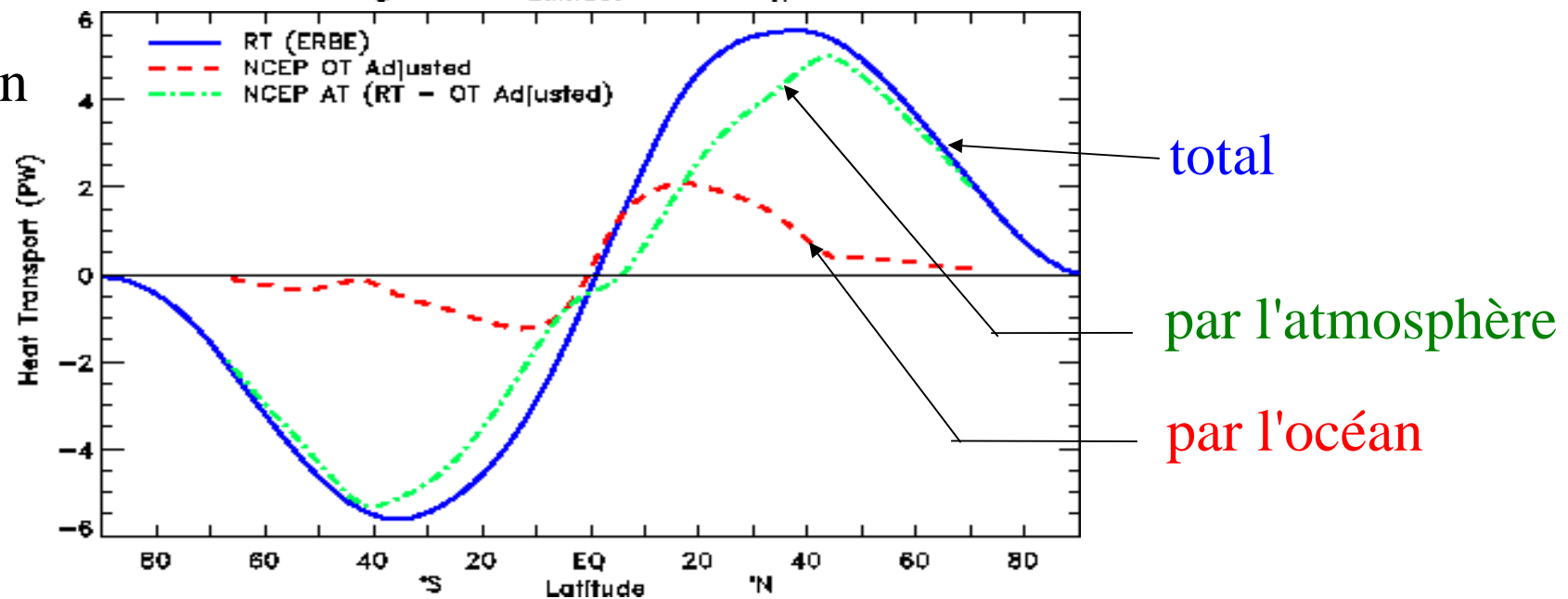
Moyenne annuelle et longitudinale du flux d'énergie radiative au sommet de l'atmosphère évalué par observations satellitaires.

Les redistributions d'énergie en latitude

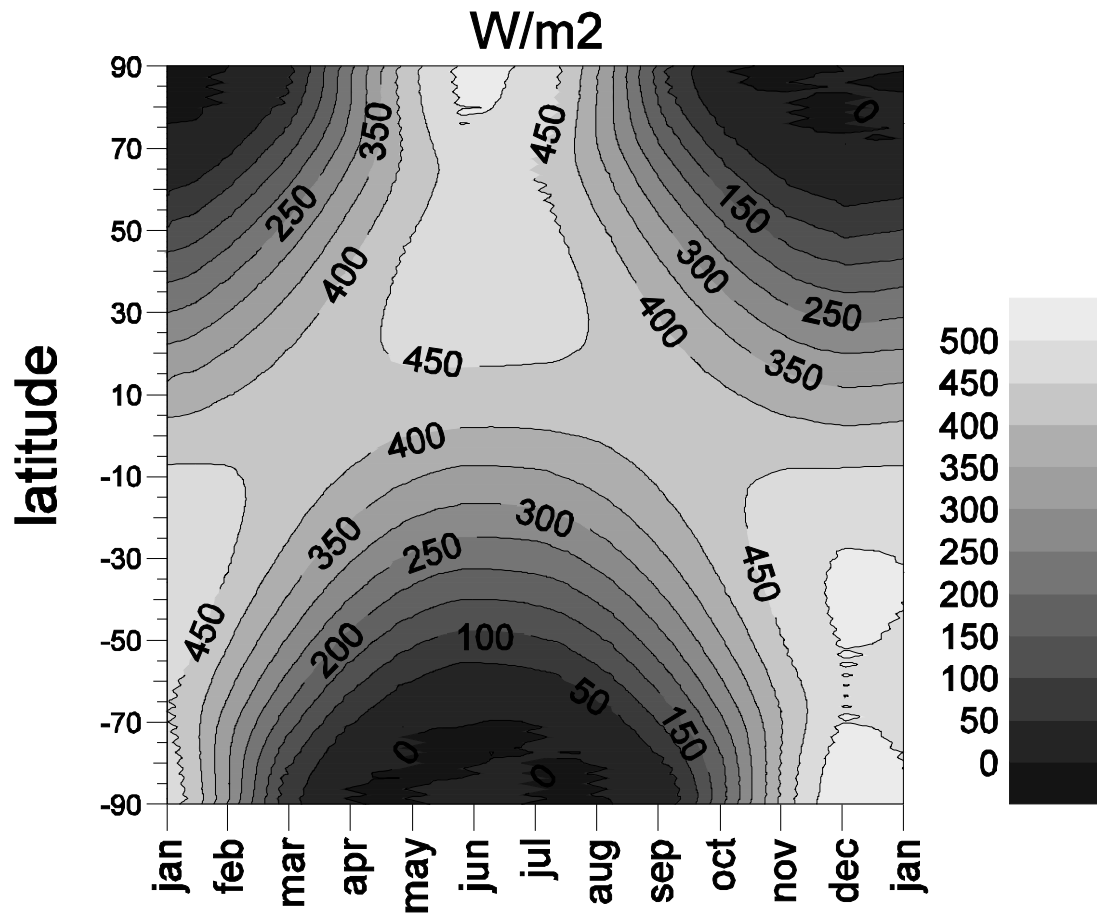
Bilan d'énergie
au sommet de
l'atmosphère
(W/m^2)



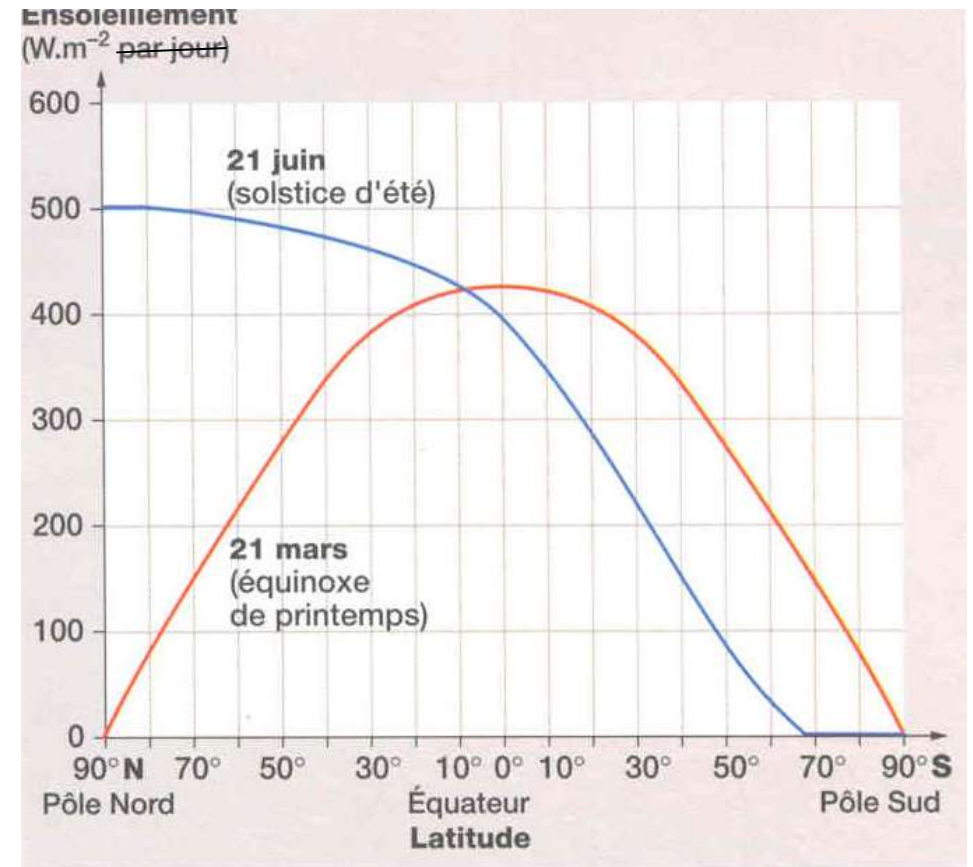
Transport méridien
d'énergie
(PW, $10^{15}W$)



Variation saisonnière des flux au sommet de l'atmosphère

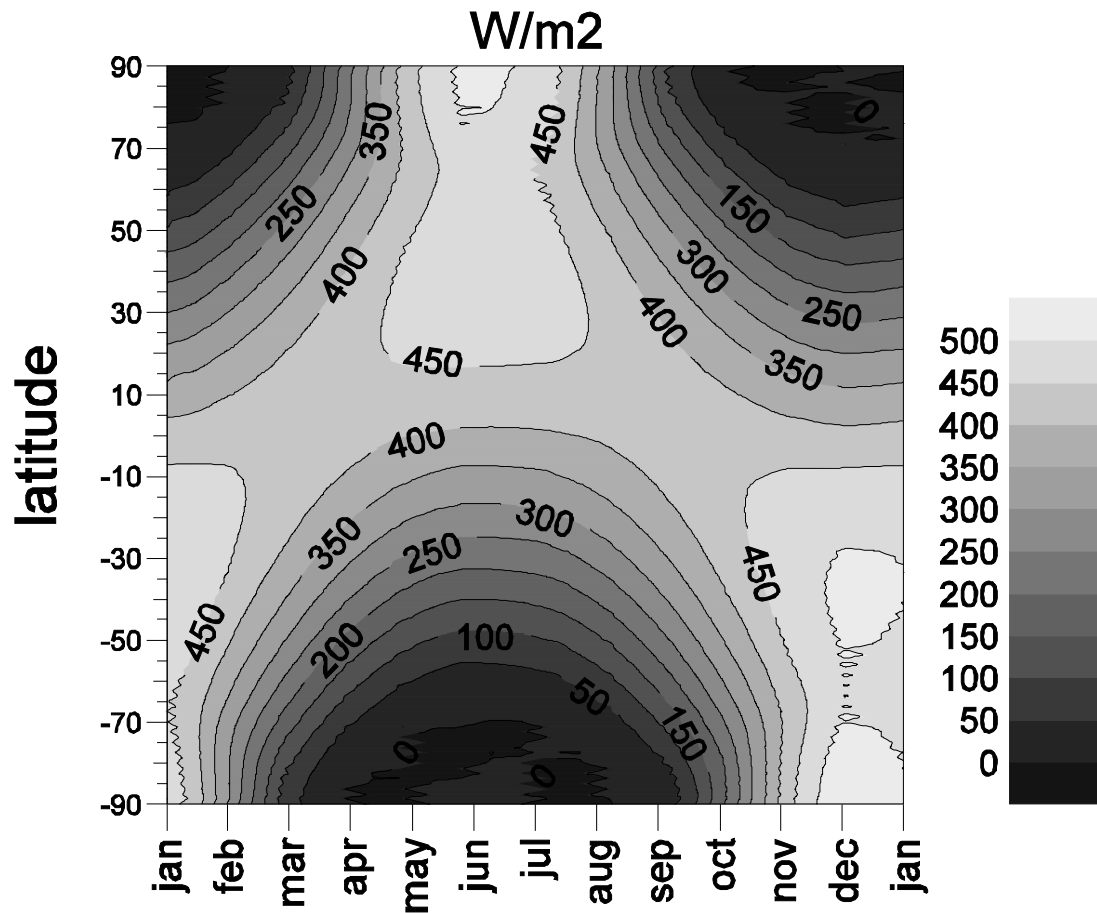


Flux solaire incident

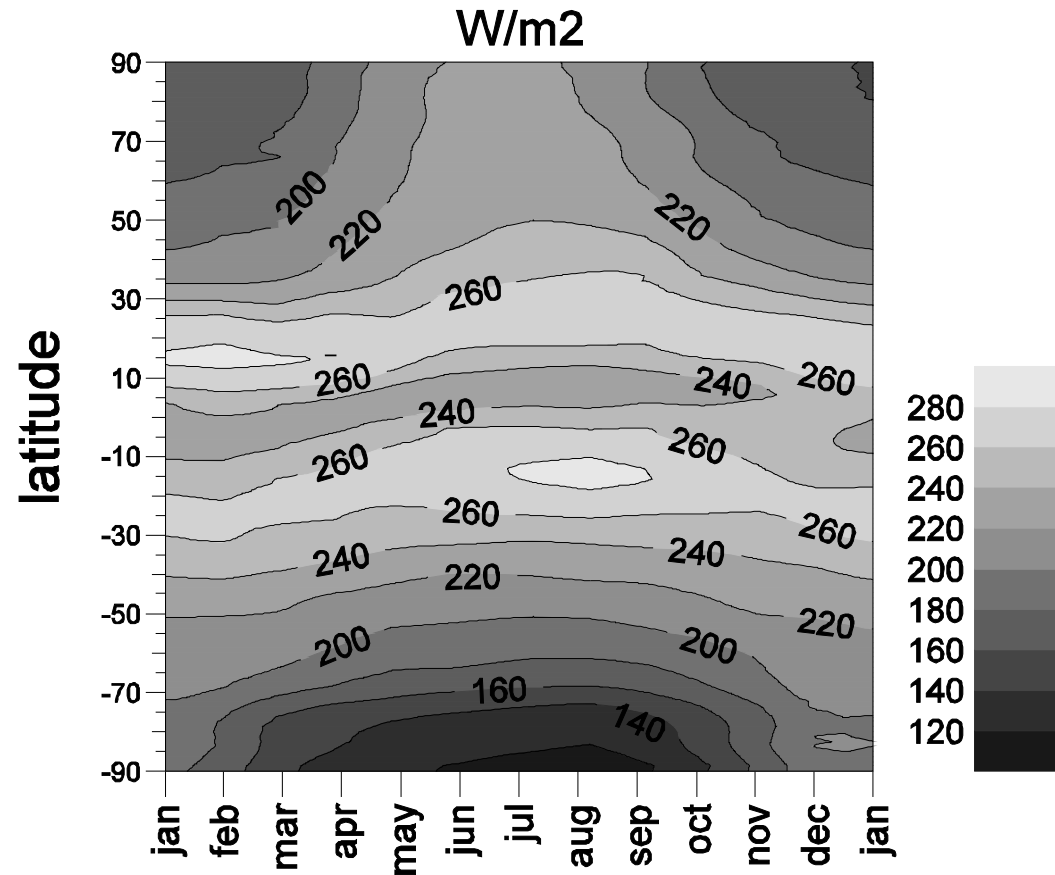


Variation de l'ensoleillement, à un même moment, en des lieux différents.

Variation saisonnière des flux au sommet de l'atmosphère



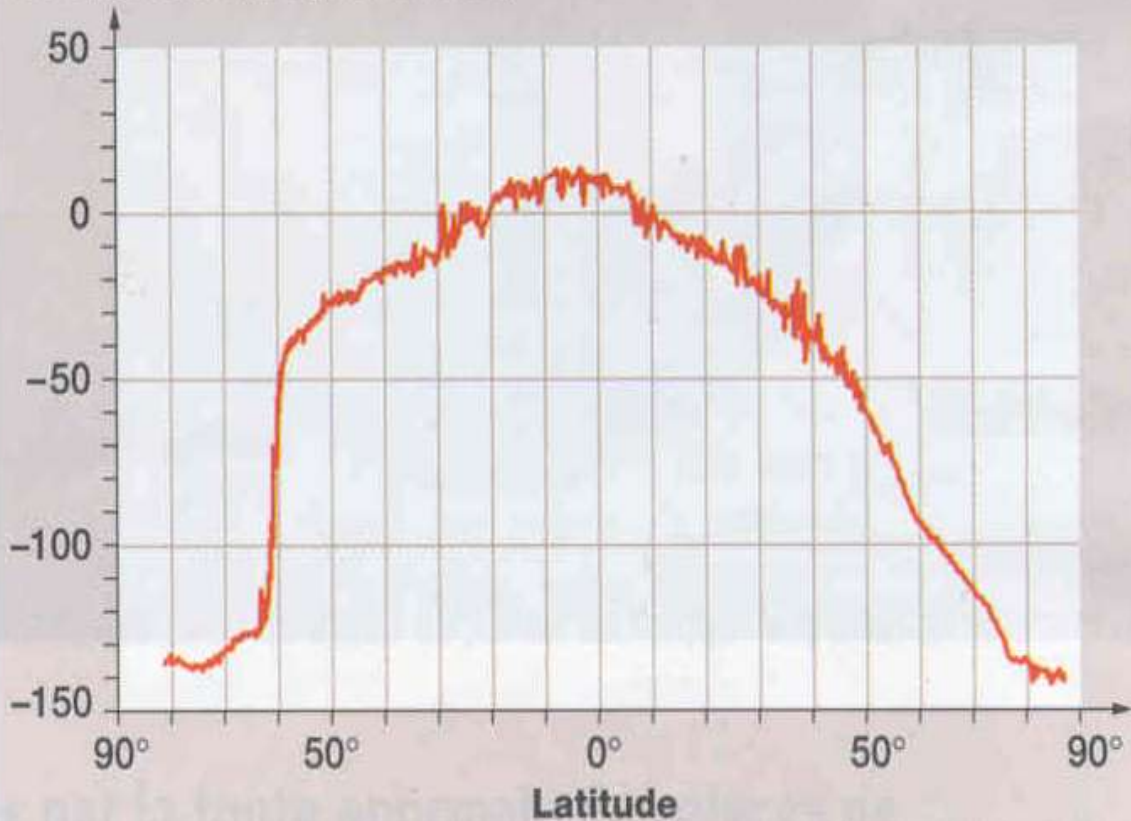
Flux solaire incident



Flux infrarouge émis vers l'espace

Variation latitudinale de la température... sur Mars et sur Terre

Température (degrés Celsius)

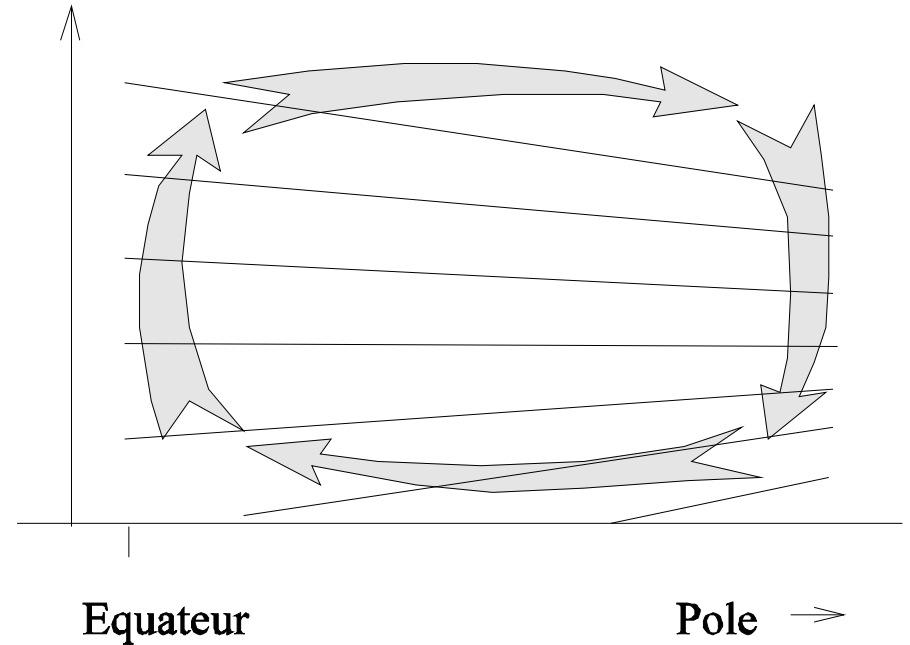
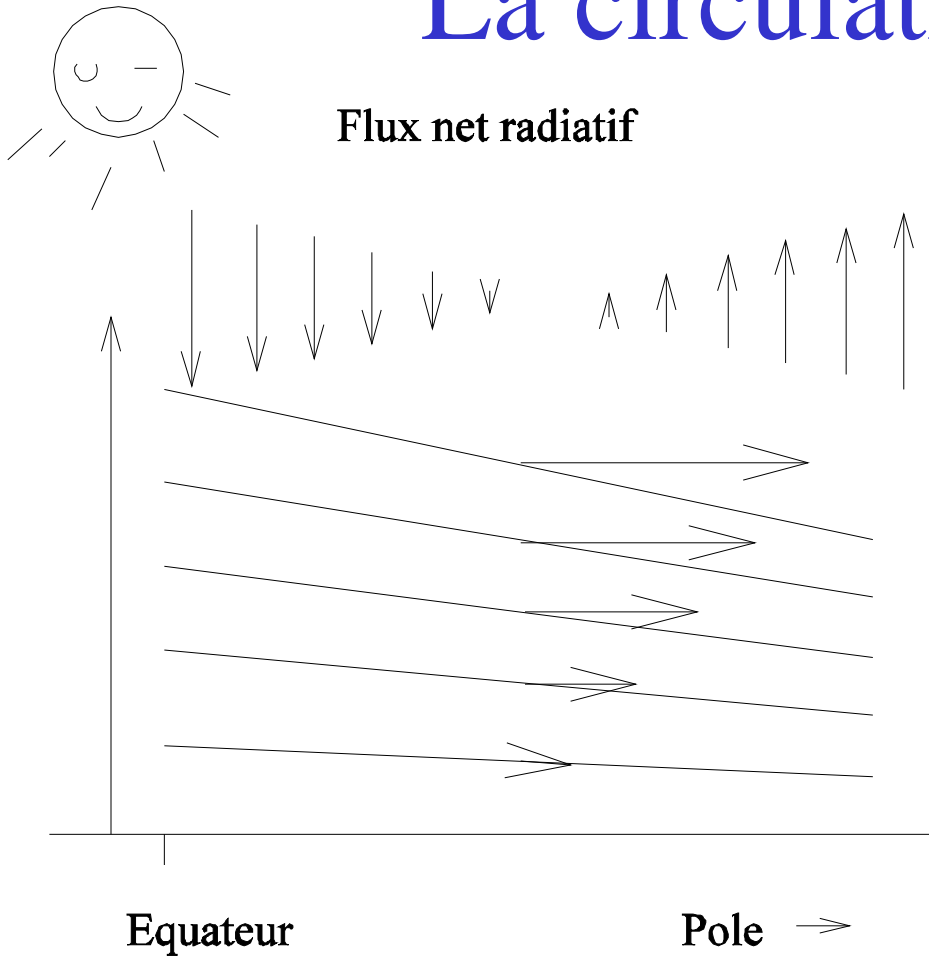


Température sur Mars (en degré Celsius) en fonction de la latitude.

Par rapport à la Terre, il y a sur Mars:

- moins d'effet de serre
 - moins de transport d'énergie équateur-pôles (atmosphère plus fine)
- => différences de température équateur-pôle plus importantes

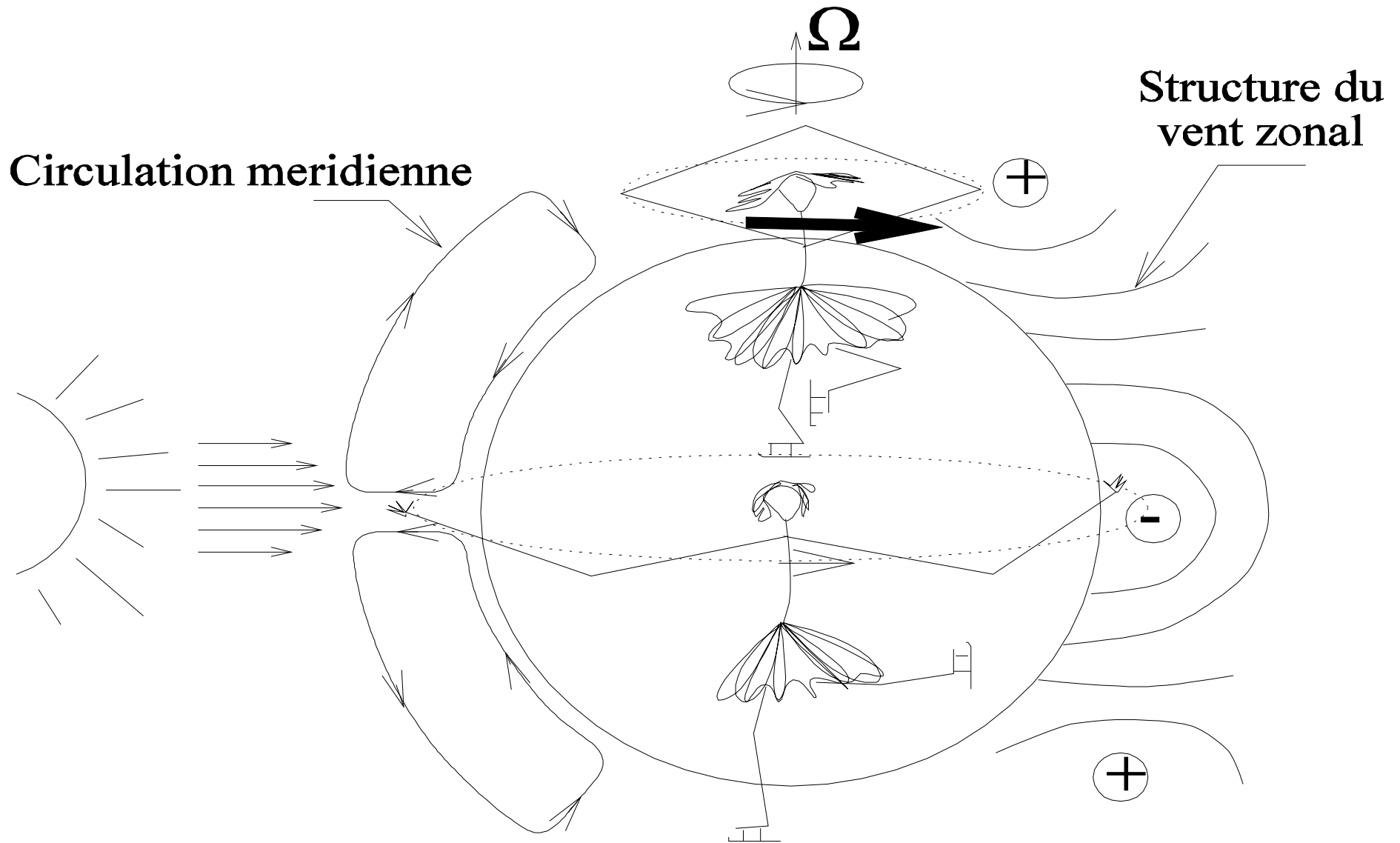
La circulation de Hadley



Variations latitudinales du flux radiatif net (en haut), courbes à pression constante ou isobares (les droites penchées), force de gradient de pression créée par l'inclinaison de ces isobares.

Représentation schématique de la cellule de Hadley

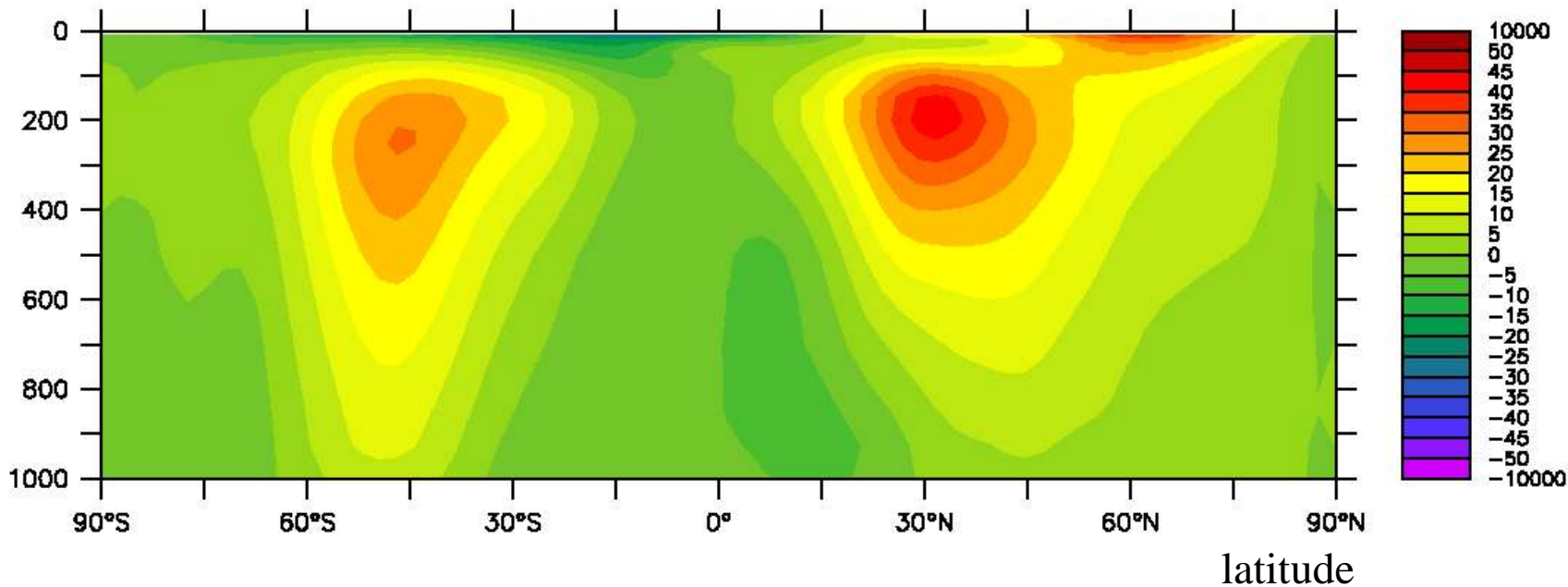
Extension vers le nord de la cellule de Hadley



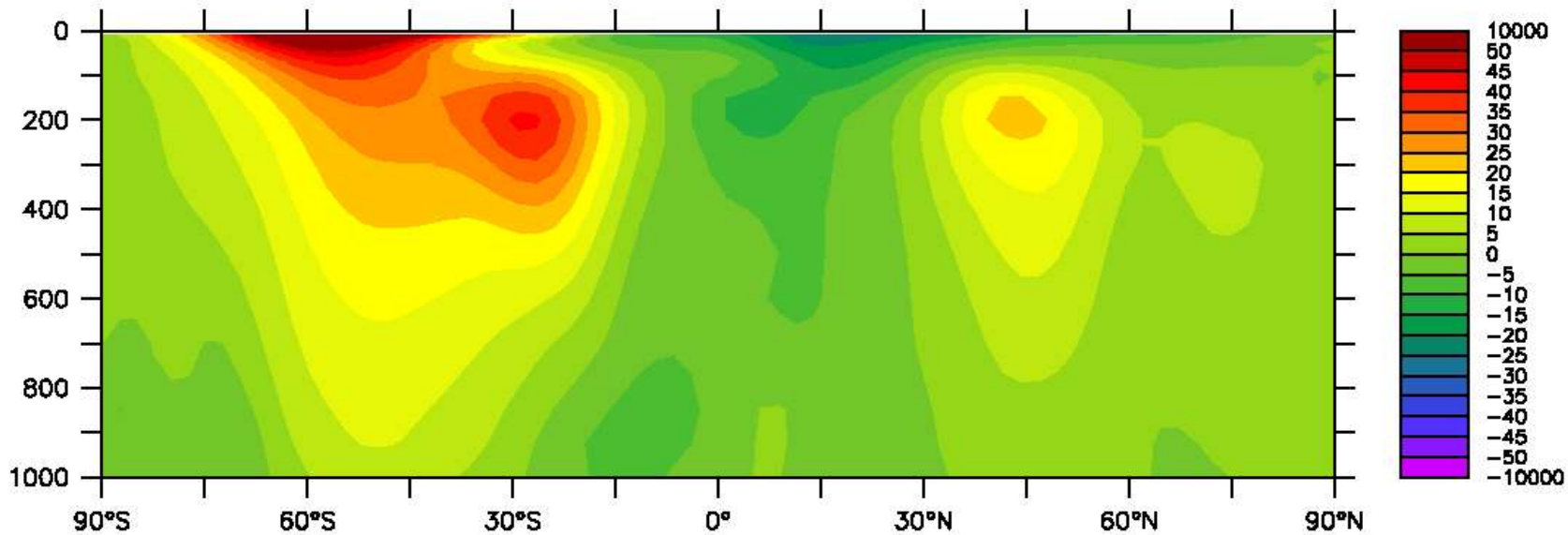
Vents Zonaux

altitude (hPa)

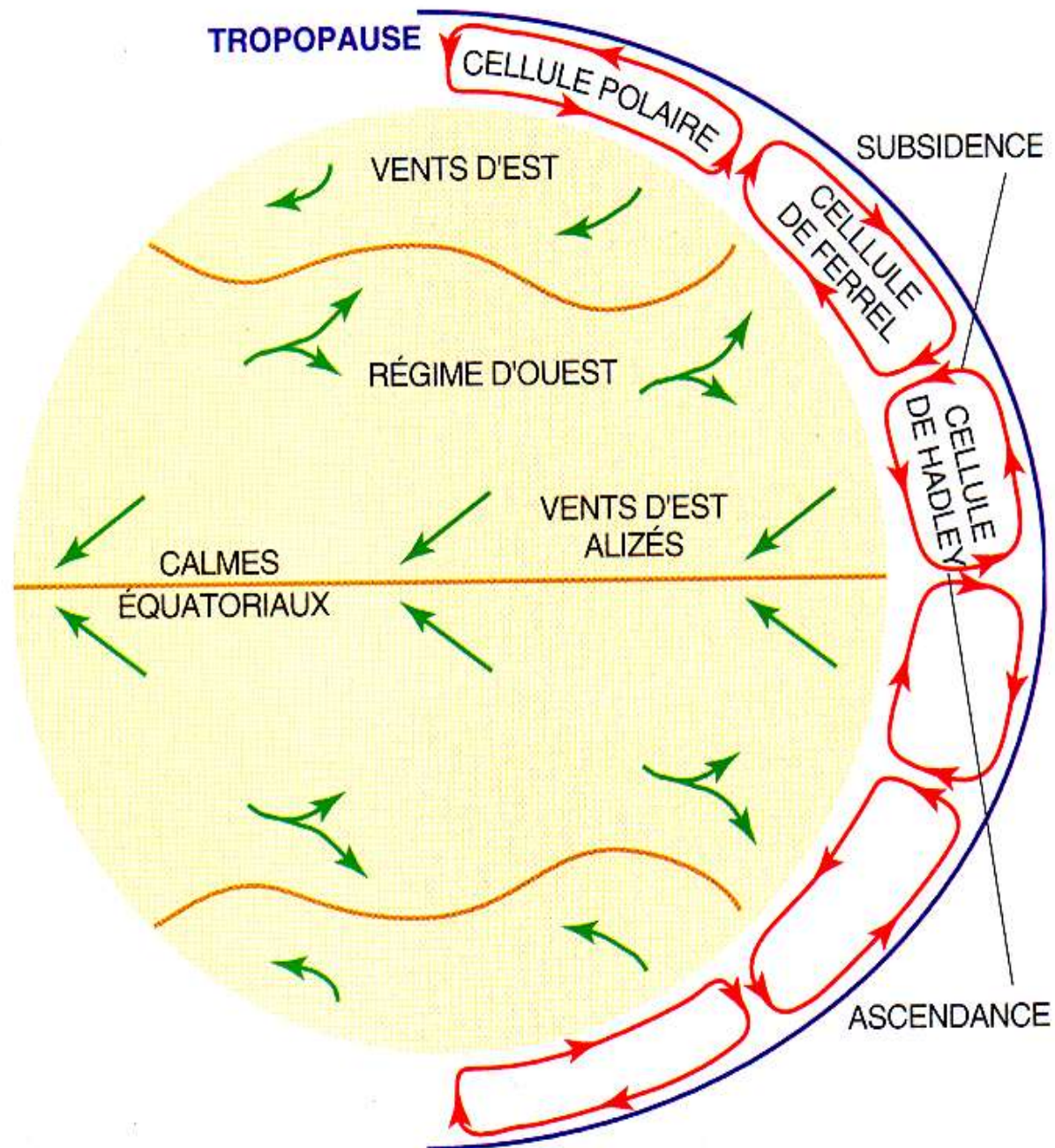
Janvier



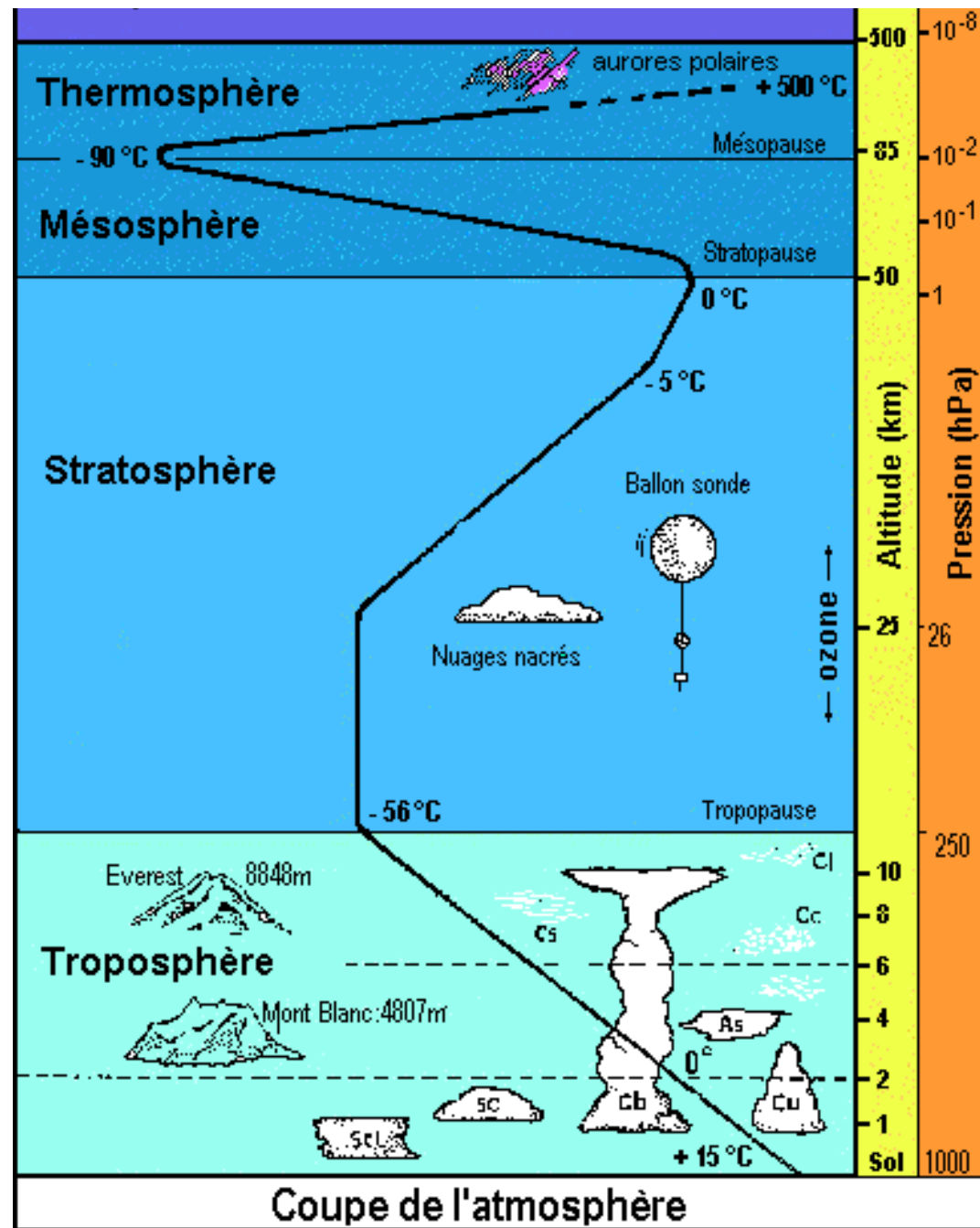
Juillet



Circulation générale atmosphérique



Profil vertical de l'atmosphère



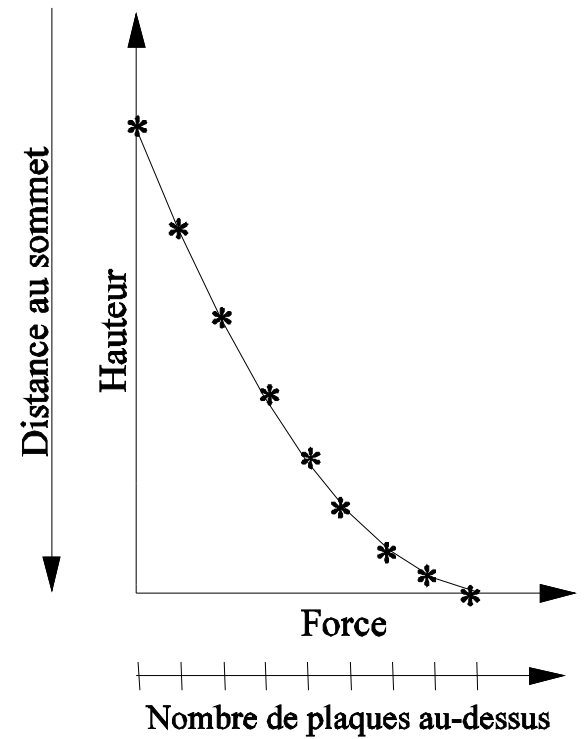
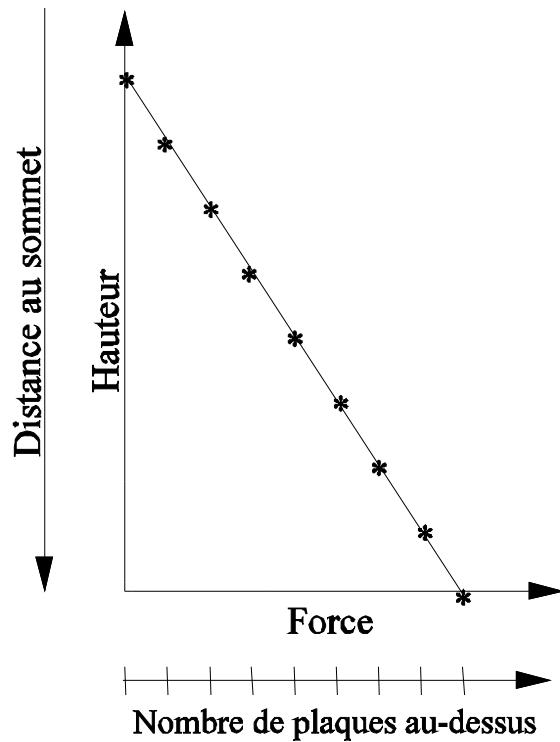
Profil vertical de l'atmosphère

Trois concepts importants pour comprendre et interpréter le profil vertical de température dans la basse atmosphère (< 12 à 15km)

- 1) La pression hydrostatique baisse avec l'altitude
- 2) La température baisse quand la pression baisse
- 3) La pression vapeur saturante de l'eau diminue avec la température

Profil vertical de l'atmosphère

1) La pression hydrostatique baisse avec l'altitude



Profil vertical de l'atmosphère

1) La pression hydrostatique baisse avec l'altitude

Equilibre hydrostatique: $\rho g = \partial p / \partial z$

avec ρ : masse volumique de l'air (kg.m^{-3})

p : Pression (Pa)

z : altitude (m)

g : acceleration de la pesanteur (m.s^{-2})

avec l'hypothèses des gaz parfaits $p = \rho R T$

$$\implies \frac{1}{p} \frac{\partial p}{\partial z} = -g / R T$$

Avec l'hypothèse d'atmosphère isotherme:

$$\implies p = p_0 \exp(-z g / R T)$$

Profil vertical de l'atmosphère

2) La température baisse quand la pression baisse

- Conservation de l'énergie
- loi des gaz parfait
- mouvement adiabatique

$$\Rightarrow T/p^{\kappa} = \text{cte}$$

On définit la température potentielle $\Theta = T(p_0/p)^{\kappa}$ invariante par ascendance adiabatique.

\Rightarrow la température baisse avec l'altitude: $dT/dz \cong -6 \text{ à } -8 \text{ K/km}$

Mont blanc : 4800m \Rightarrow -34K plus froid qu'en plaine : si 20° \Rightarrow -15°C

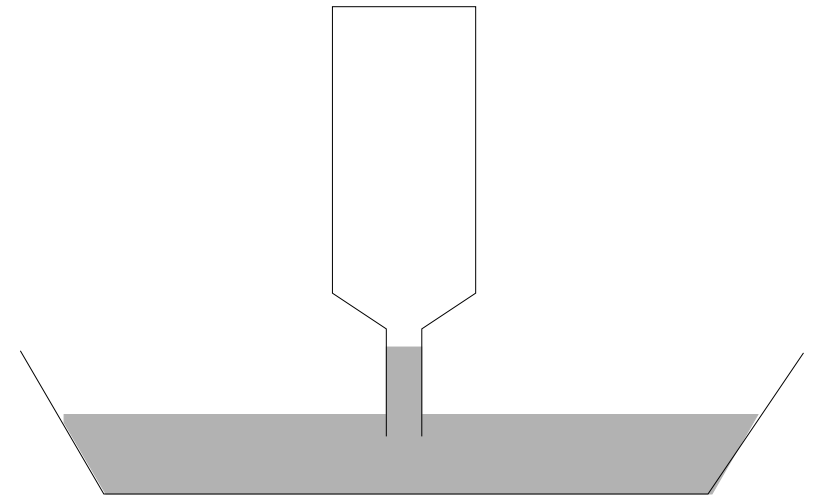
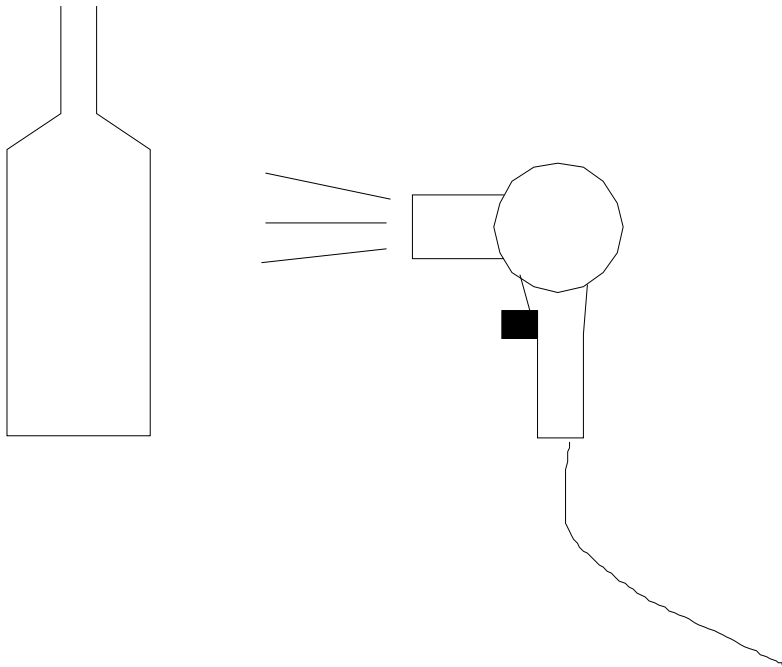
Mont Everest: 8800m \Rightarrow -60K plus froid qu'en plaine : si 20° \Rightarrow -40°C

Avion : 10000m \Rightarrow -70K plus froid qu'en plaine : si 20° \Rightarrow -50°C

Profil vertical de l'atmosphère

2) La température baisse quand la pression baisse

La pression et la température varie dans le même sens: tous les deux baissent ou augmentent ensemble



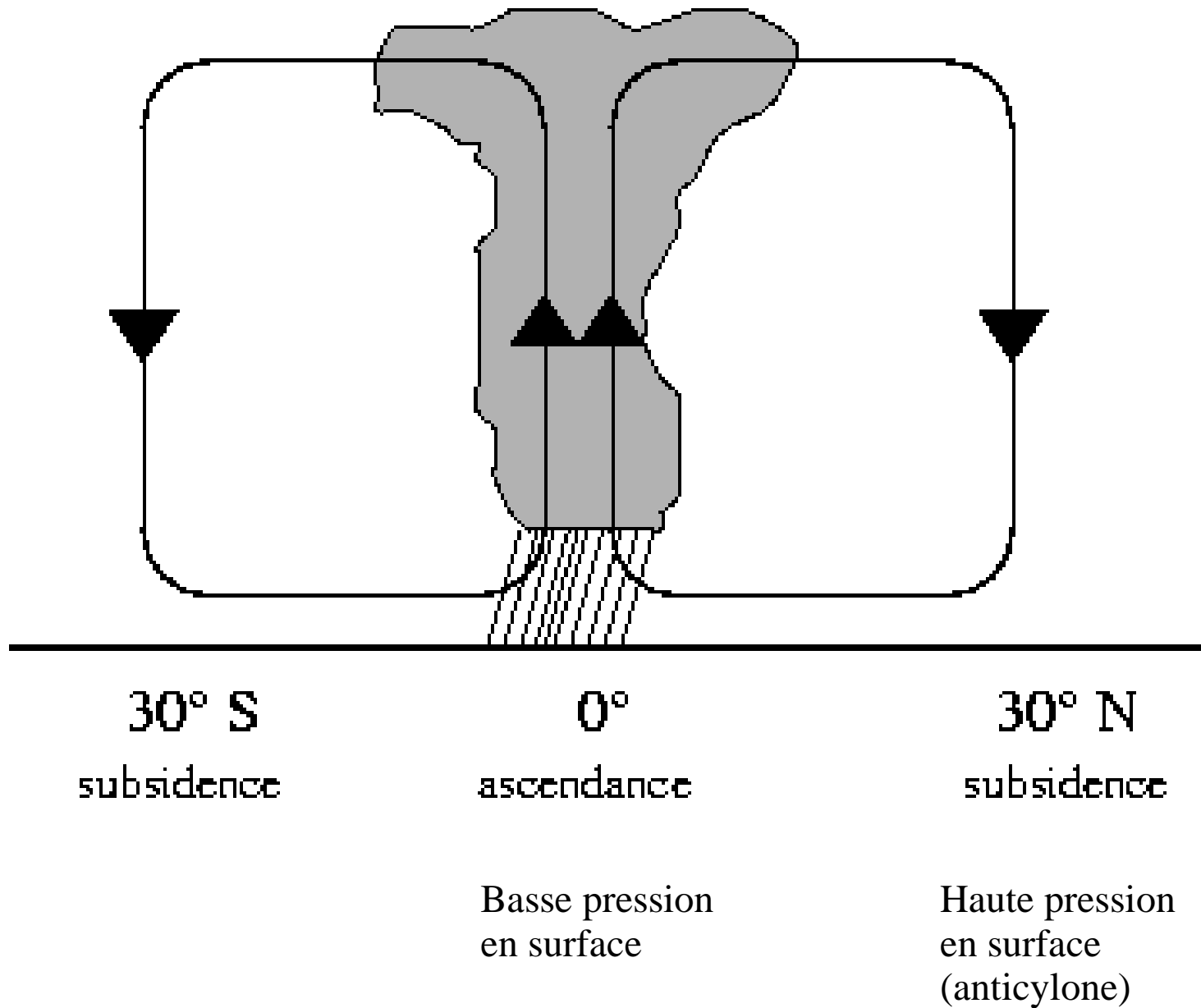
Profil vertical de l'atmosphère

3) La pression de vapeur saturante de l'eau diminue avec la température

- condensation de la vapeur d'eau présente dans l'air sur les parois froides (vitres...)
- formation des nuages

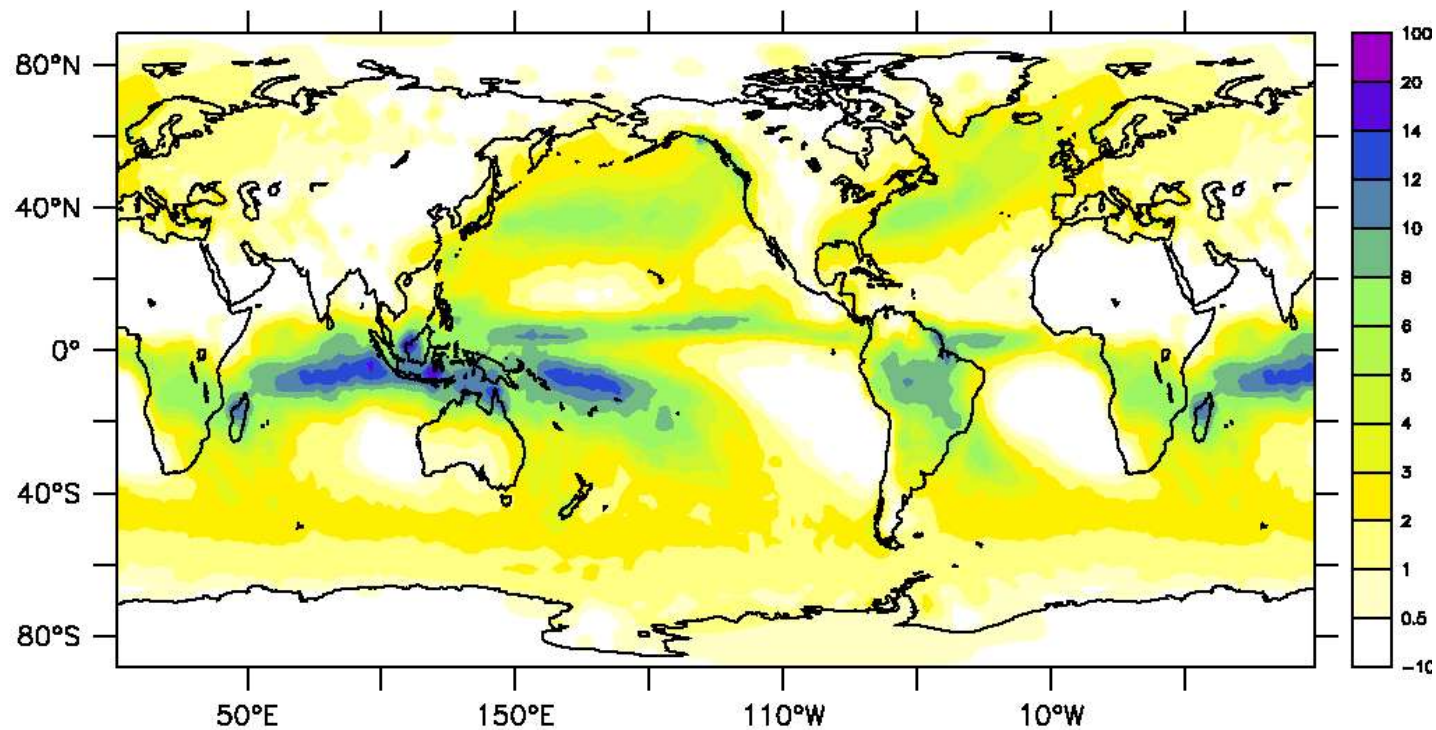


La circulation de Hadley

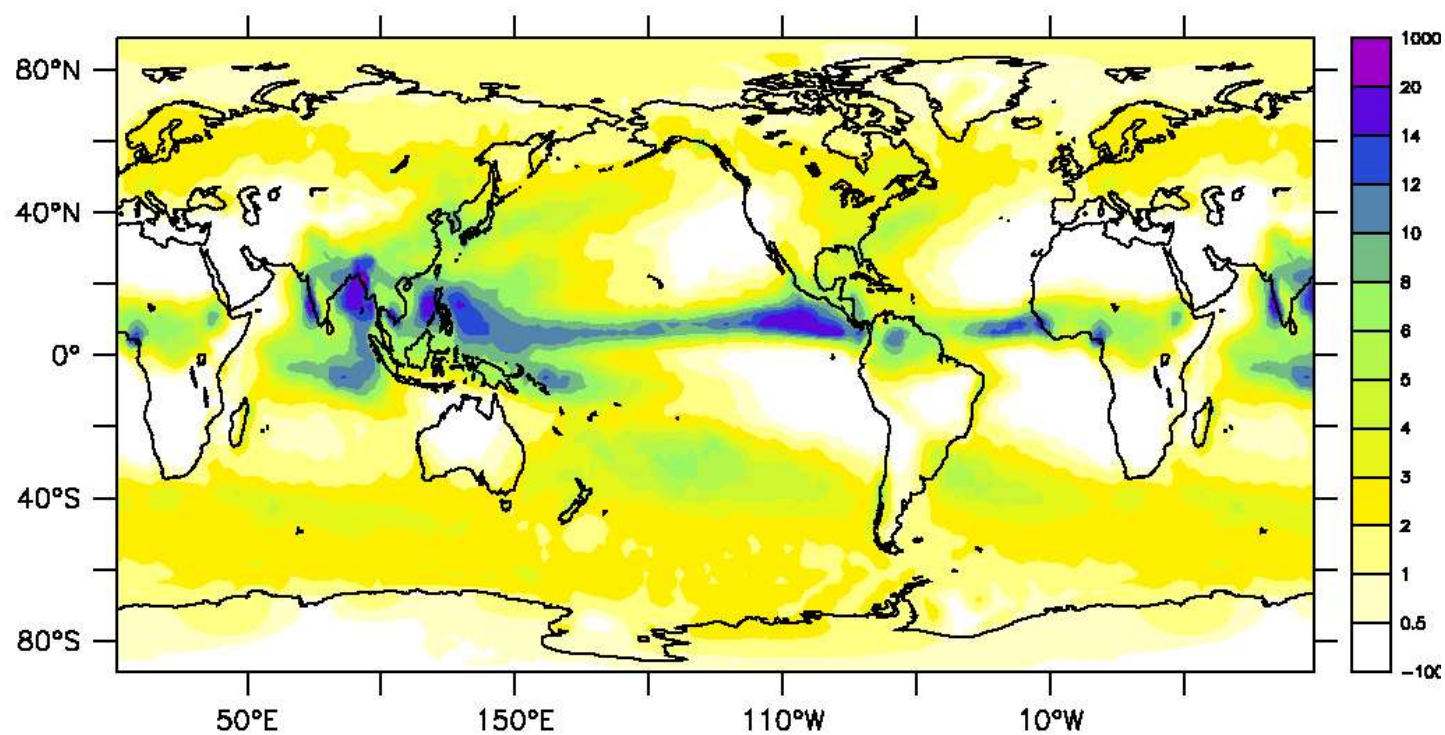


Précipitations (mm/j)

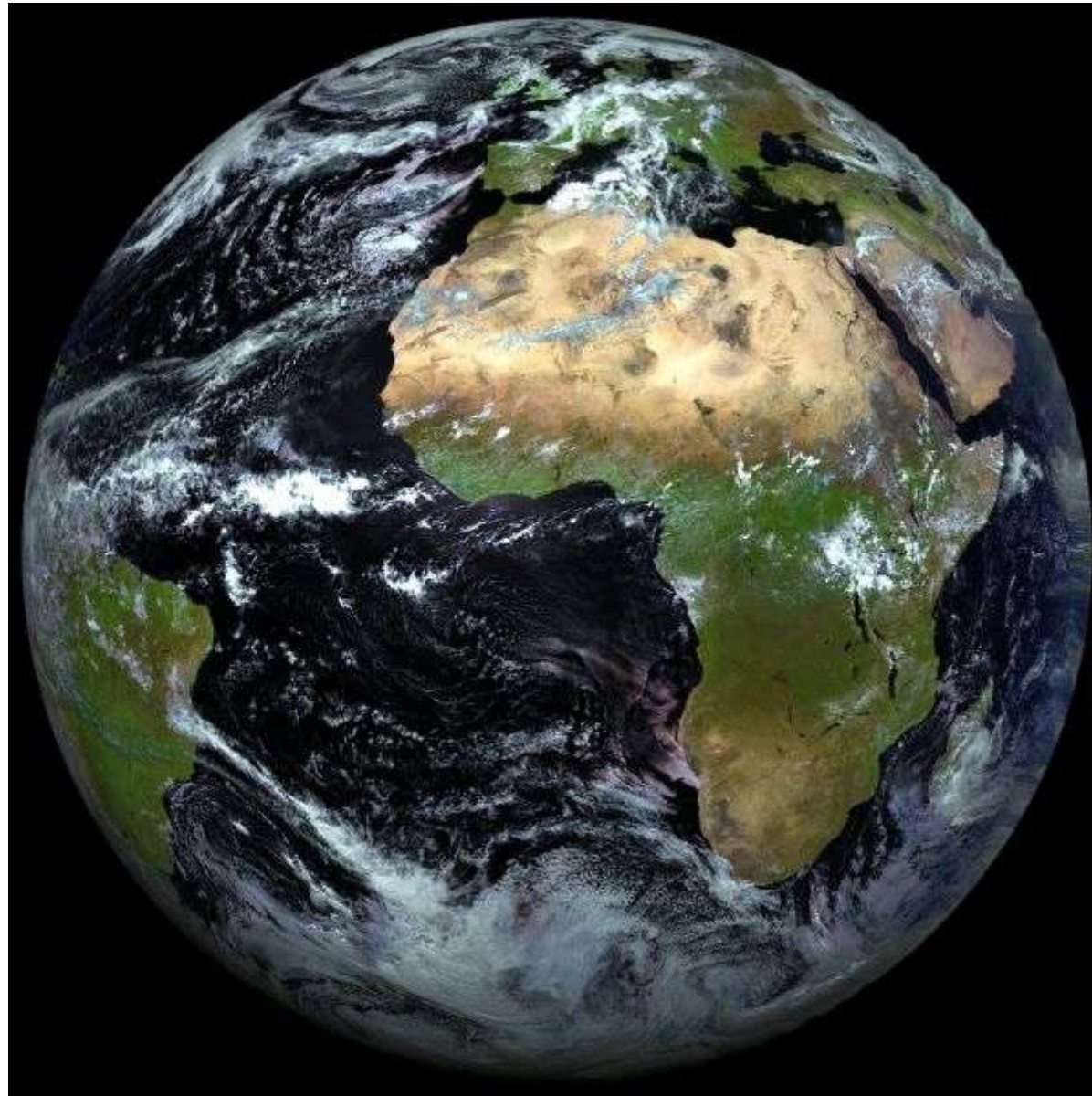
Janvier



Juillet



La circulation générale atmosphérique vue à travers la distribution spatiale de la végétation

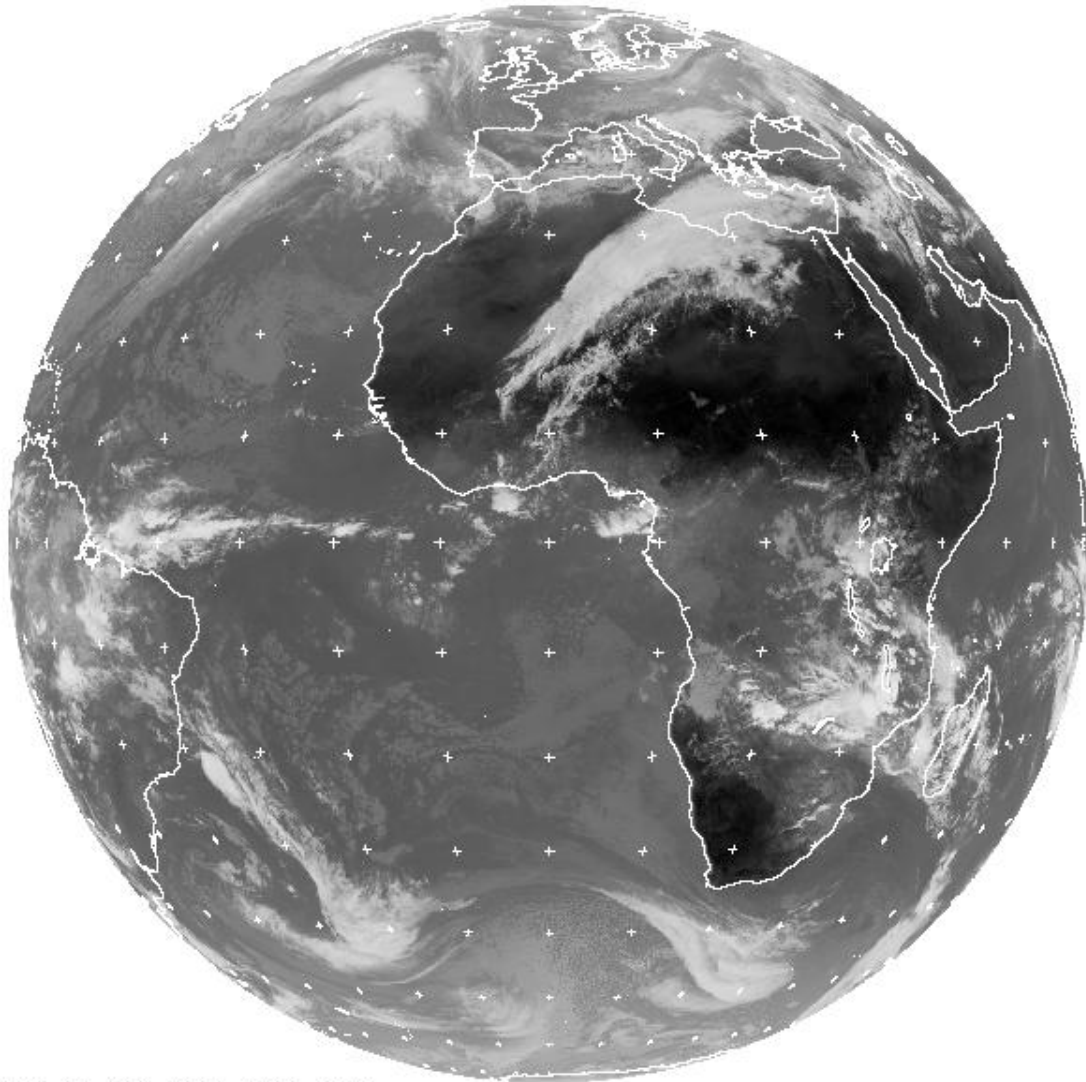


09 May 2003,
1215 UTC

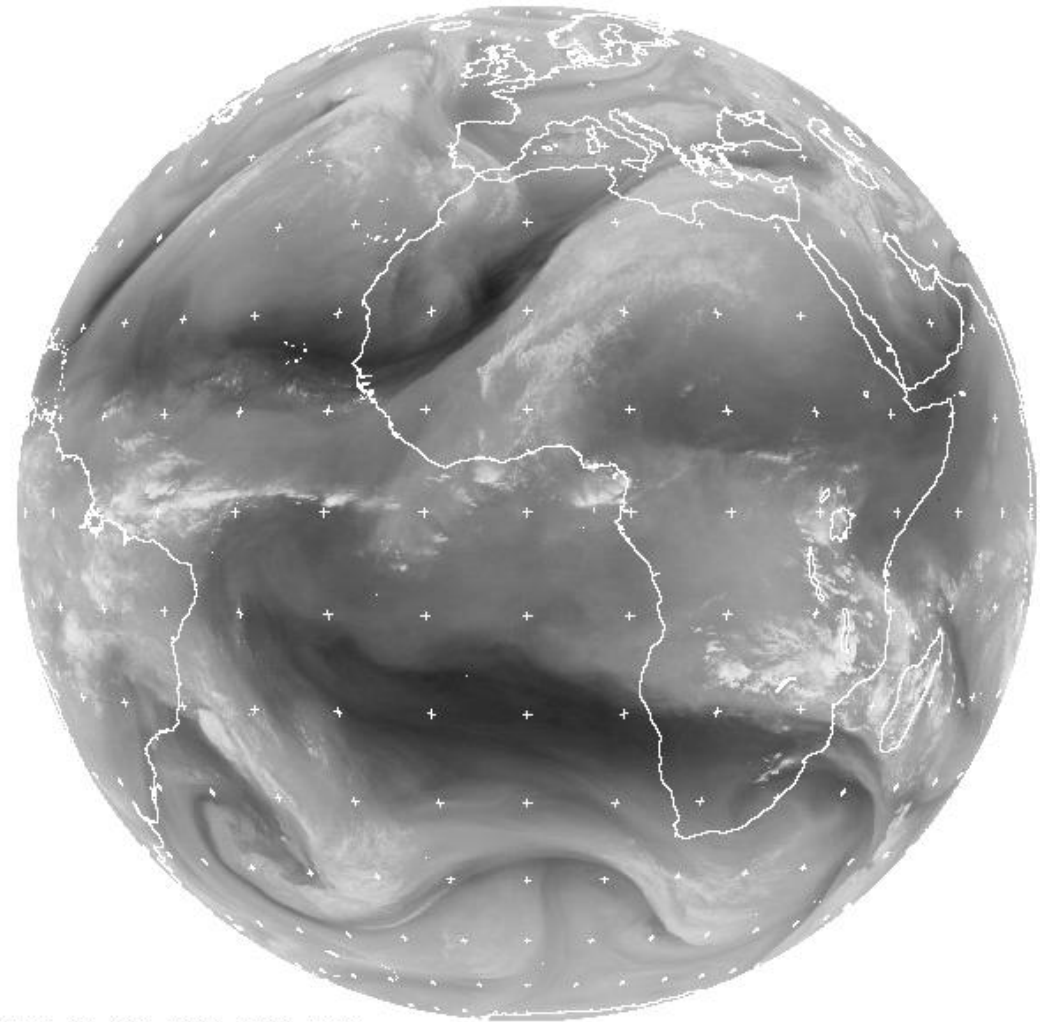
©EUMETSAT

La circulation générale atmosphérique.

Canal visible de Météosat



Canal vapeur d'eau de Météosat

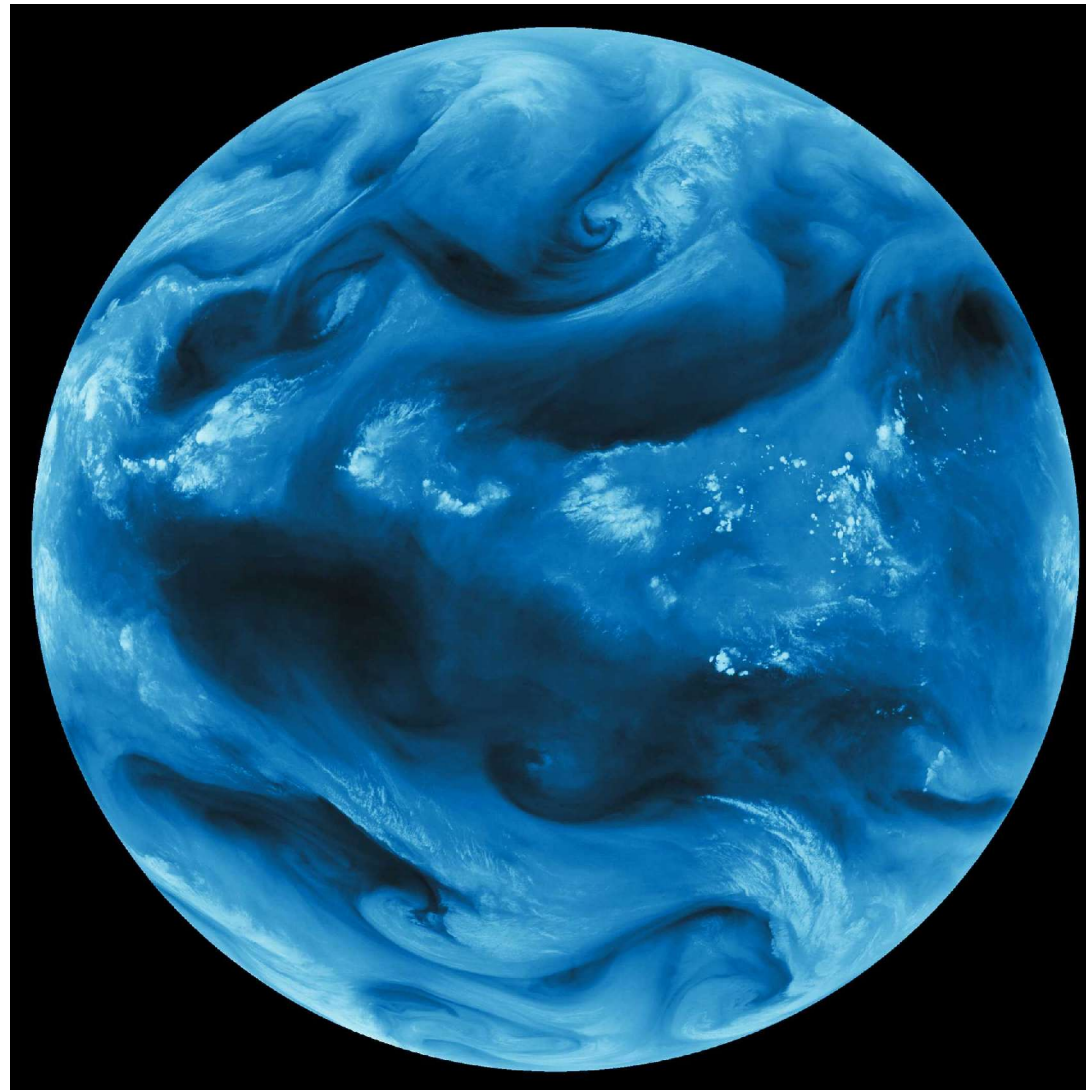


MET7 01 MAR 2004 1200 ETOT

MET7 01 MAR 2004 1200 DTOT

©EUMETSAT

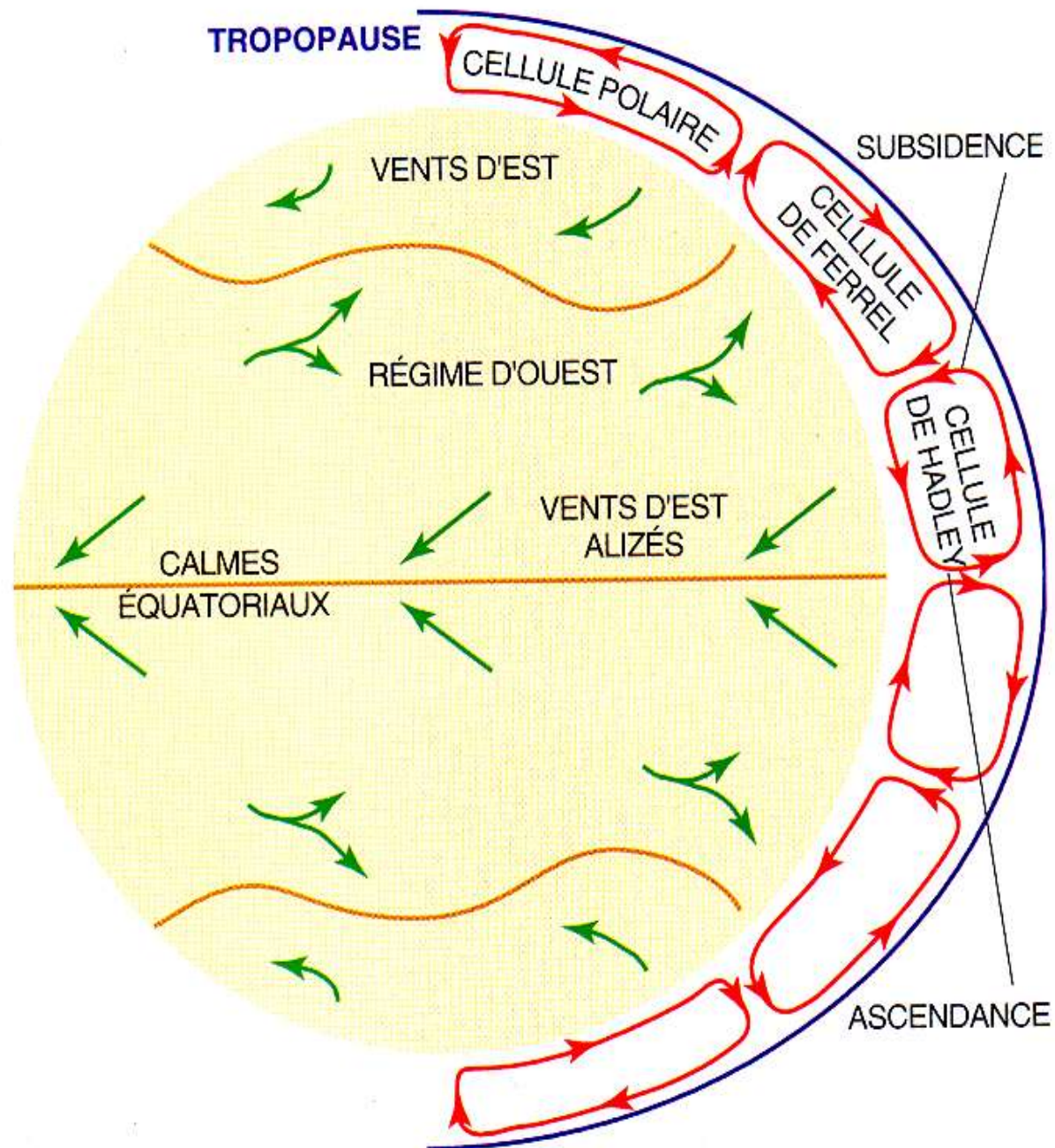
La circulation générale atmosphérique



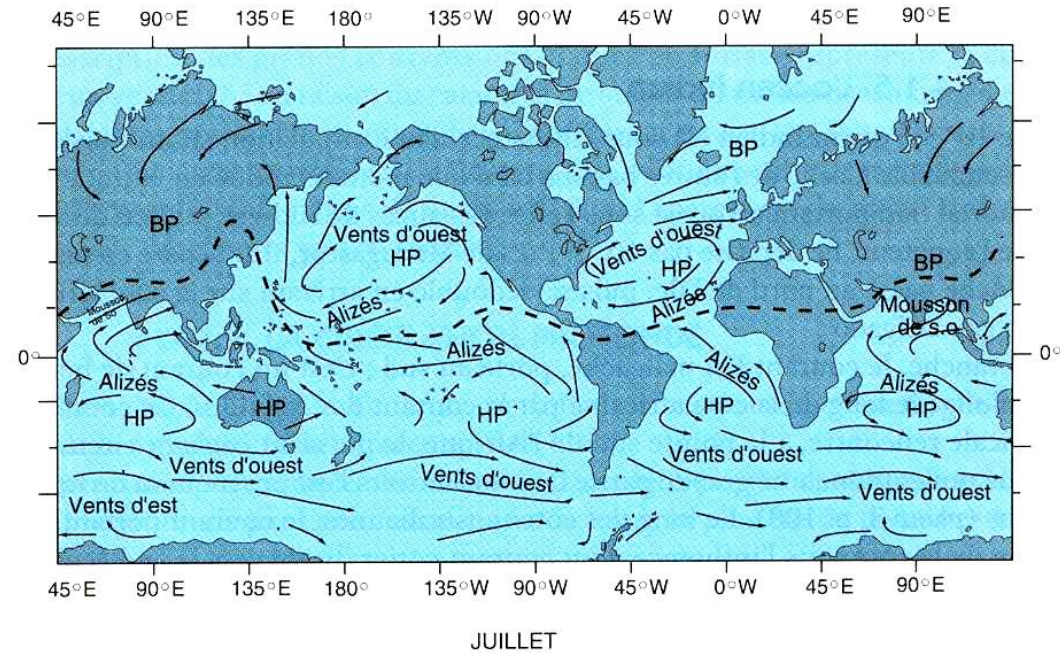
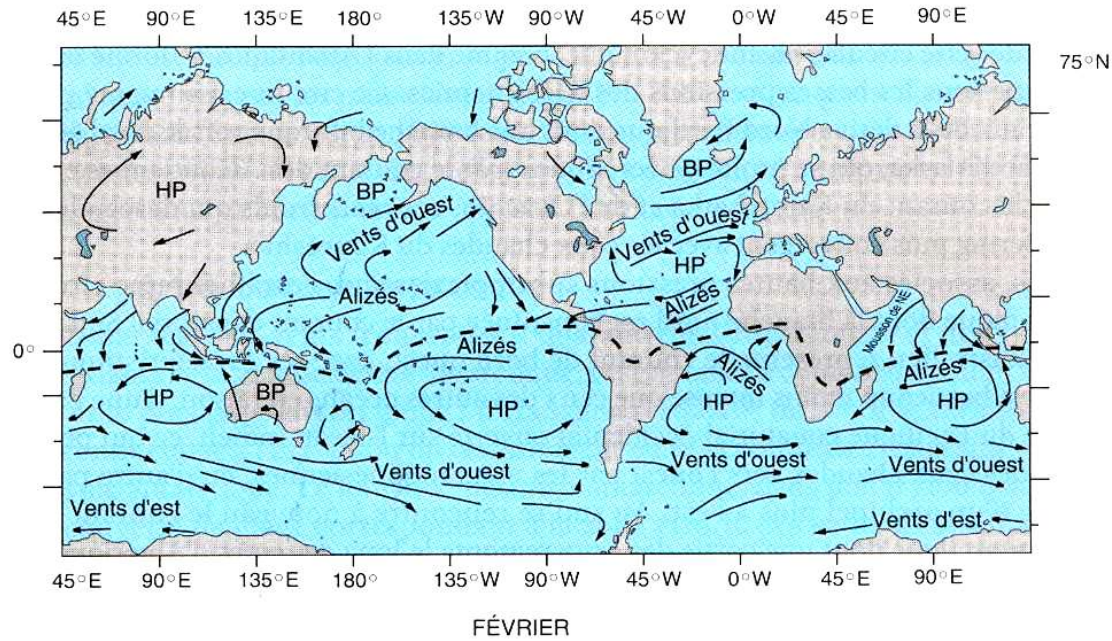
09 May 2003,
1215 UTC

©EUMETSAT

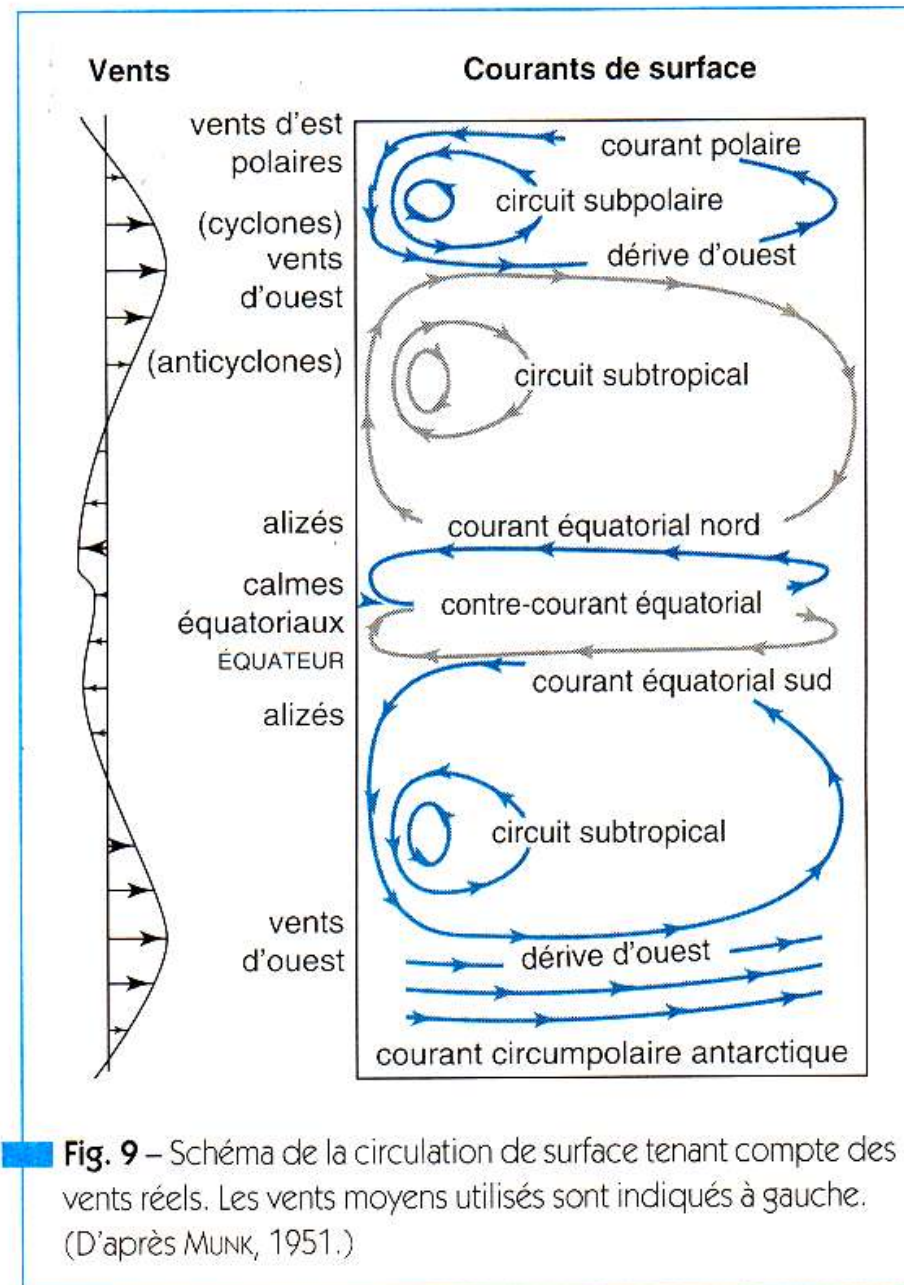
Circulation générale atmosphérique



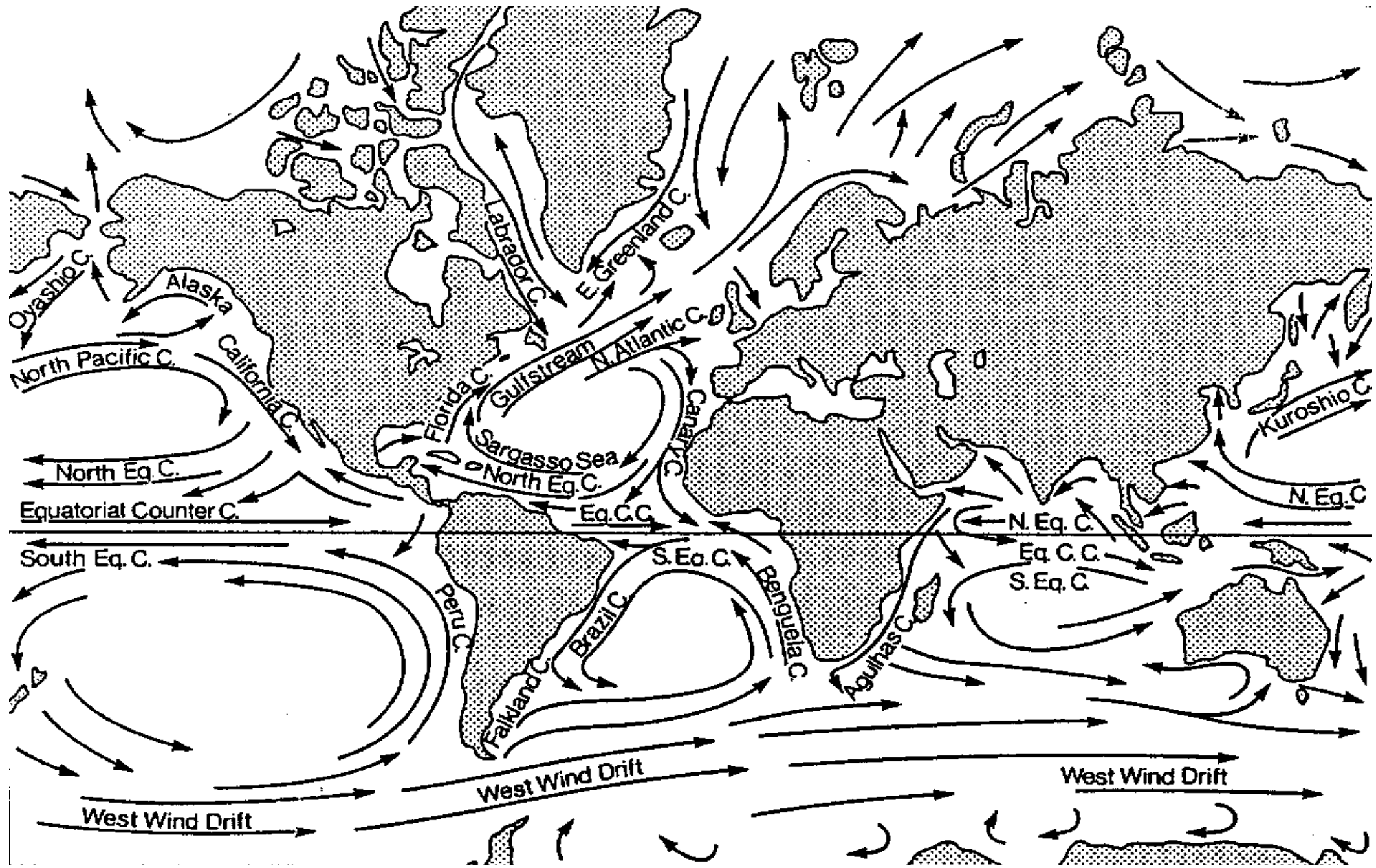
Circulation générale atmosphérique



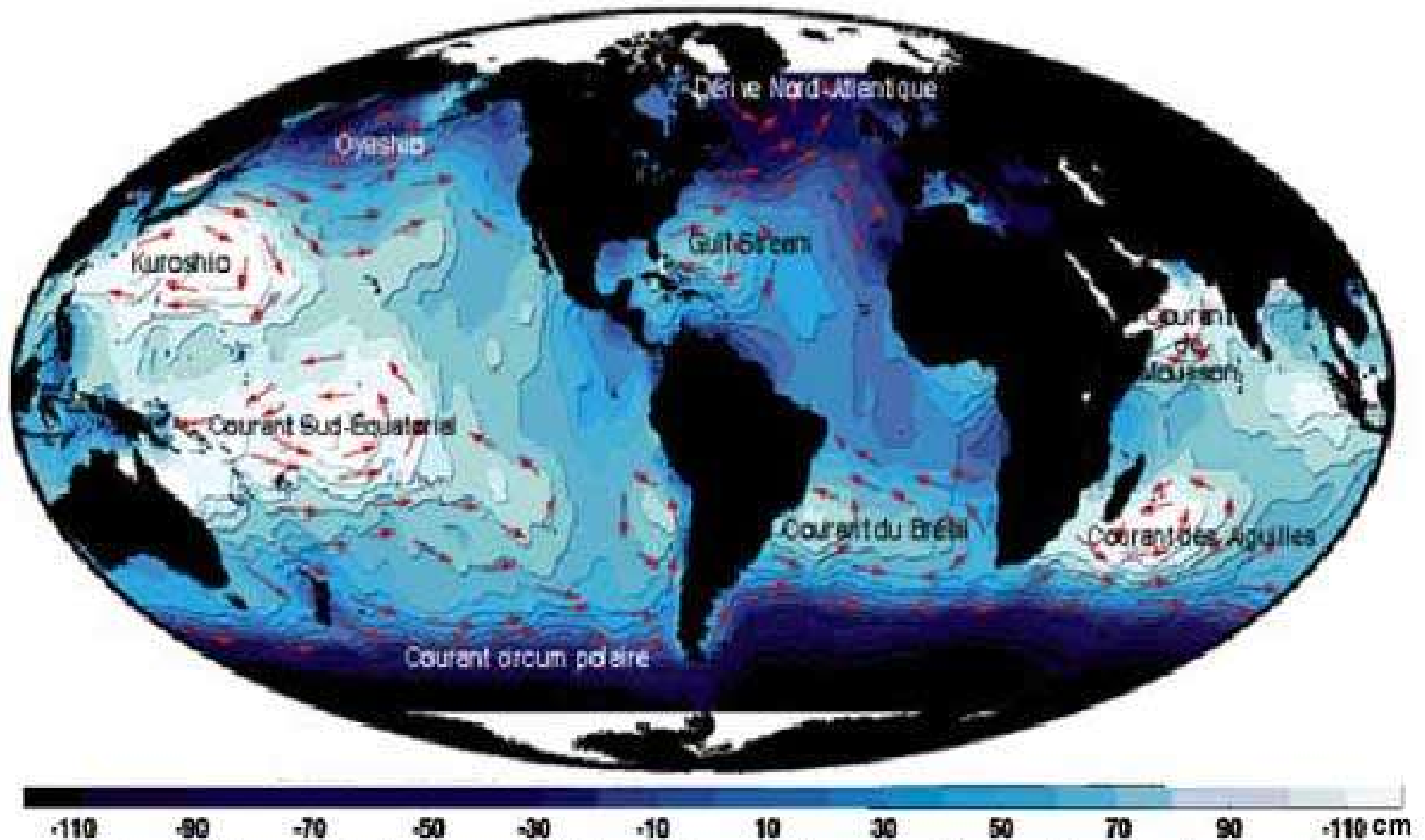
Circulation océanique de surface



Circulation océanique de surface

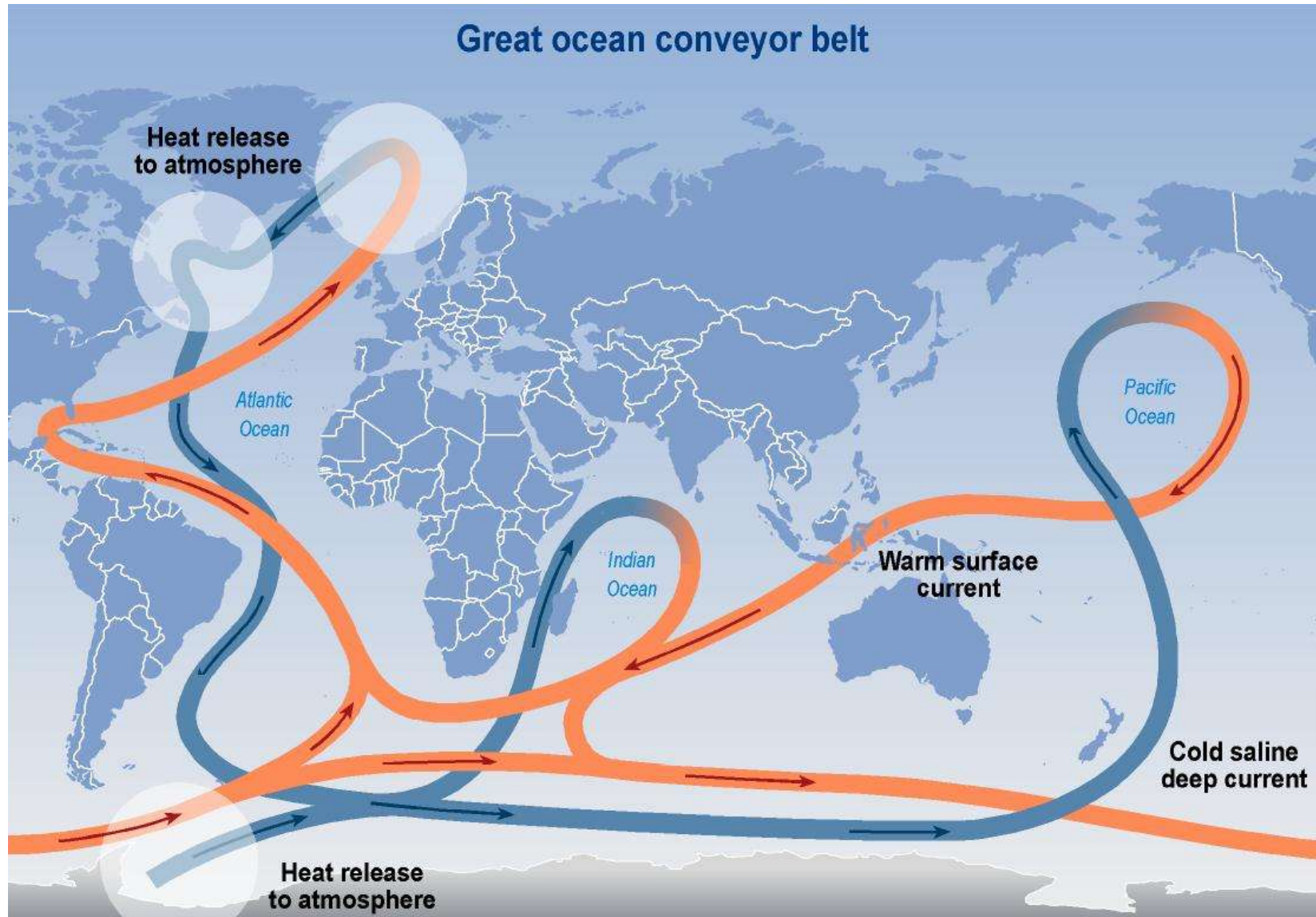


Circulation océanique de surface

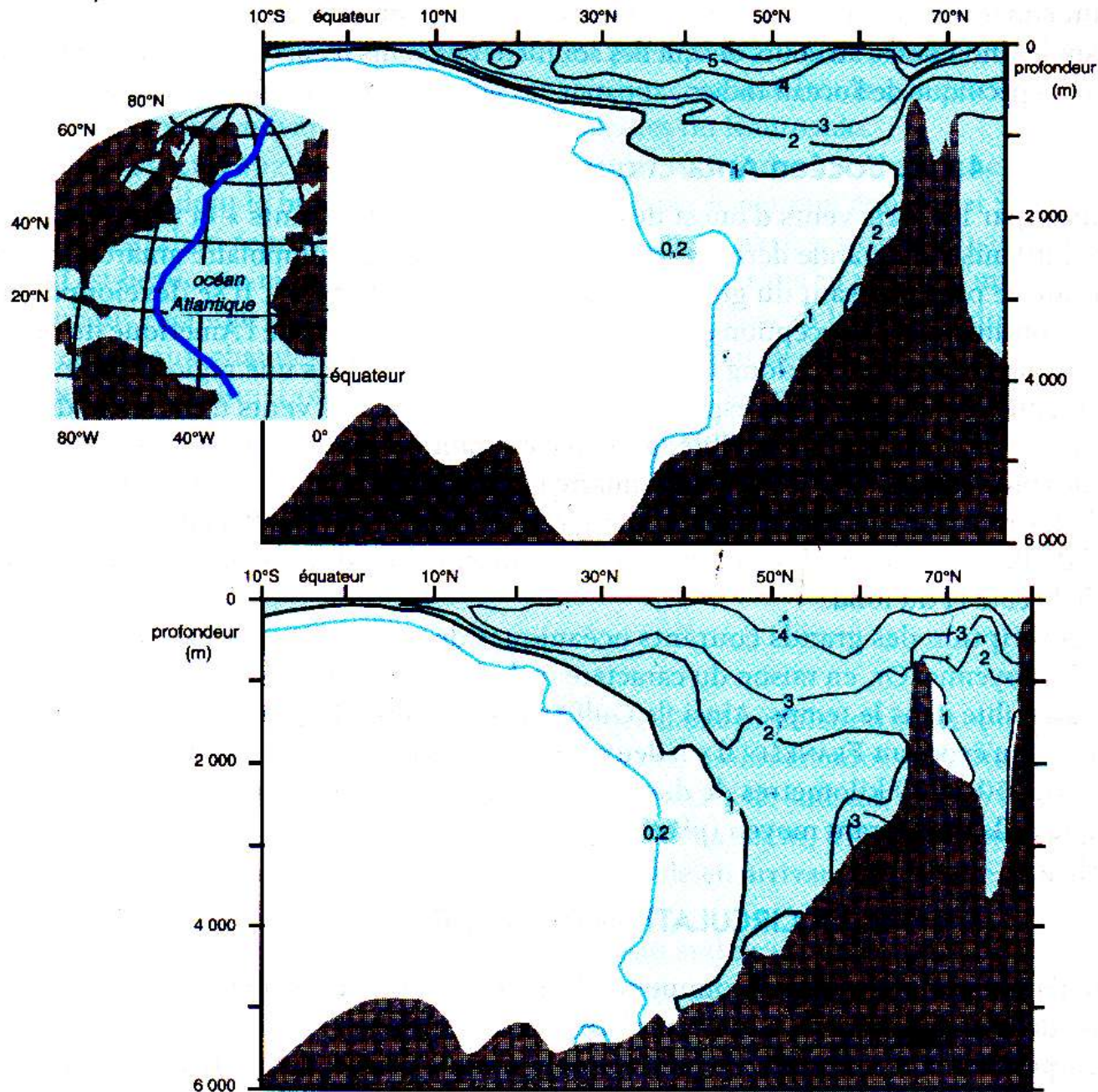


Carte des bosses et des creux de la surface de la mer créés par les grands courants océaniques (crédits CLS, Toulouse)

Circulation océanique profonde

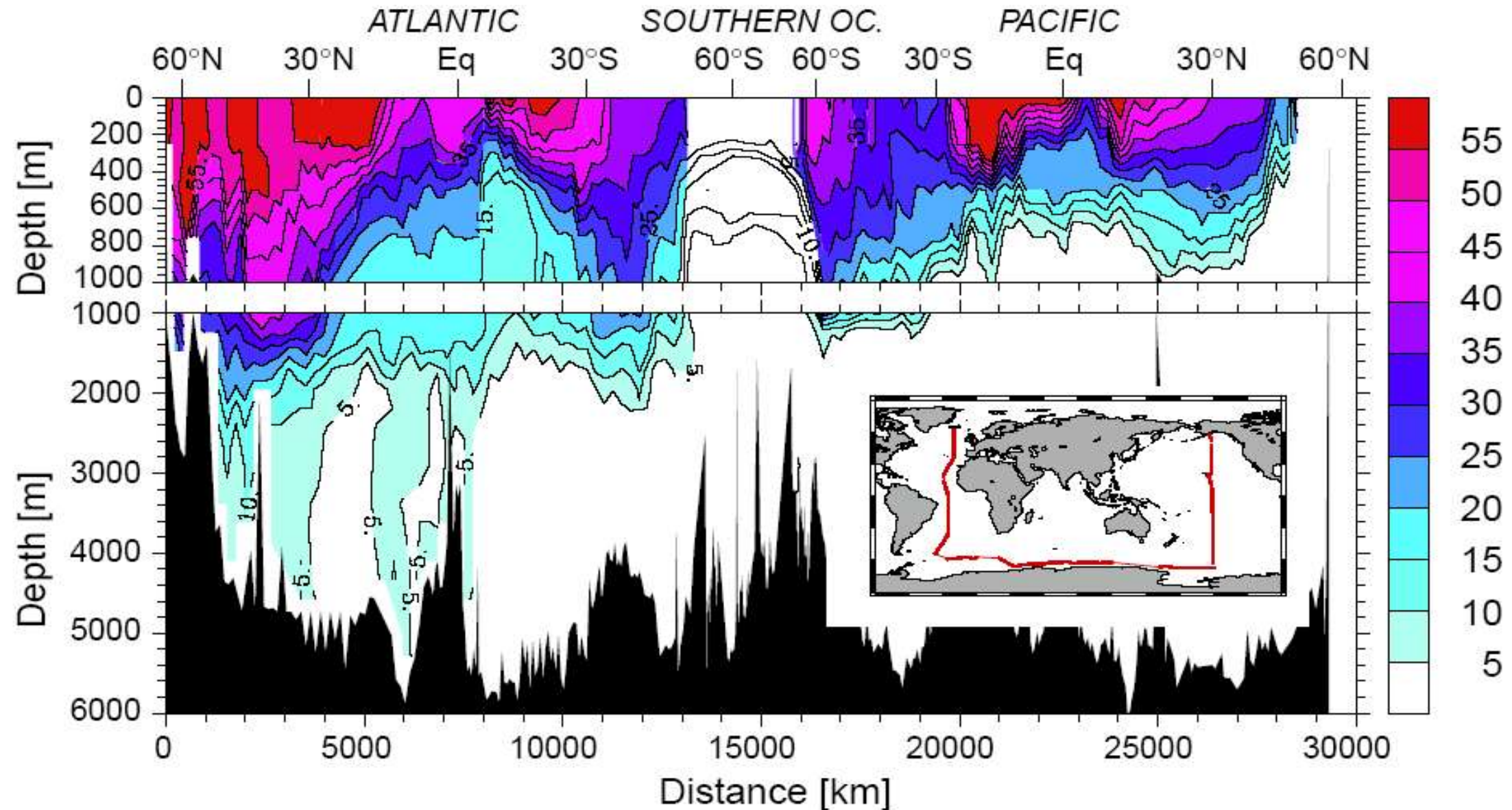


Circulation océanique profonde



Circulation océanique profonde

Pénétration du CO₂ anthropique dans l'océan



Bibliographie

- **Climat d'hier à demain**, Sylvie Joussaume, CNRS éditions/CEA, Paris, 2000. Un livre accessible et attrayant, présentant à la fois les caractéristiques principales du climat et leurs évolutions au cours du temps (périodes glaciaires...)
- **Le climat de la terre**, Robert Sadourny, Dominos/Flammarion, 1994. Un livre au format " poches " qui contient beaucoup d'informations et permet une bonne compréhension du climat terrestre. Ne comporte pas d'équation mais requiert une lecture attentive.
- **Océans et Atmosphère**, Chapel A., Fieux M., Jacques G., Jacques J.M., Laval K., Letreut H., Synapses-Hachette Education, 1996.
Un livre très complet, notamment destiné aux enseignants du secondaire.
- **La Physique de l'atmosphère**, J-L Dufresne, *in Graines de Sciences 4* , pp.59-94, Edition Le Pommier, 2002.
- **La Physique du climat**, J-L Dufresne, *in Graines de Sciences 2* , pp.77-100, Edition Le Pommier, Paris, 2000.

Sites web

- <http://www.educnet.education.fr/meteo/default.htm> Météorologie et enseignement, pour une pédagogie par la météorologie, site Educnet du Ministère de l'Éducation Nationale
- <http://Galileo.CyberScol.qc.ca/InterMet/accueil.html>, InterMet (Canada), et notamment ses ressources éducatives.
- <http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre> Site Planet-Terre
- <http://www.cnrs.fr/dossiers/dosclim/index.htm>, dossier climat du site du CNRS