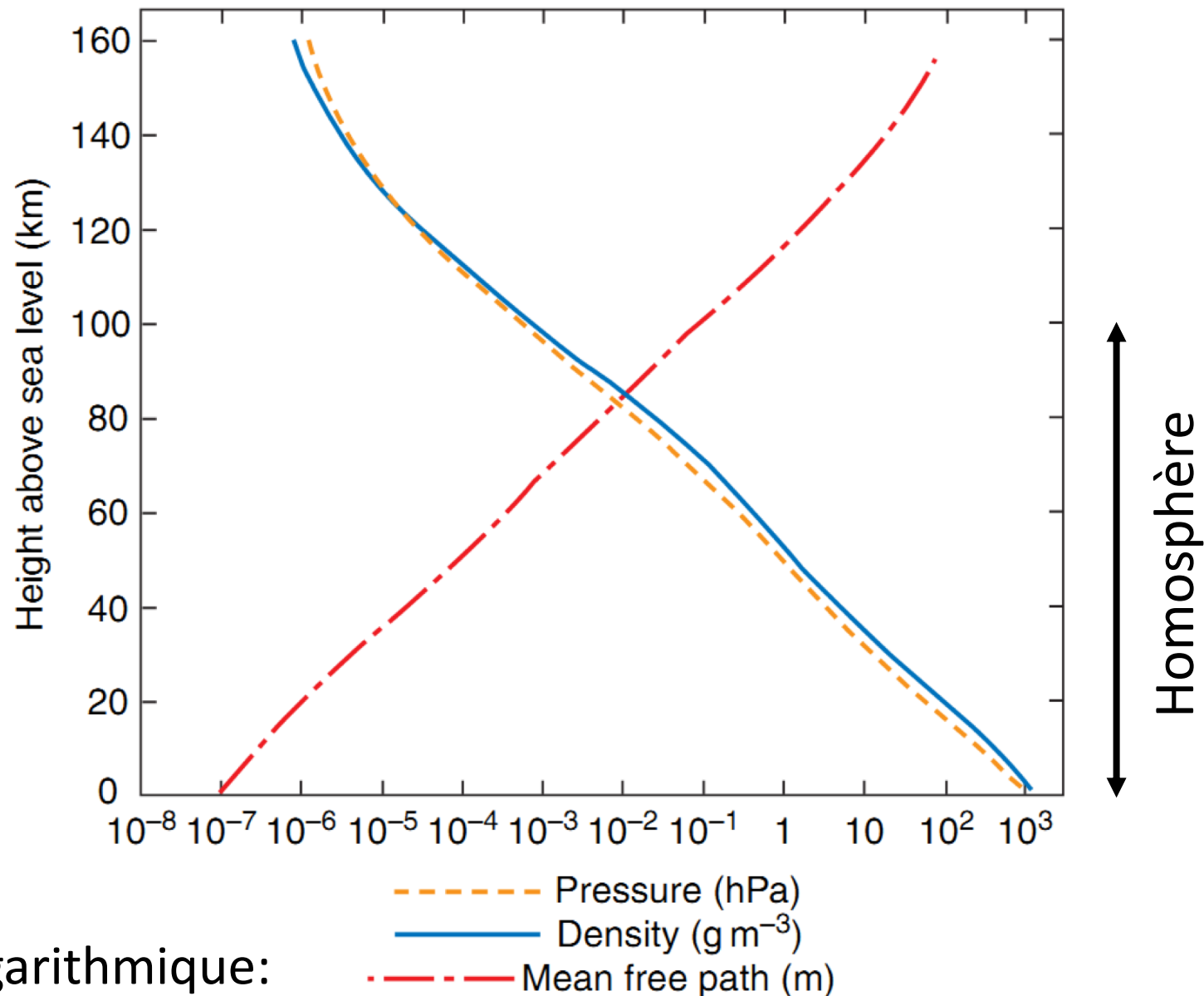


Composition de l'atmosphère

Absorbants IR		N ₂	Azote	78 %		Absorbant UV (proche)
		O ₂	Oxygène	21 %		
		A	Argon	0,93 %		
		H ₂ O	Vapeur d'eau	0-3 %		
		CO ₂	Dioxyde de carbone	0,033 %		
		O ₃	Ozone	10 ⁻⁶ %		
		CH ₄	Méthane	0.0002%		

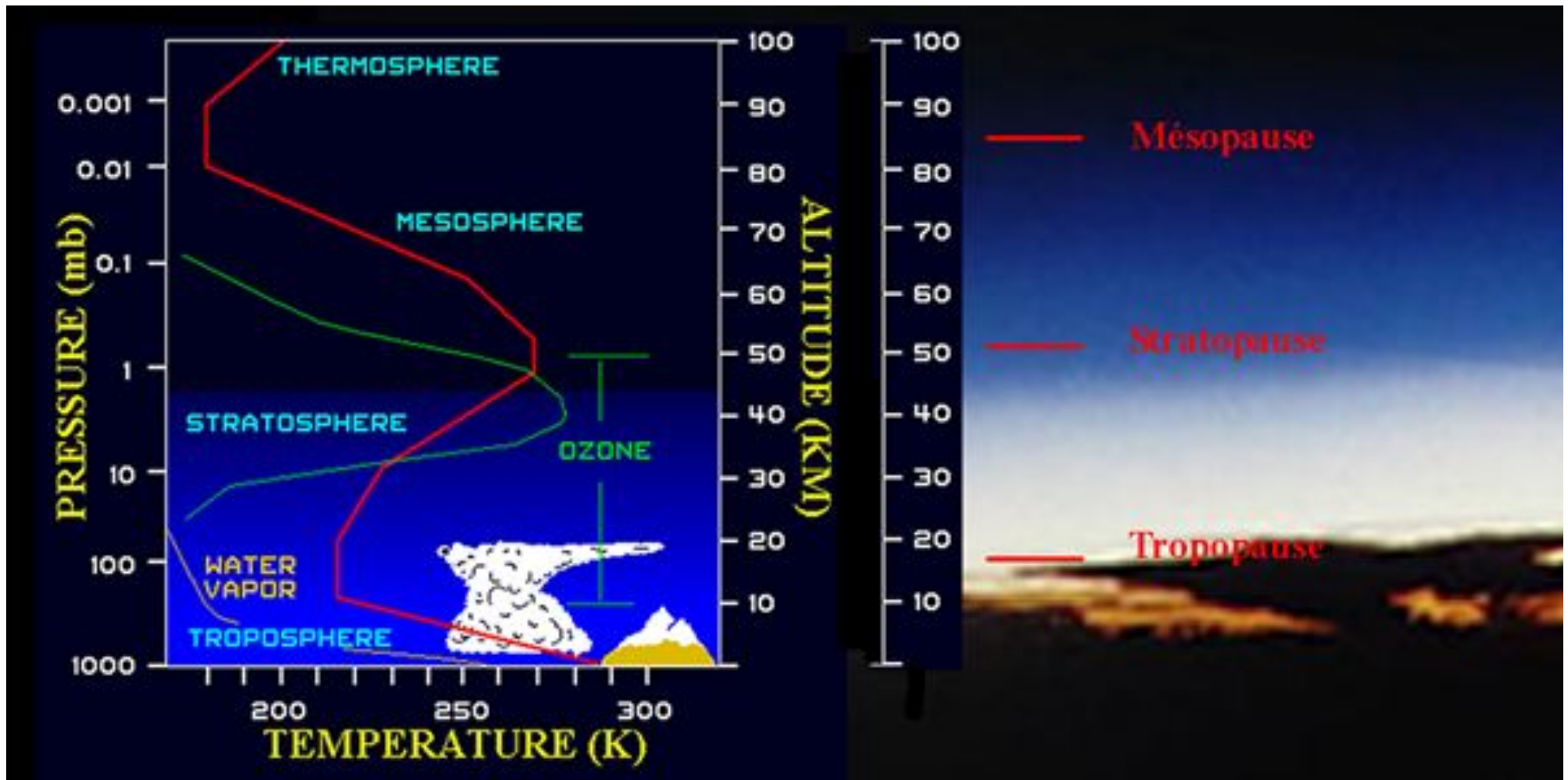
Structure Verticale: pression, densité



Échelle x logarithmique:

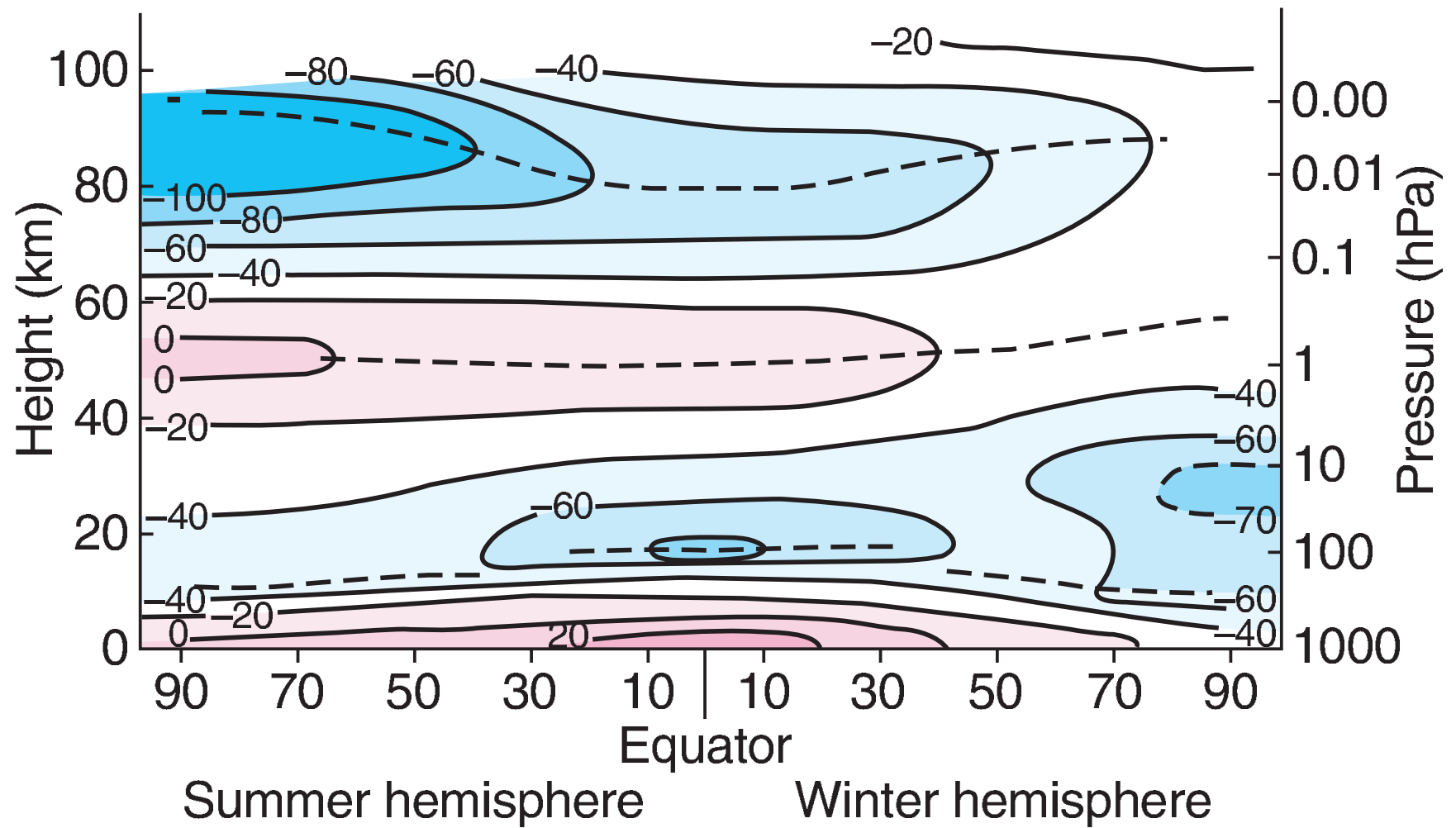
➤ Décroissance exponentielle

Température: profil vertical



- Séparation en couches:
- troposphère (T décroît, 10-15 km)
- Stratosphère (T augmente, 50 km)...

Température: structure en latitude

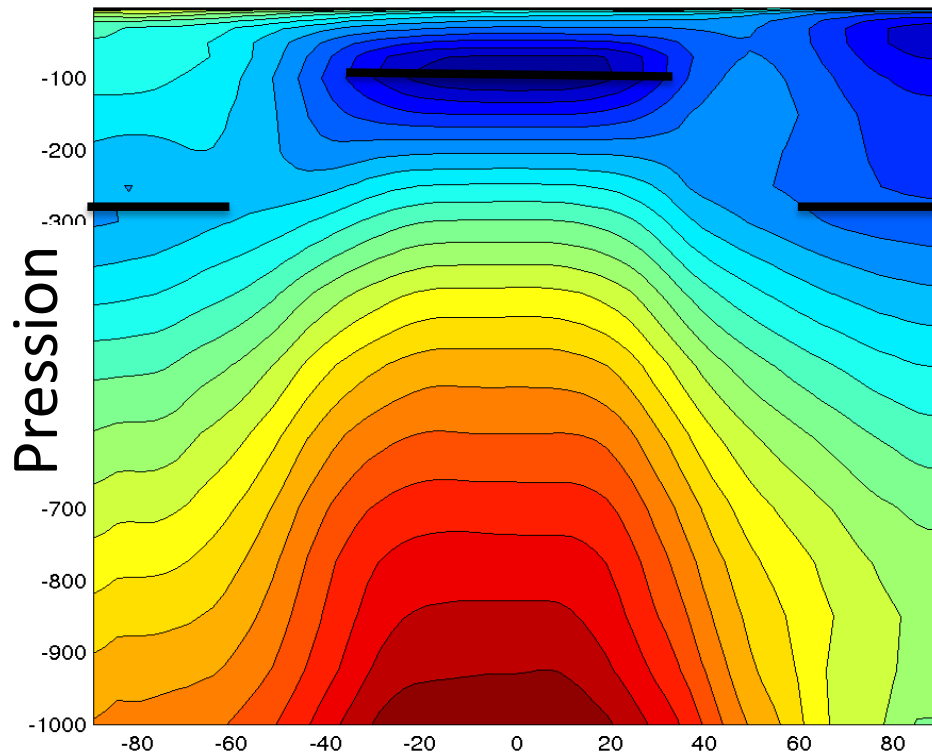


Température: structure en latitude

Coordonnée verticale pression: focus sur la troposphère

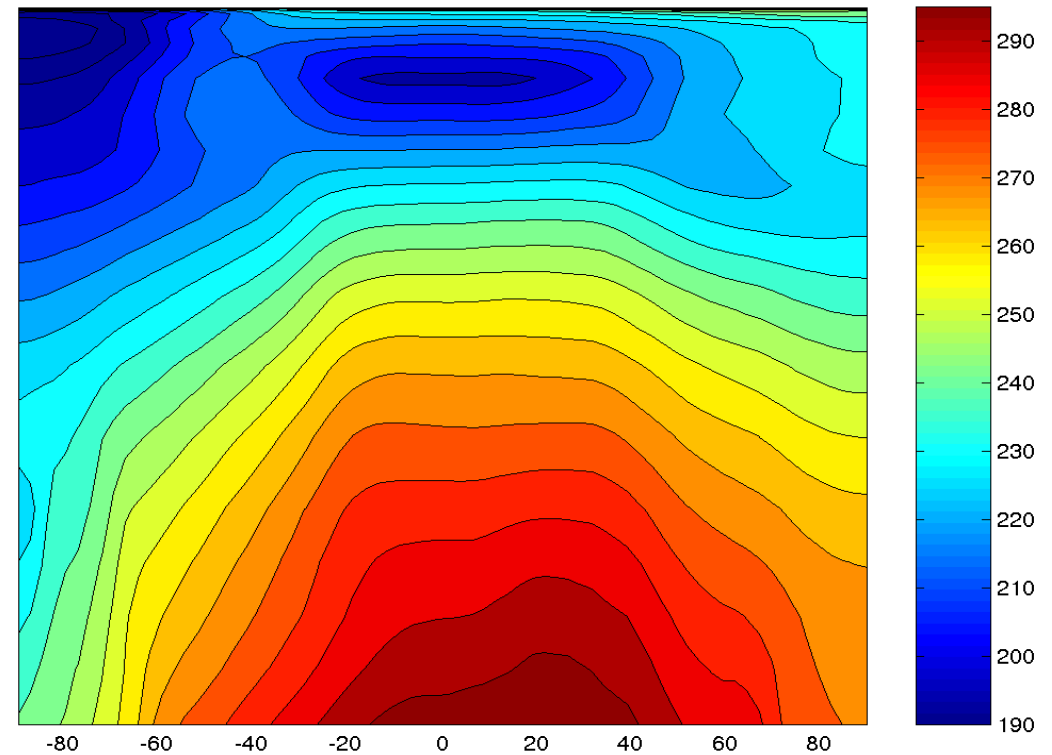
— = tropopause

Janvier



latitude

Juillet

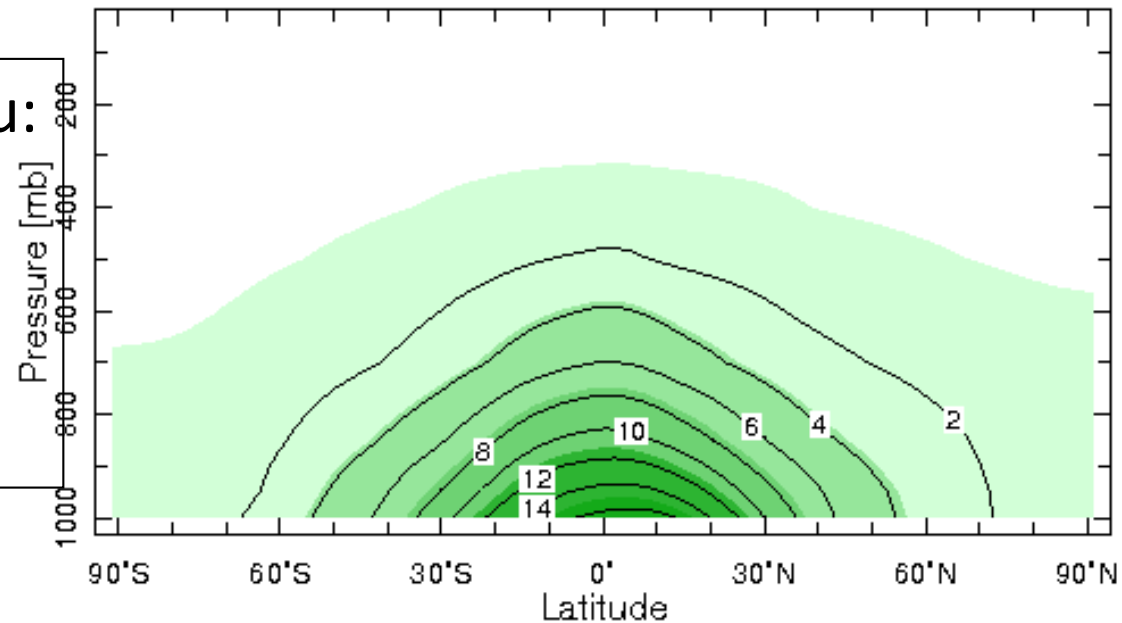


latitude

Contenu en vapeur d'eau:

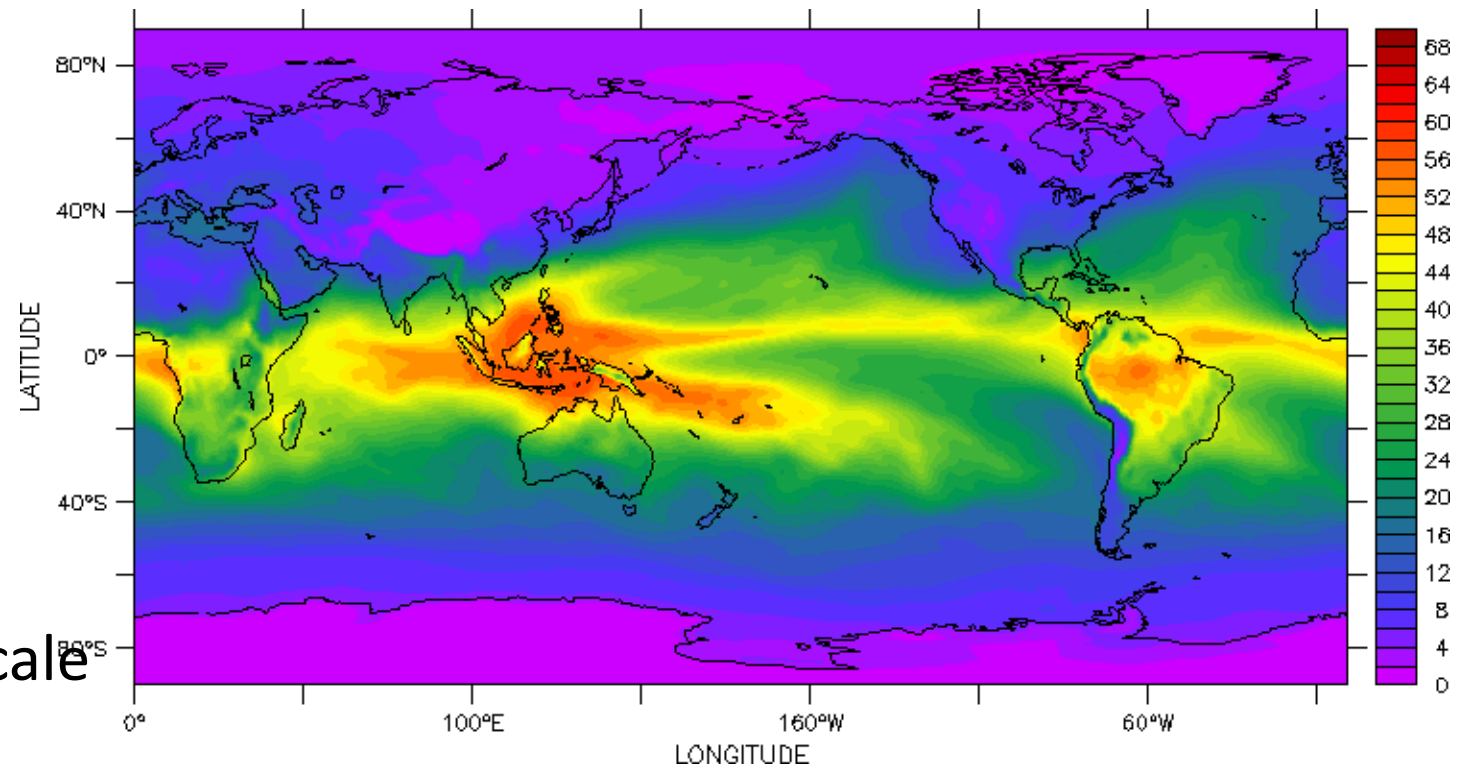
Structure verticale

(g/kg)



Vapeur d'eau

Intégrée sur verticale

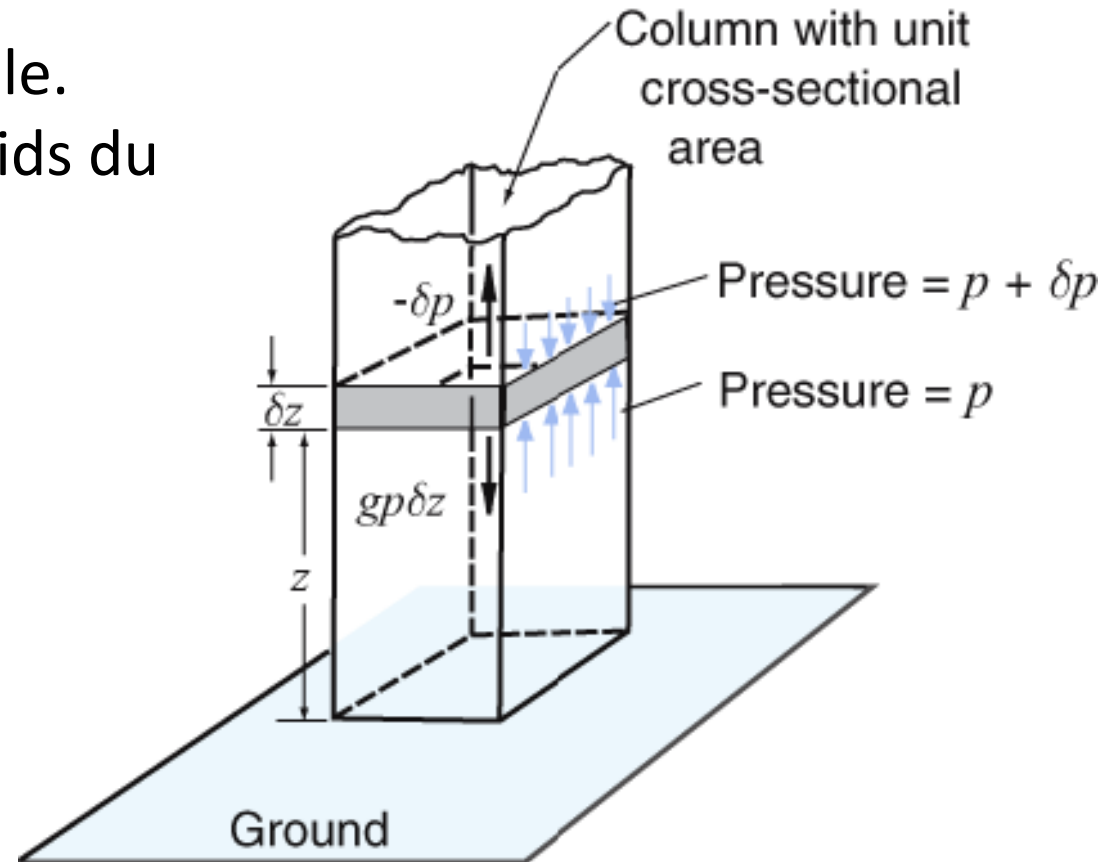


Équilibre hydrostatique

Bilan des forces sur la verticale.

Au repos : équilibre entre poids du fluide et forces de pression

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$$



- Pression = poids de la colonne de fluide au dessus
- La pression augmente vers le bas

Départ de l'équilibre : flottabilité

Parcelle de densité ρ_p dans environnement à ρ_e .

Accélération verticale (somme des forces) :

$$\rho_p \frac{dw}{dt} = -\rho_p g - \frac{\partial p}{\partial z}$$

Si l'environnement est en équilibre hydrostatique, $\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho_e g$
(« poussée d'Archimède ») et

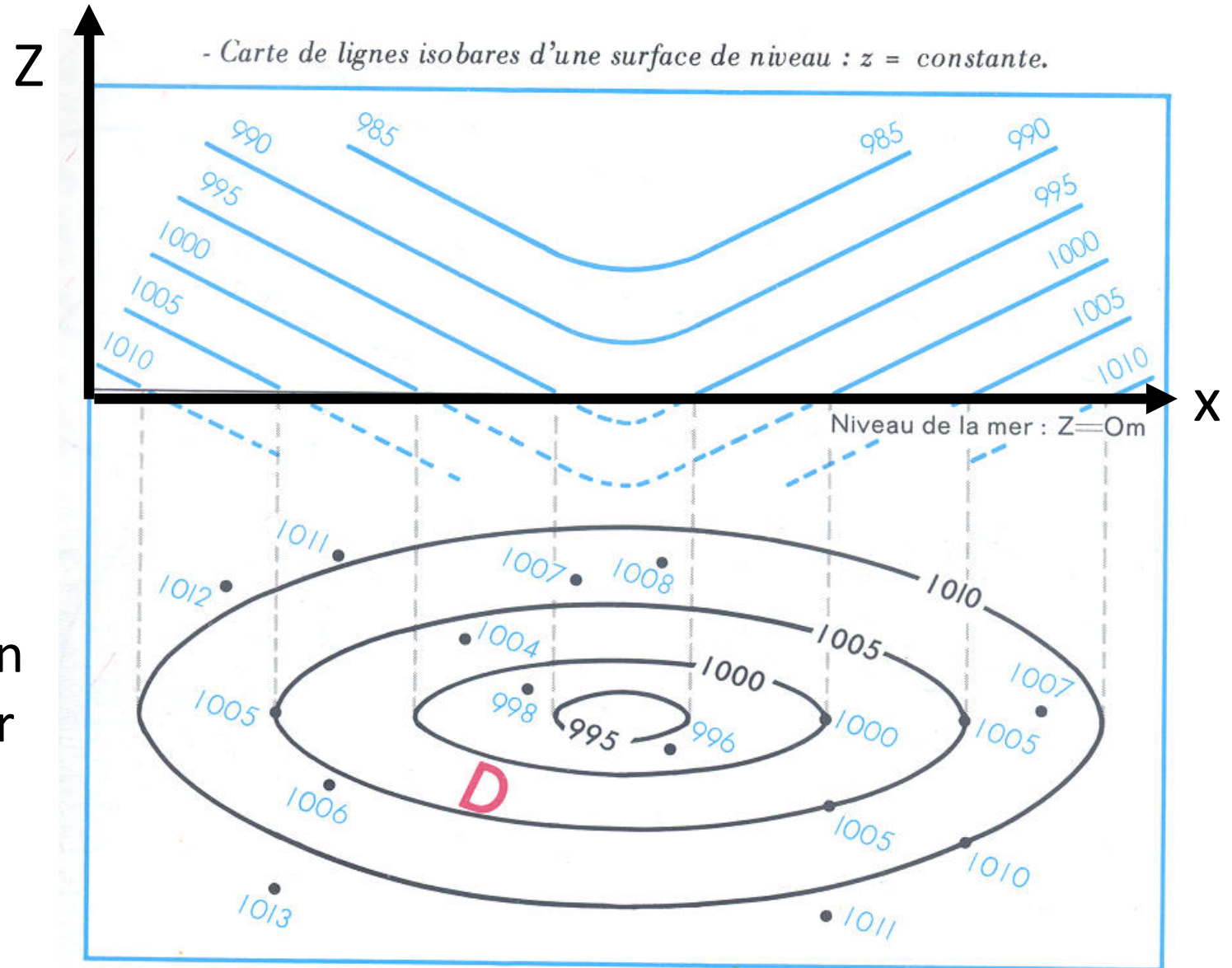
$$\frac{dw}{dt} = -g \frac{\rho_p - \rho_e}{\rho_p}$$

- Parcelle plus dense que son environnement accélérée vers le bas
- En général, la densité diminue vers le haut (sinon instable)

Construction d'une carte de pression

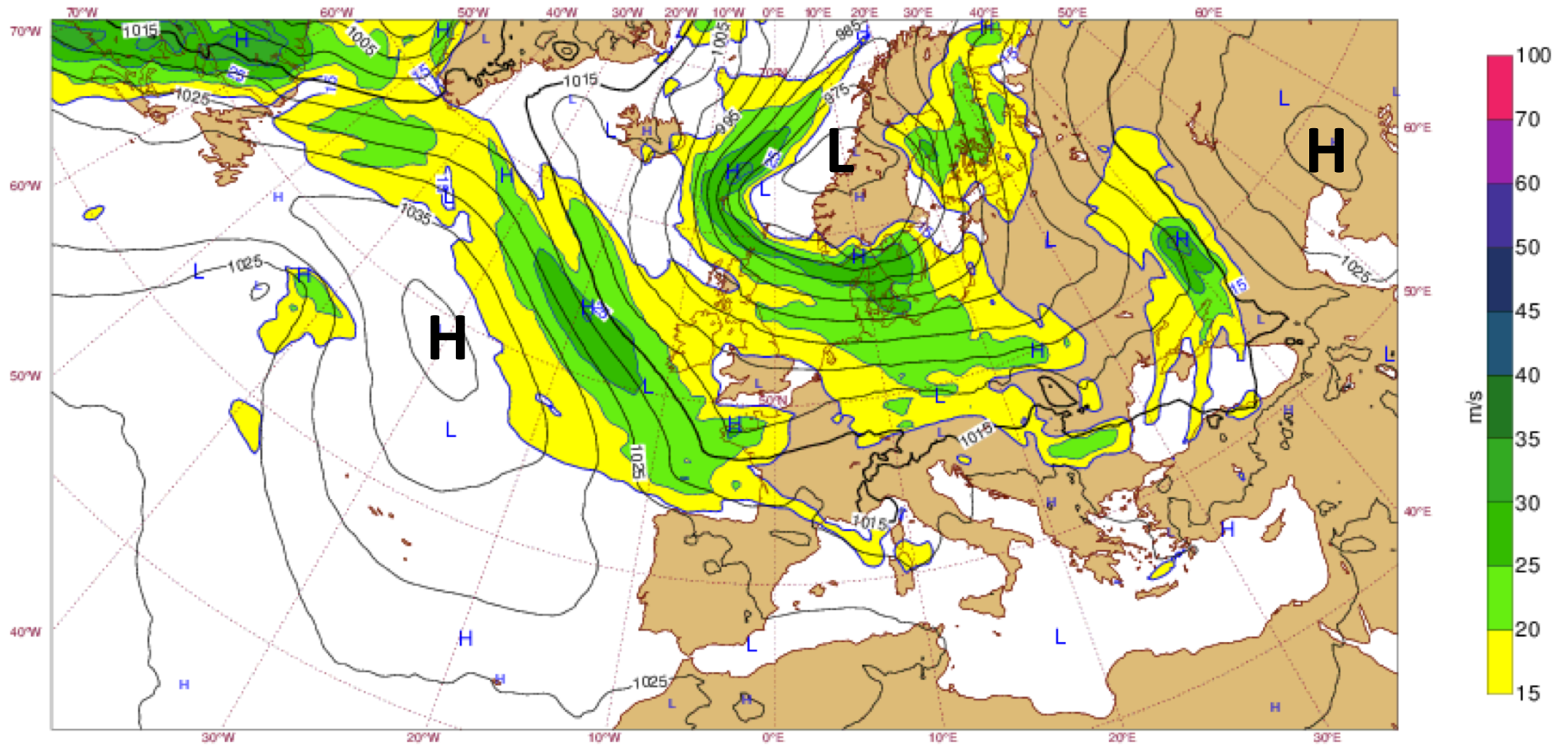
Surface isobares
(coupe)

Carte de pression
niveau de la mer
($z=0$)



Pression au niveau de la mer : 12 Jan 2017

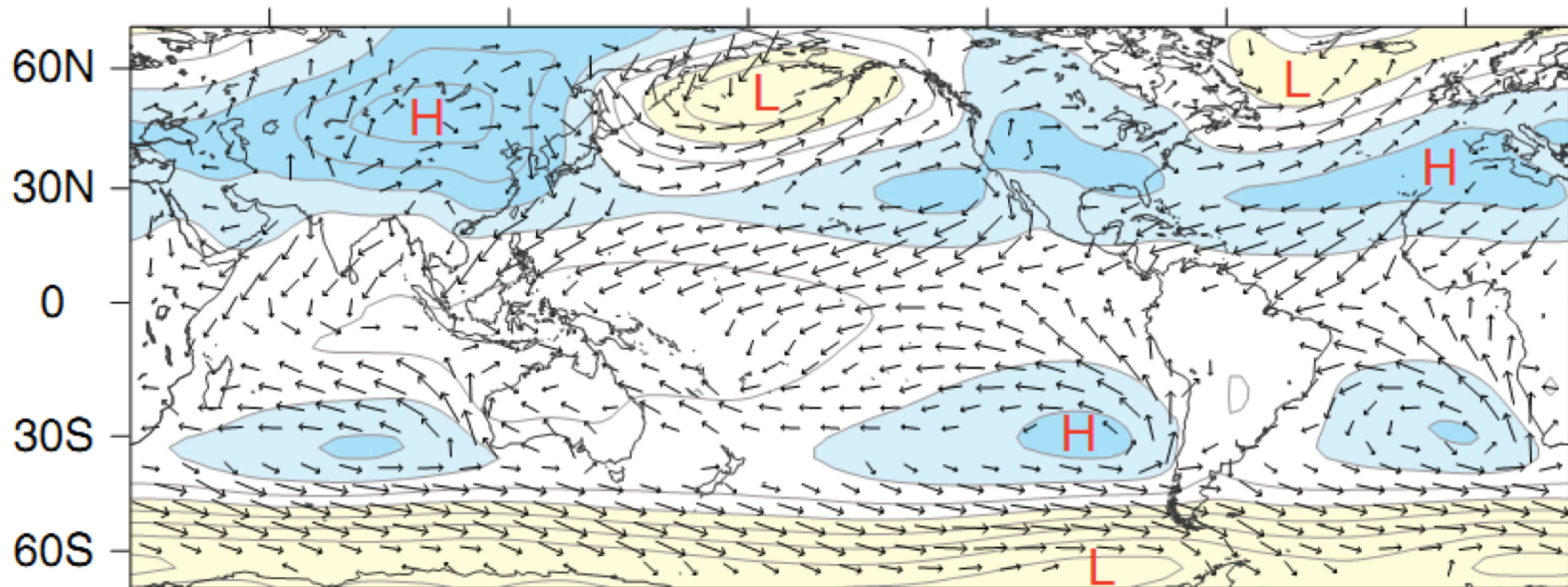
Monday 09 January 2017 1200 UTC ECMWF t+72 VT: Thursday 12 January 2017 1200 UTC
Surface: Mean sea level pressure / 850hPa wind speed



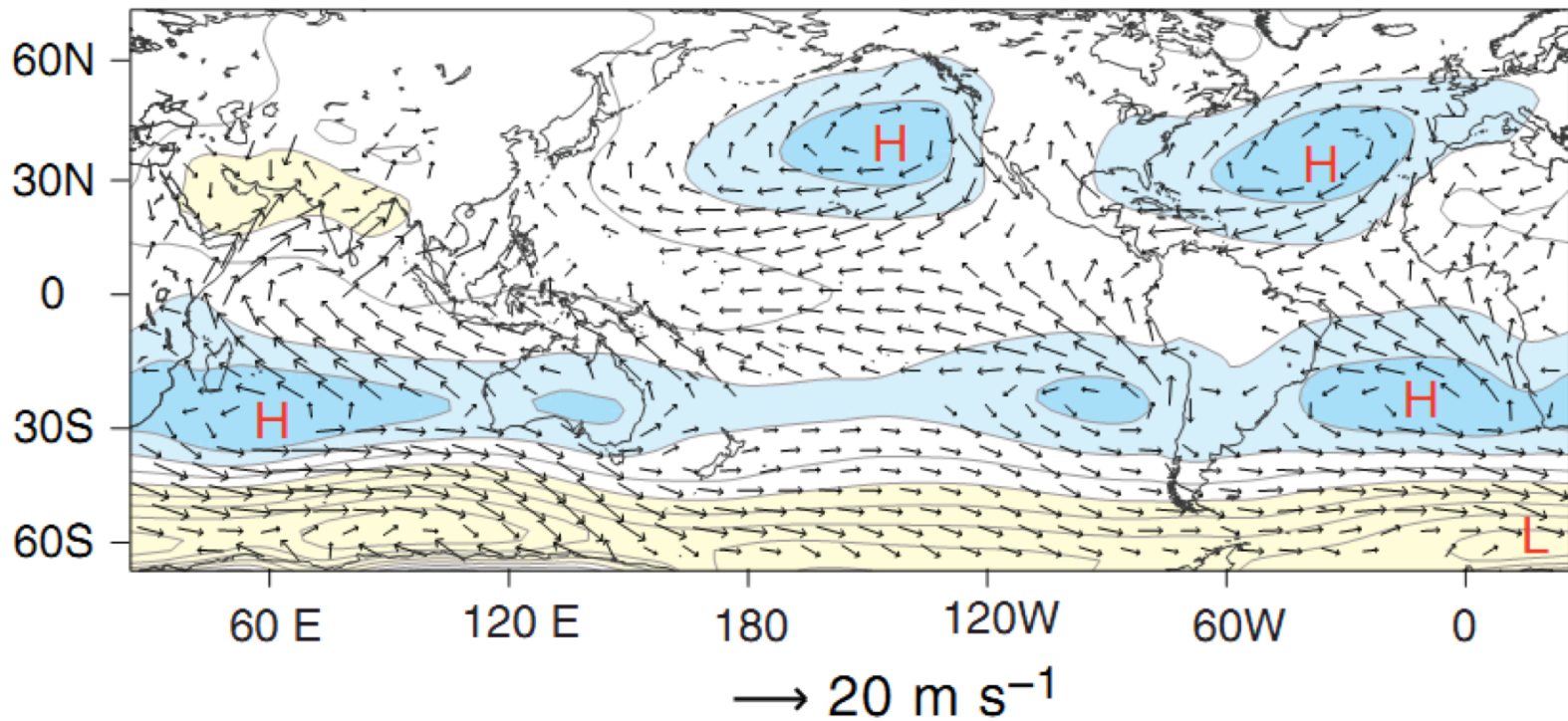
Contours 5 hPa

Pression au niveau de la mer : moyenne

DJF



JJA



Équation d'état : loi des gaz parfaits

Équation d'état : ρ en fonction de T , P

$$\frac{p}{\rho} = R_a T$$

P = pression

ρ = densité

T = température (en K!)

$R_a = 287 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ « constante de l'air sec ». $R_a = R/M$

- Air plus chaud est moins dense (à la même pression...)
- Équation utilisée *seulement pour trouver la densité*

Profil de pression : atmosphère isotherme

N remplace la densité dans l'équilibre hydrostatique :

$$\frac{\partial p}{\partial z} = - \frac{gp}{R_a T}$$

On intègre avec $T = \text{cste}$:

$$P(z) = P_0 e^{-\frac{gz}{RT}}$$

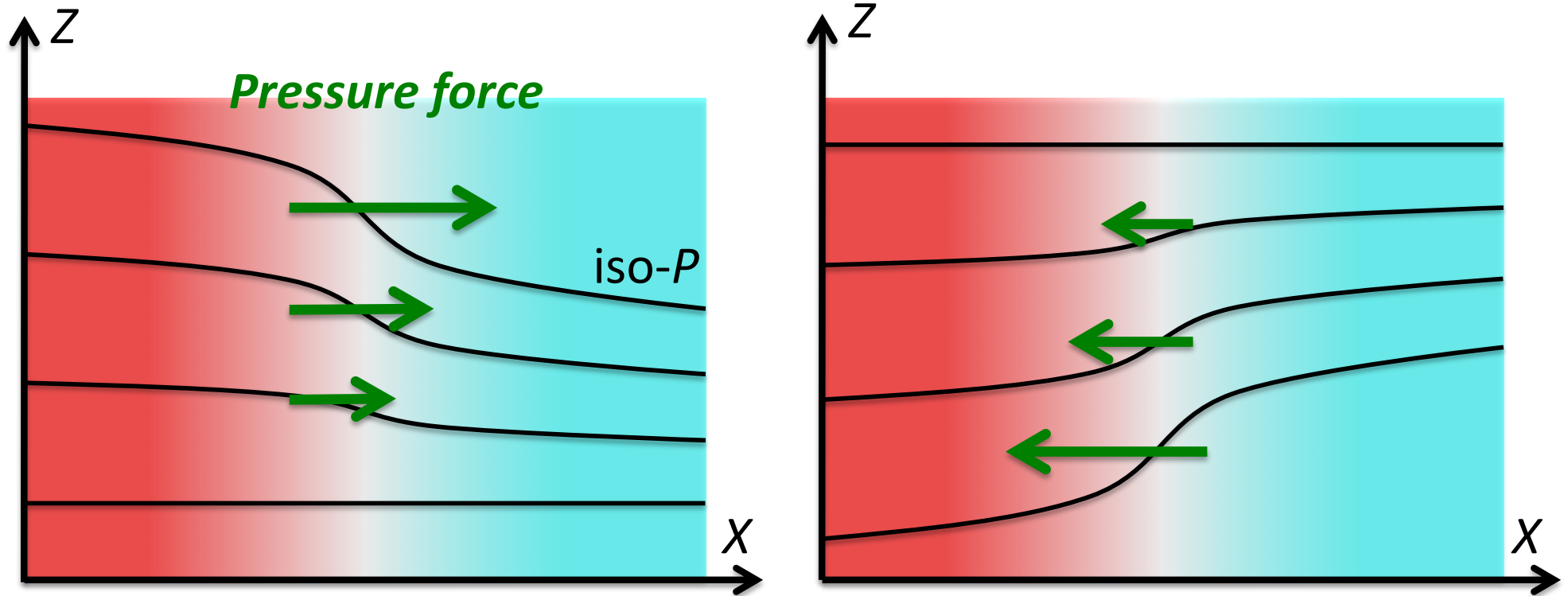
$$\text{Hauteur d'échelle : } H = \frac{RT}{g} \sim 8 \text{ km}$$

- On peut utiliser cette formule avec T la température moyennée verticalement
- La pression décroît plus vite si l'air est froid (plus dense)

Impact des variations de température

Épaisseur entre 2 niveaux de pression (équation hypsométrique)

$$Z_2 - Z_1 = \frac{R \bar{T}}{g} \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

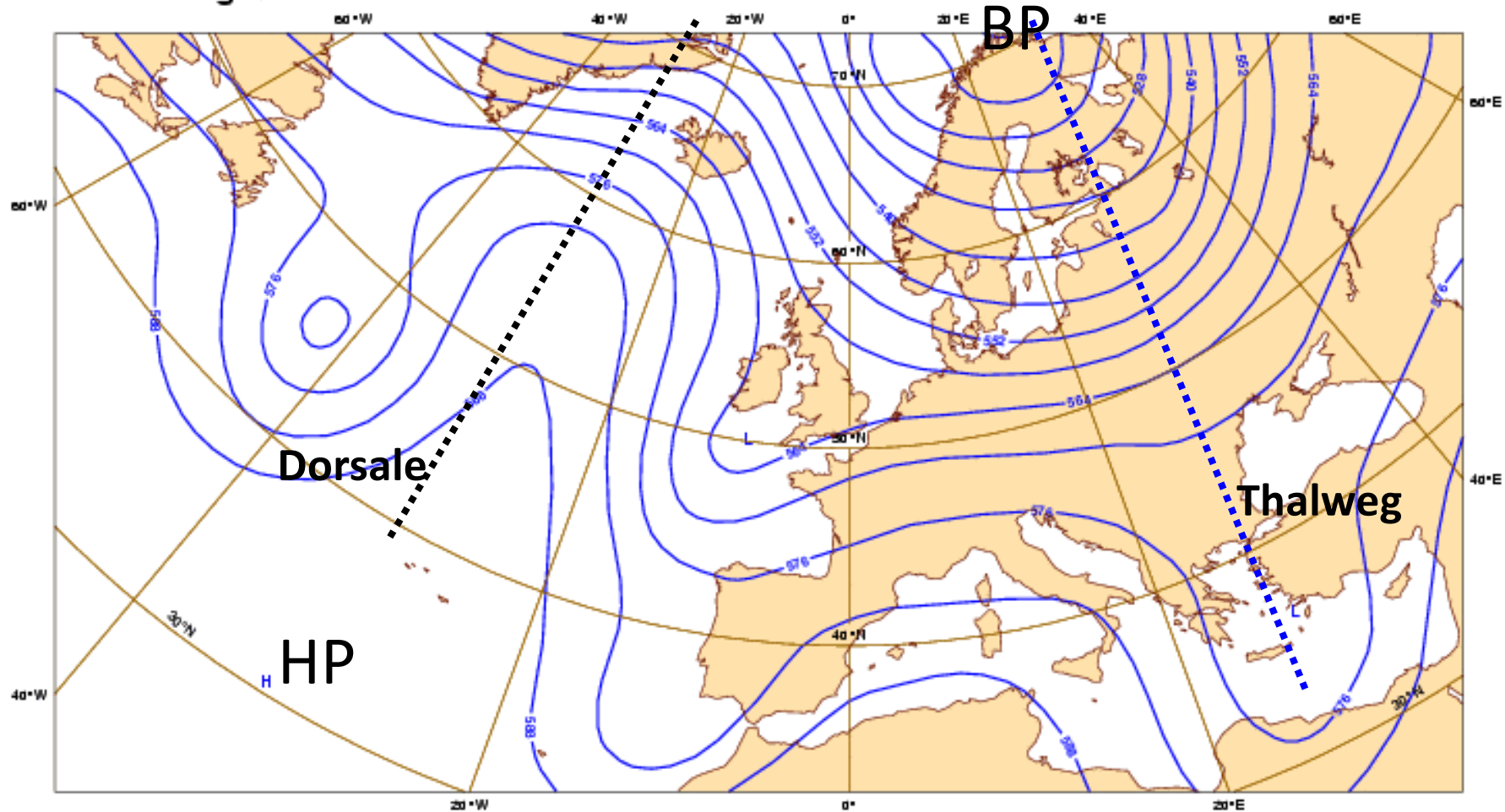


- Entre 2 niveaux de pression : toujours la même masse
- Air chaud : moins dense donc épaisseur plus grande
- La température ne donne pas la pression, mais ses variations verticales

Altitude de la surface 500hPa (isohypse)

Note : altitude faible = basse pression

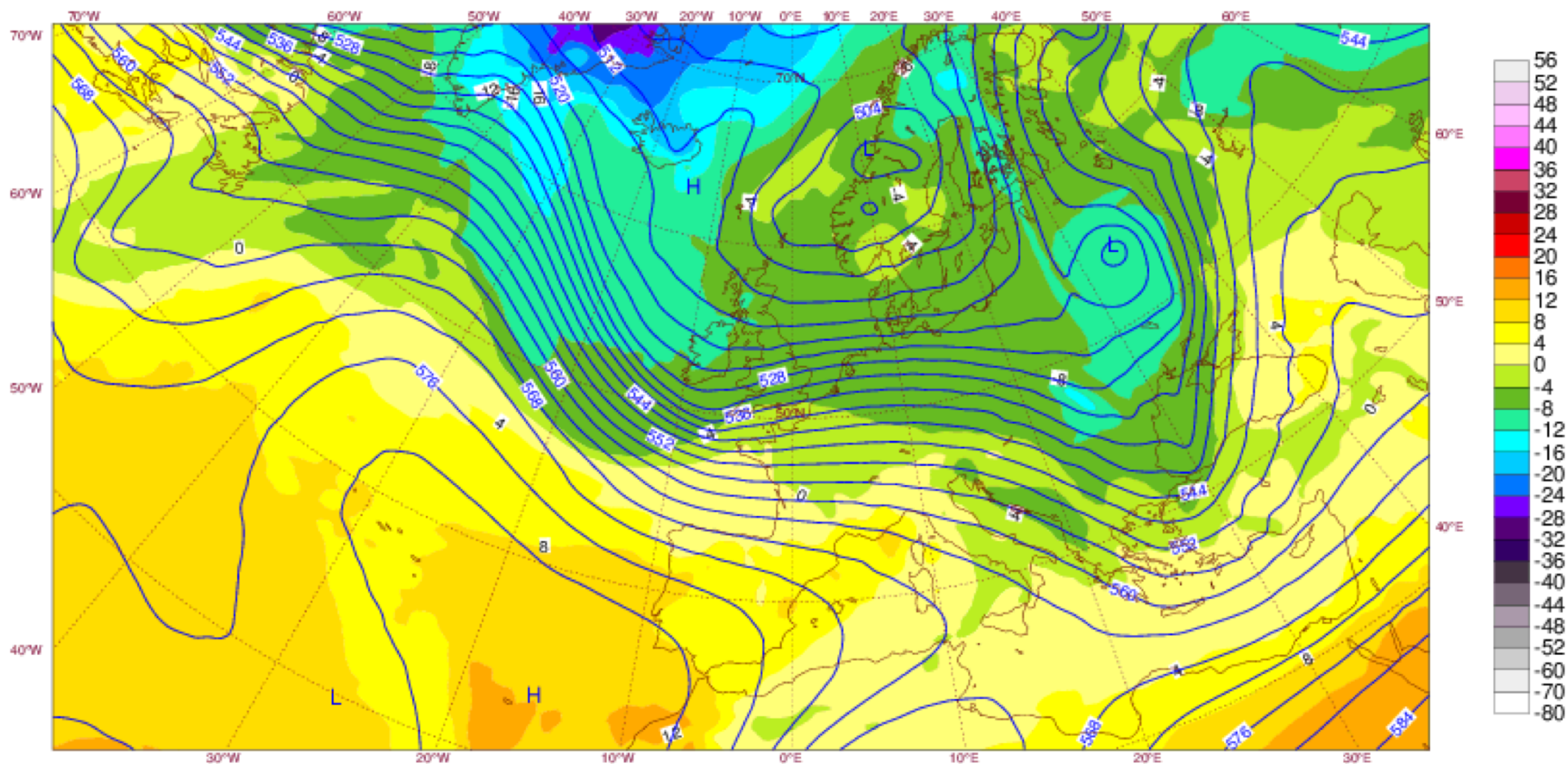
Tuesday 13 September 2005 12UTC ©ECMWF Forecast t+072 VT: Friday 16 September 2005 12UTC
500 hPa Height



Contours 40 m

Altitude à 500 hPa et température à 850-hPa: Jan 12th 2017

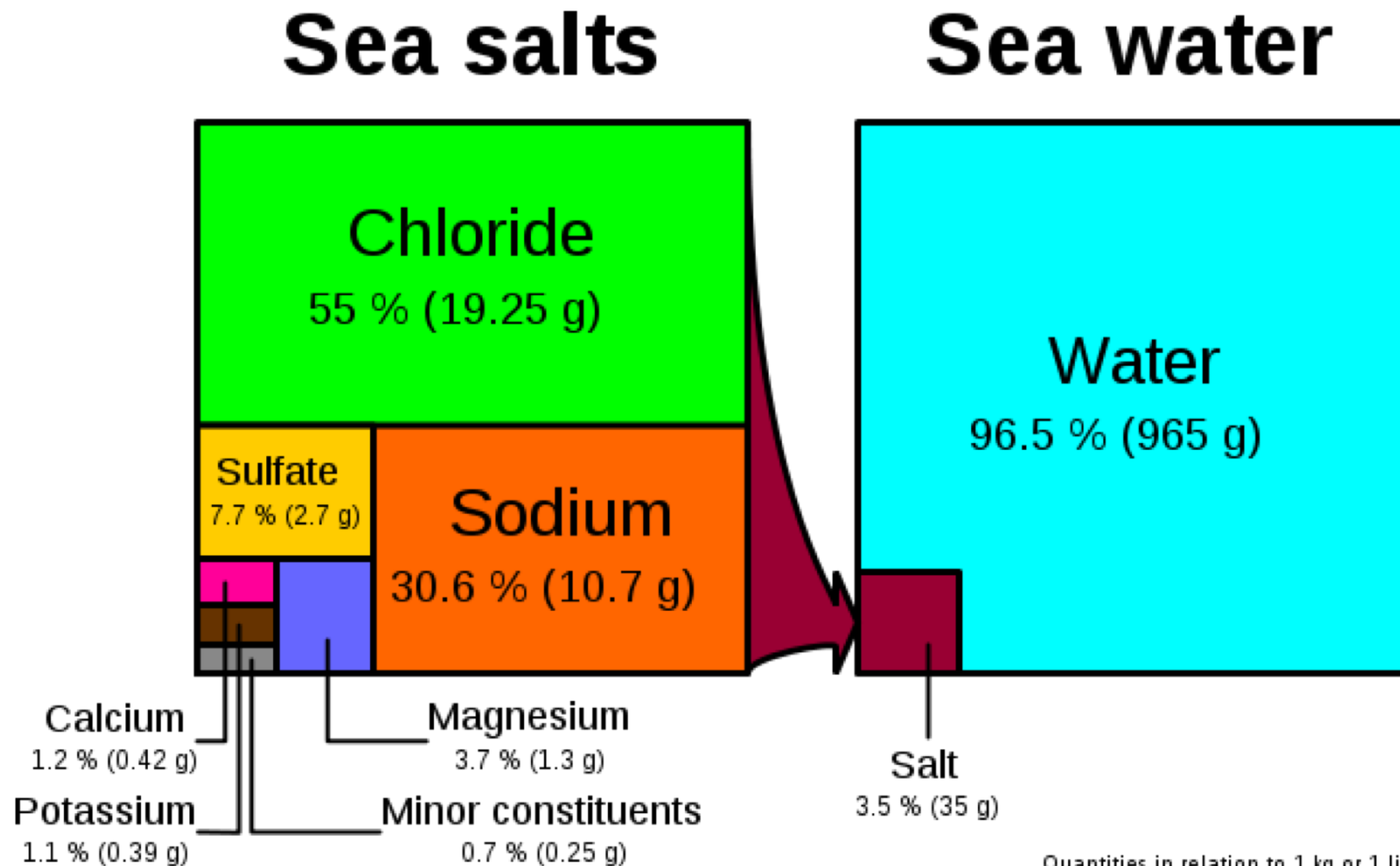
Monday 09 January 2017 1200 UTC ECMWF t+72 VT: Thursday 12 January 2017 1200 UTC
850 hPa Temperature/500 hPa Geopotential



➤ Air froid coïncide avec altitude plus faible au dessus

Composition de l'eau de mer

- Salinité (définie en P.S.U.)
- Gaz dissous (O_2 , CO_2 ...)
- Autre : Fer...



Quantities in relation to 1 kg or 1 litre of sea water.

Océan: équation d'état non-linéaire...

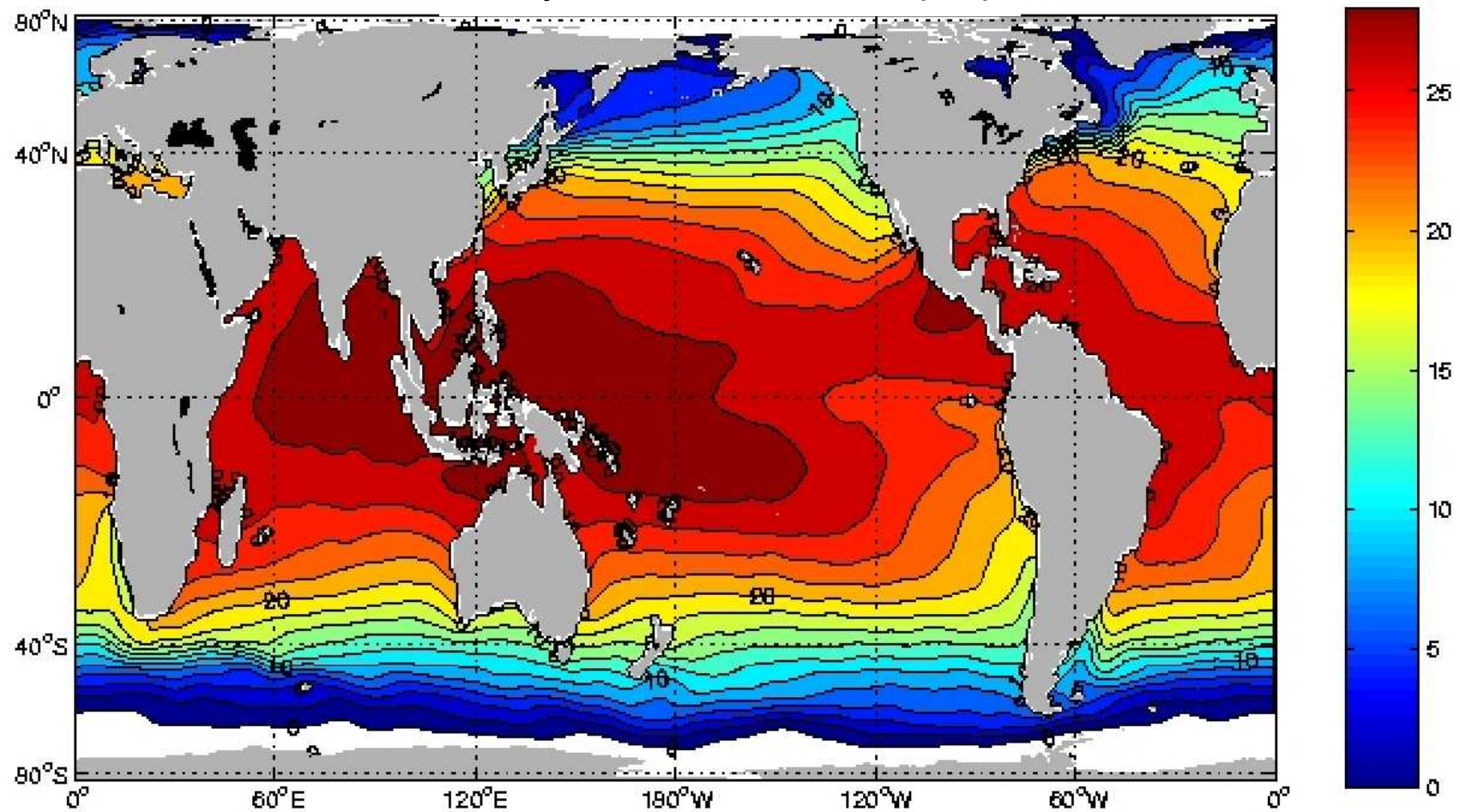
$$\rho = \rho_{\text{ref}} + \sigma(T, S, p)$$

$$\begin{aligned} \sigma = \sigma_0 & \\ & + \rho_{\text{ref}} [\beta_S(S - S_0) - \beta_T(T - T_0) \\ & + \beta_p(p - p_0)] \end{aligned}$$

- Faibles variations relatives (qq ‰)
- Dépendance en p très faible, sauf grande profondeur
- Densité augmente avec S , diminue avec T

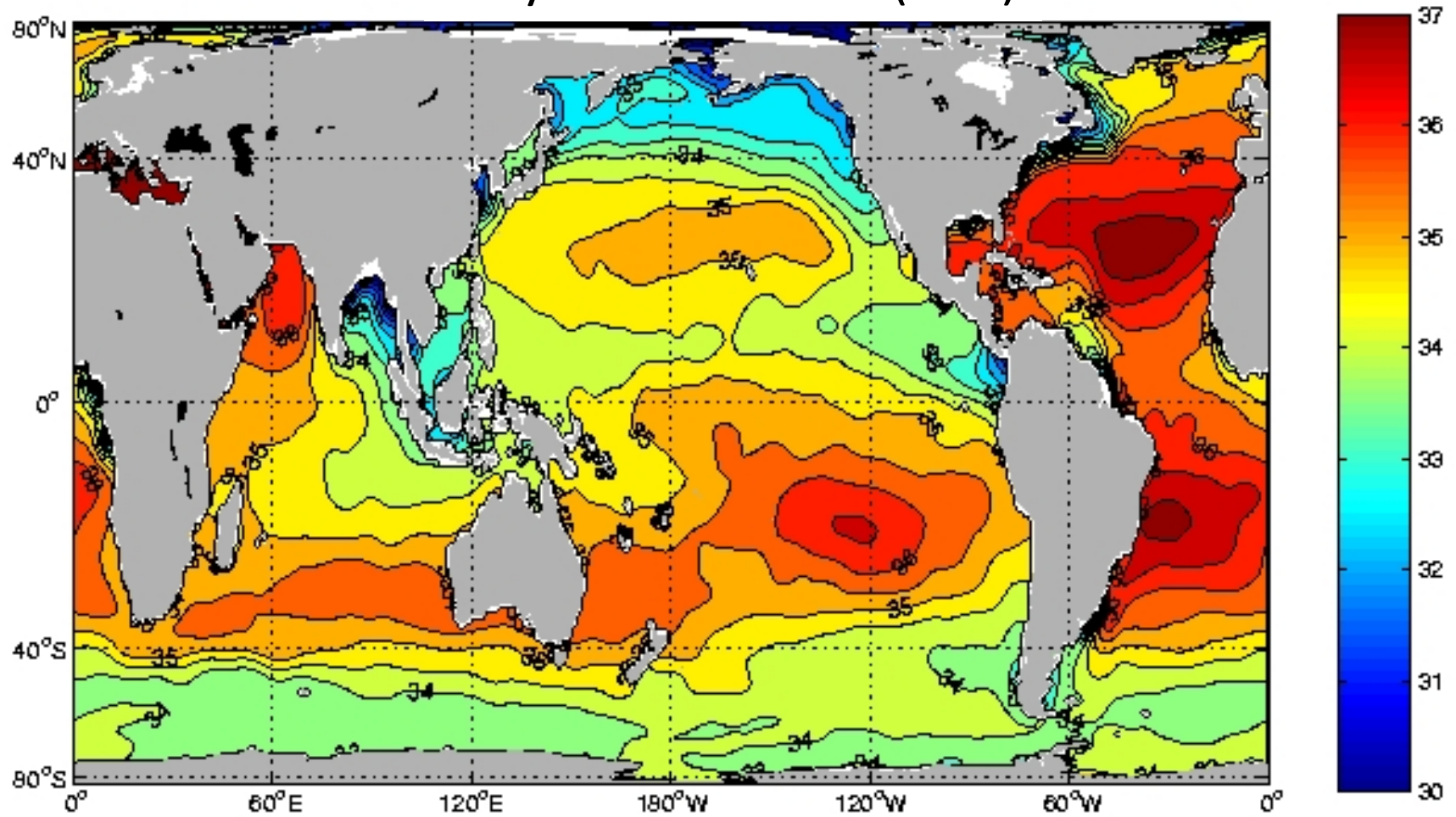
Température de surface de l'océan

Moyenne annuelle (°C)

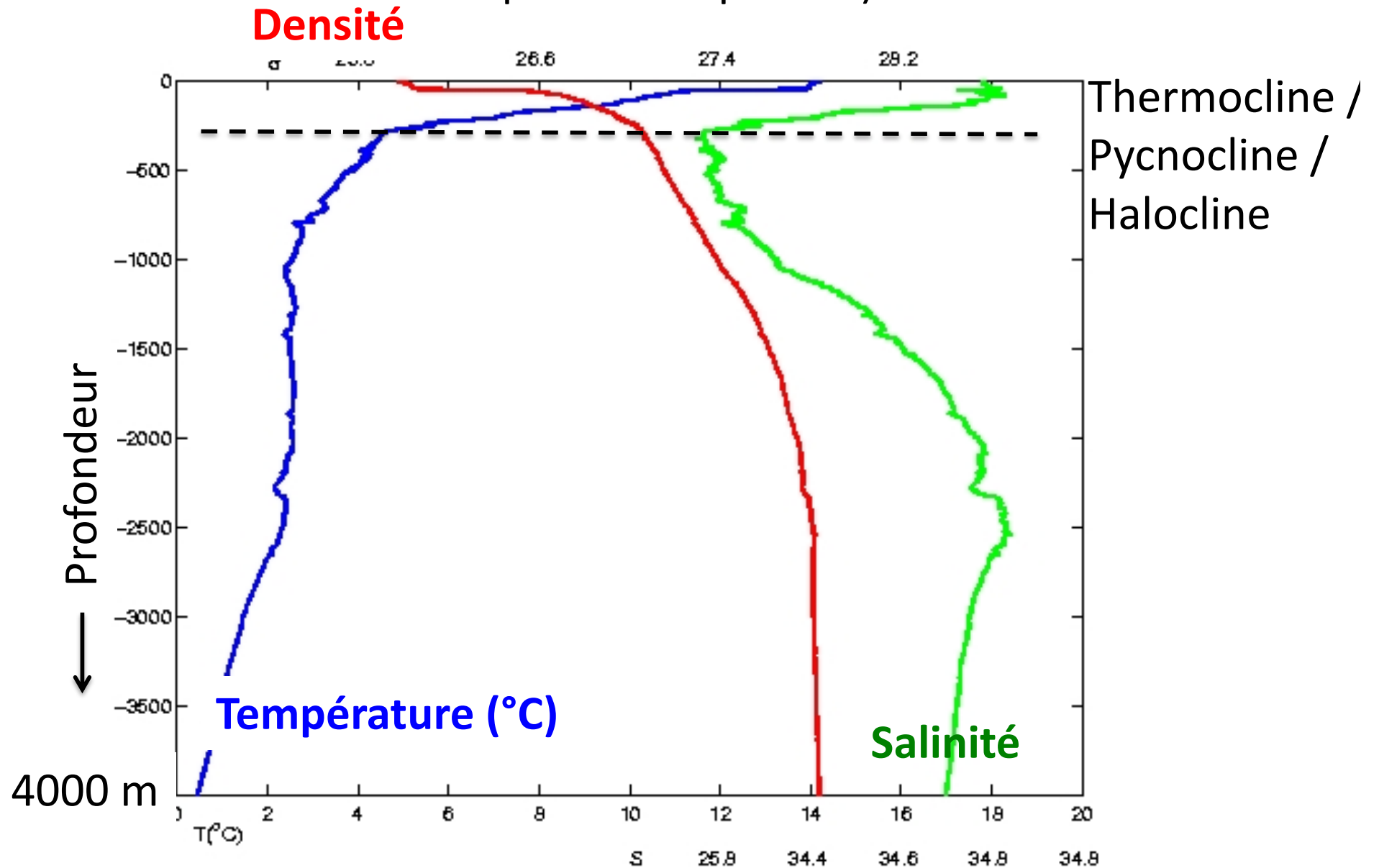


Salinité de surface de l'océan

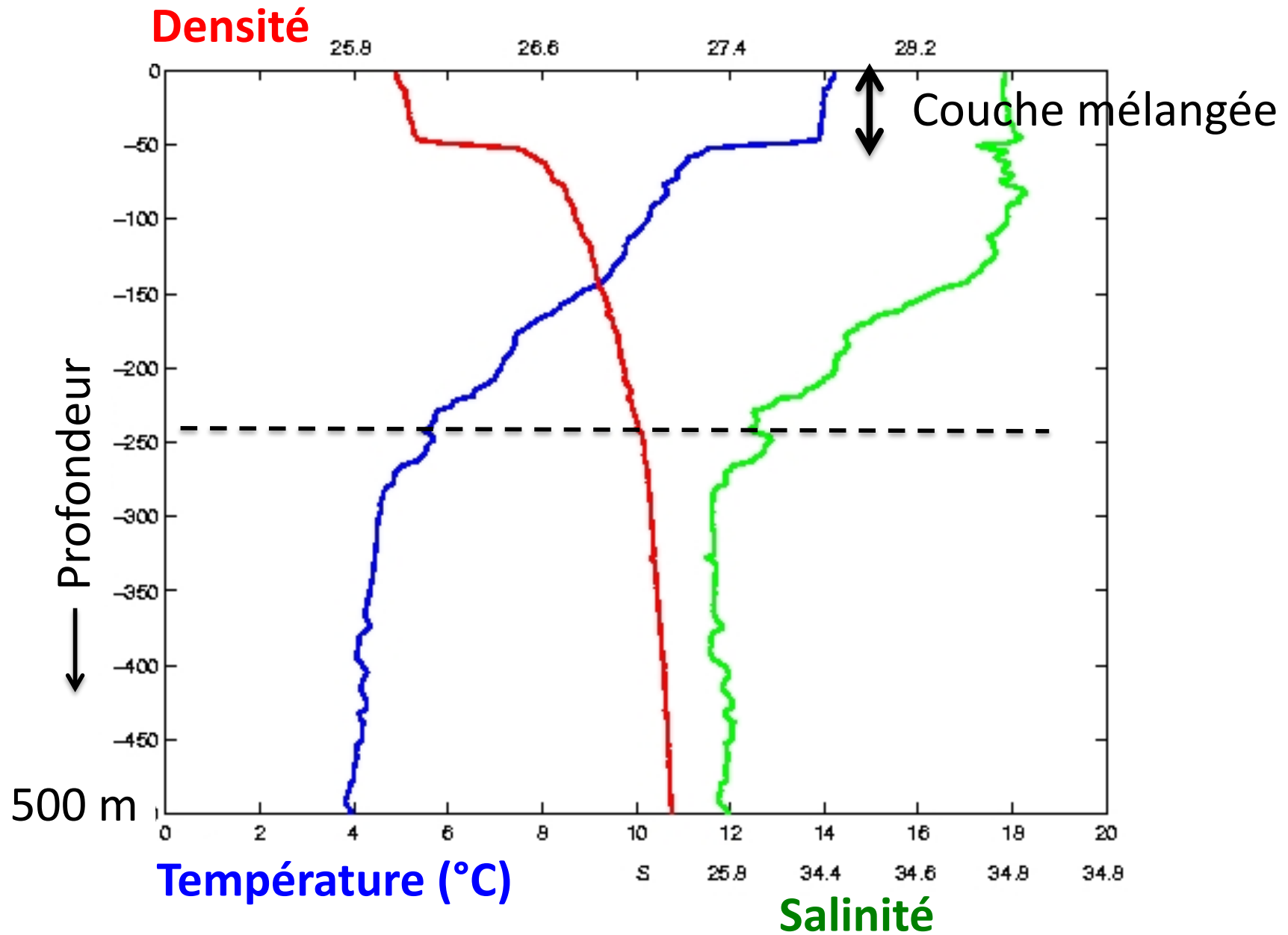
Moyenne annuelle (PSU)



Océan: profil vertical (exemple Atlantique sud)

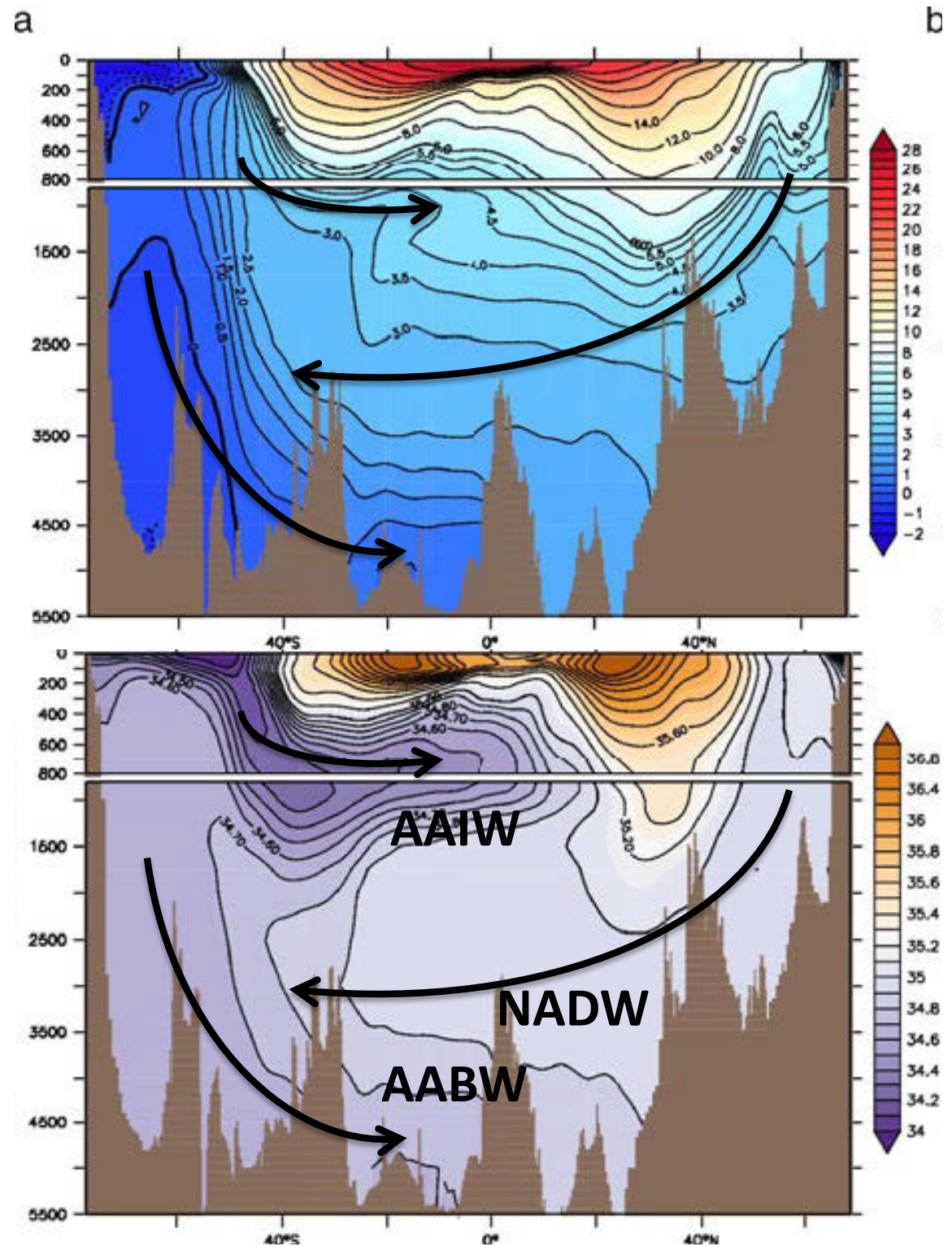


Océan: profil vertical (zoom surface)

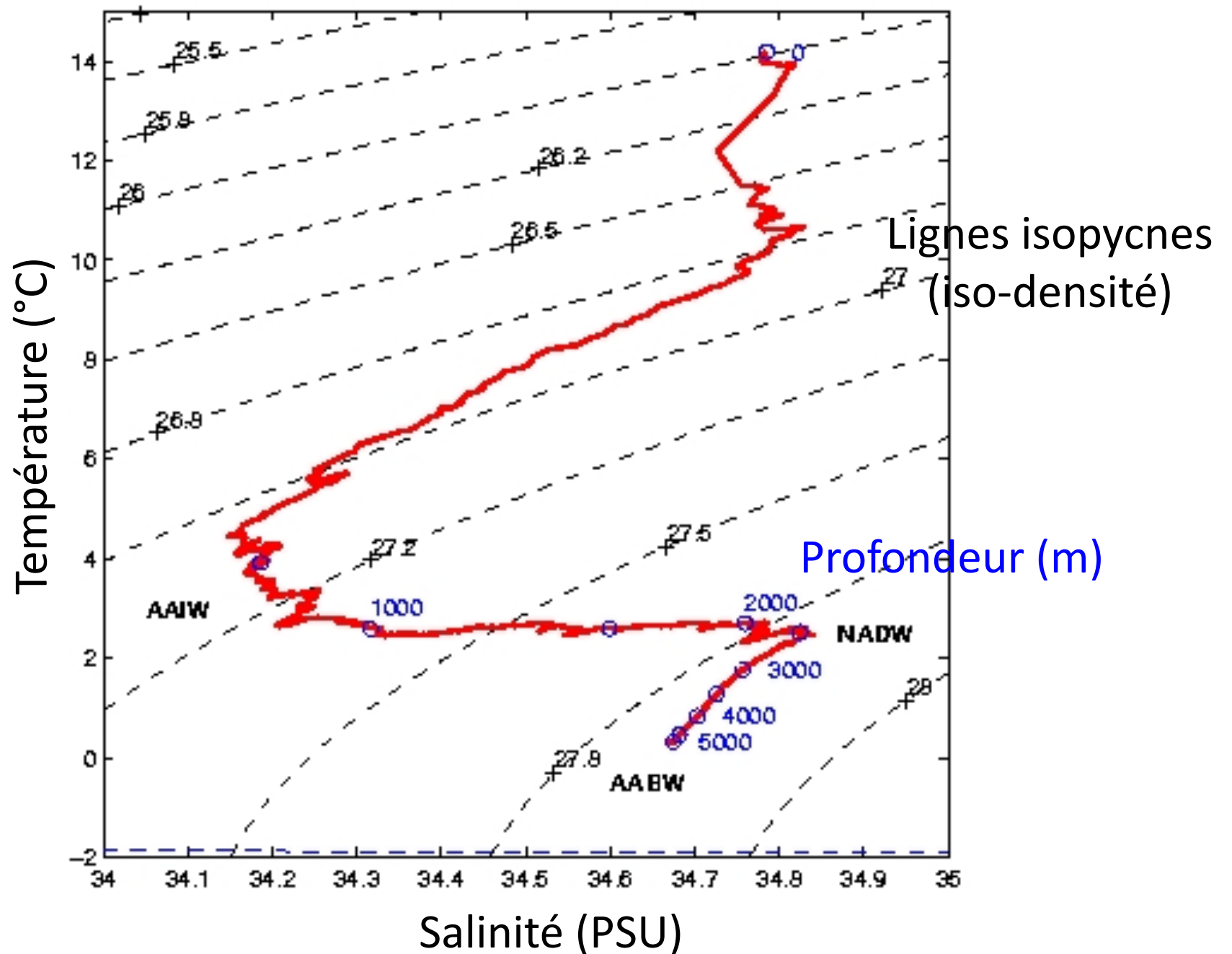


Coupe méridienne dans l'Atlantique, 30° W environ

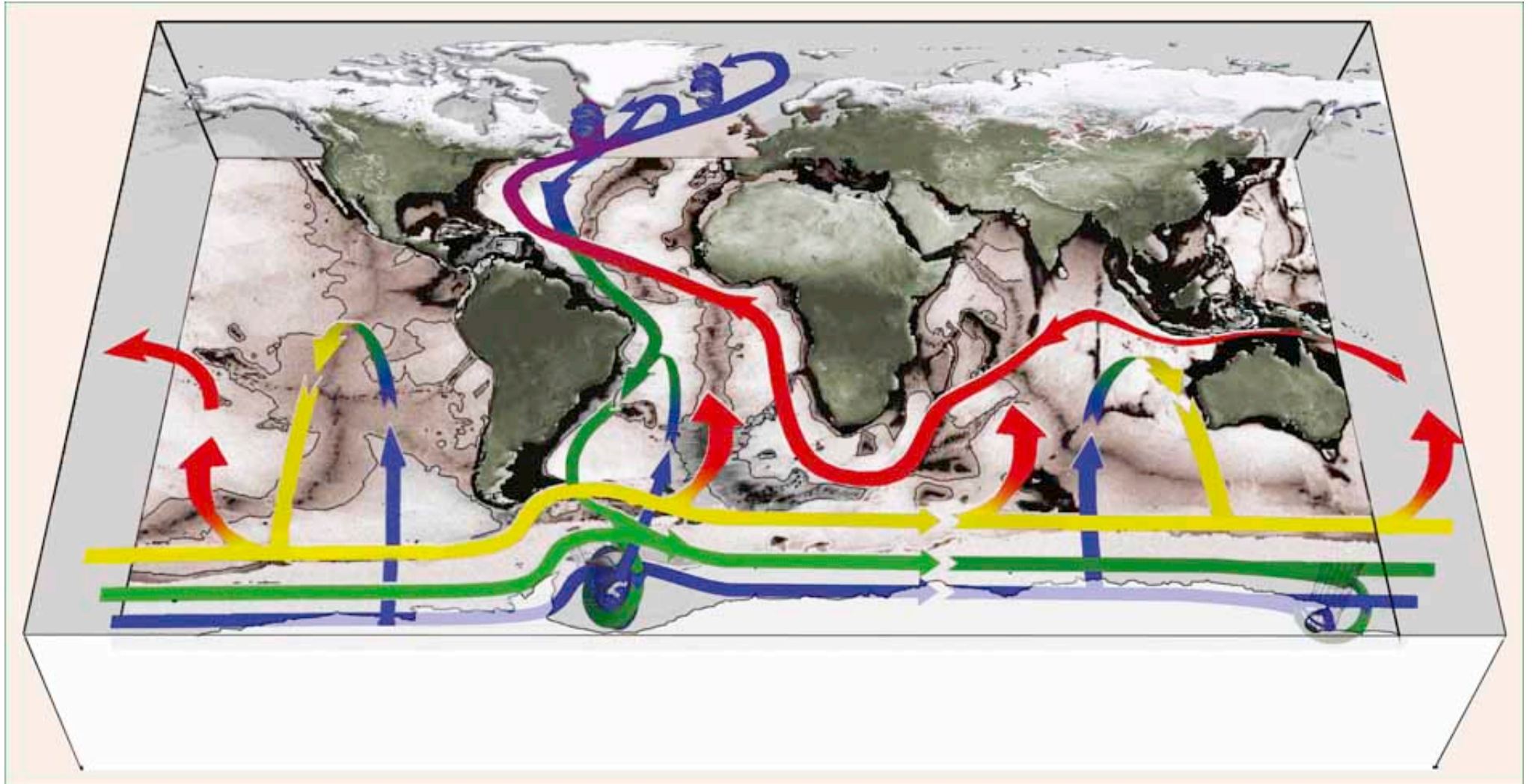
Température



Exemple de profil hydrographique (45°S)



Circulation méridienne moyenne (bleu = plus dense)

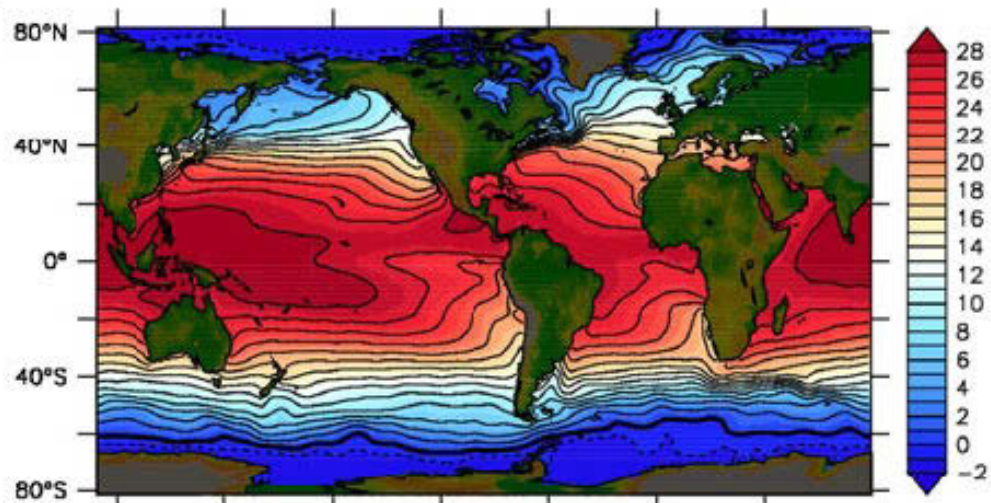


Cartes de température et salinité

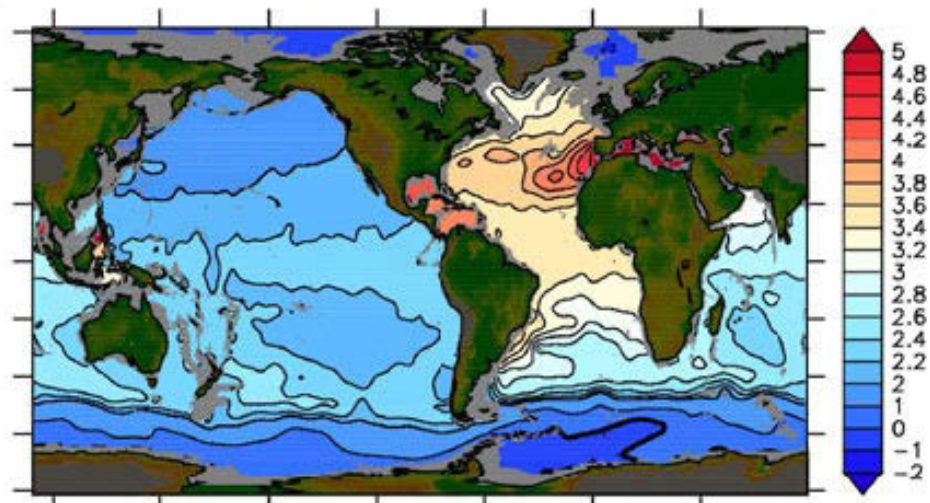
Surface

2000 m

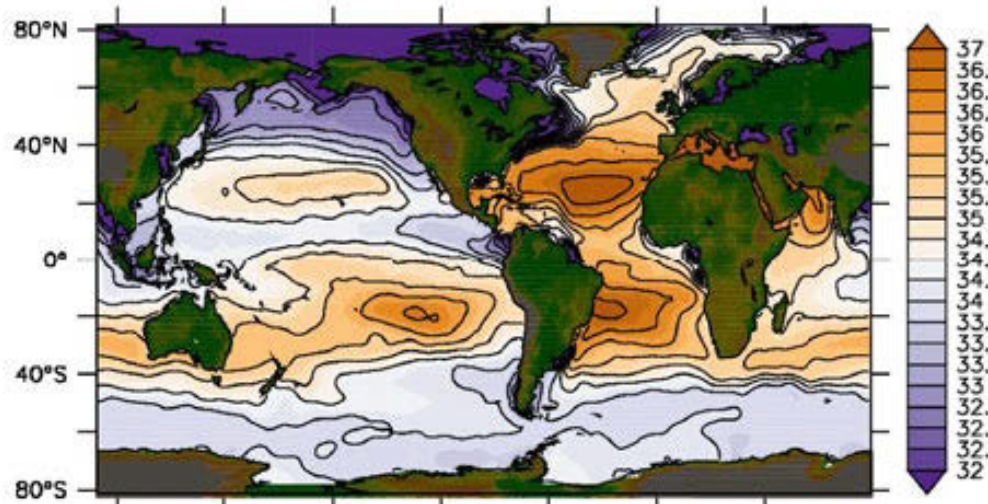
a



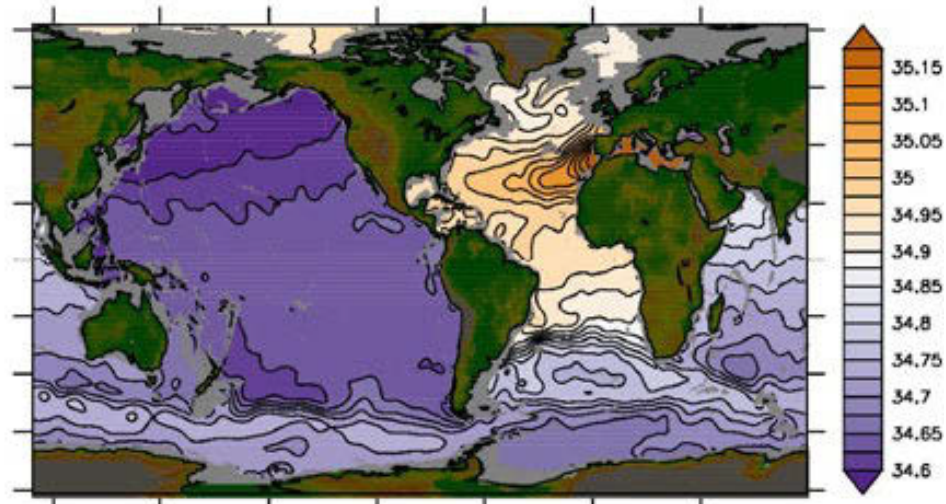
b



c



d

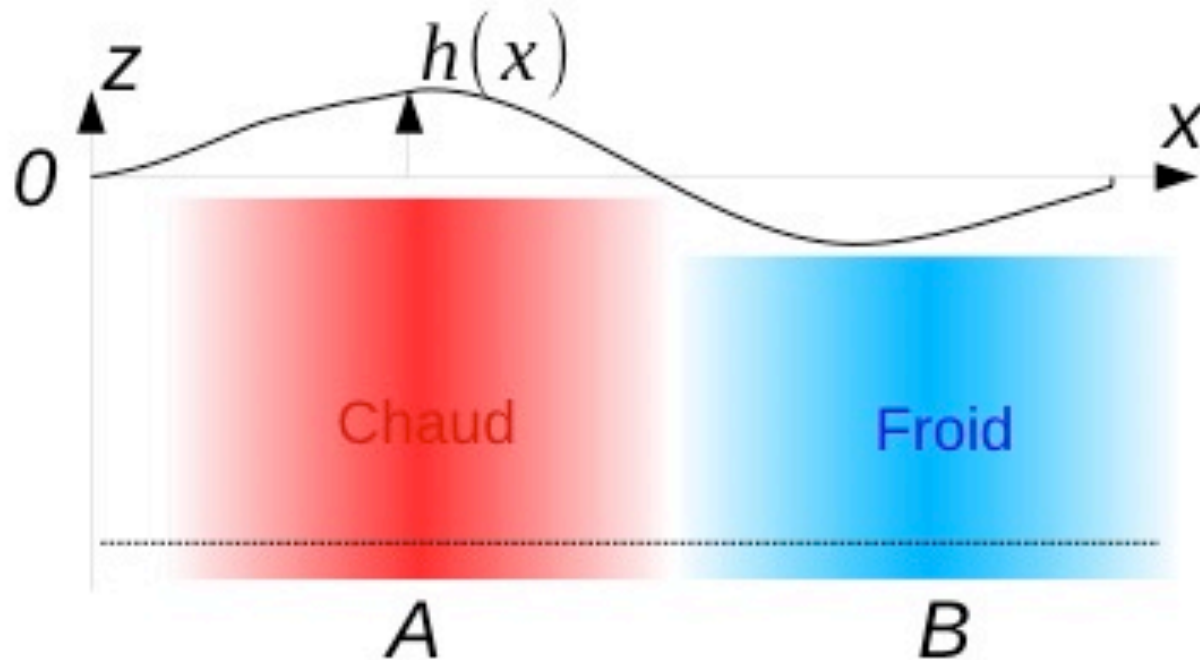


e

f

Variations horizontales de pression

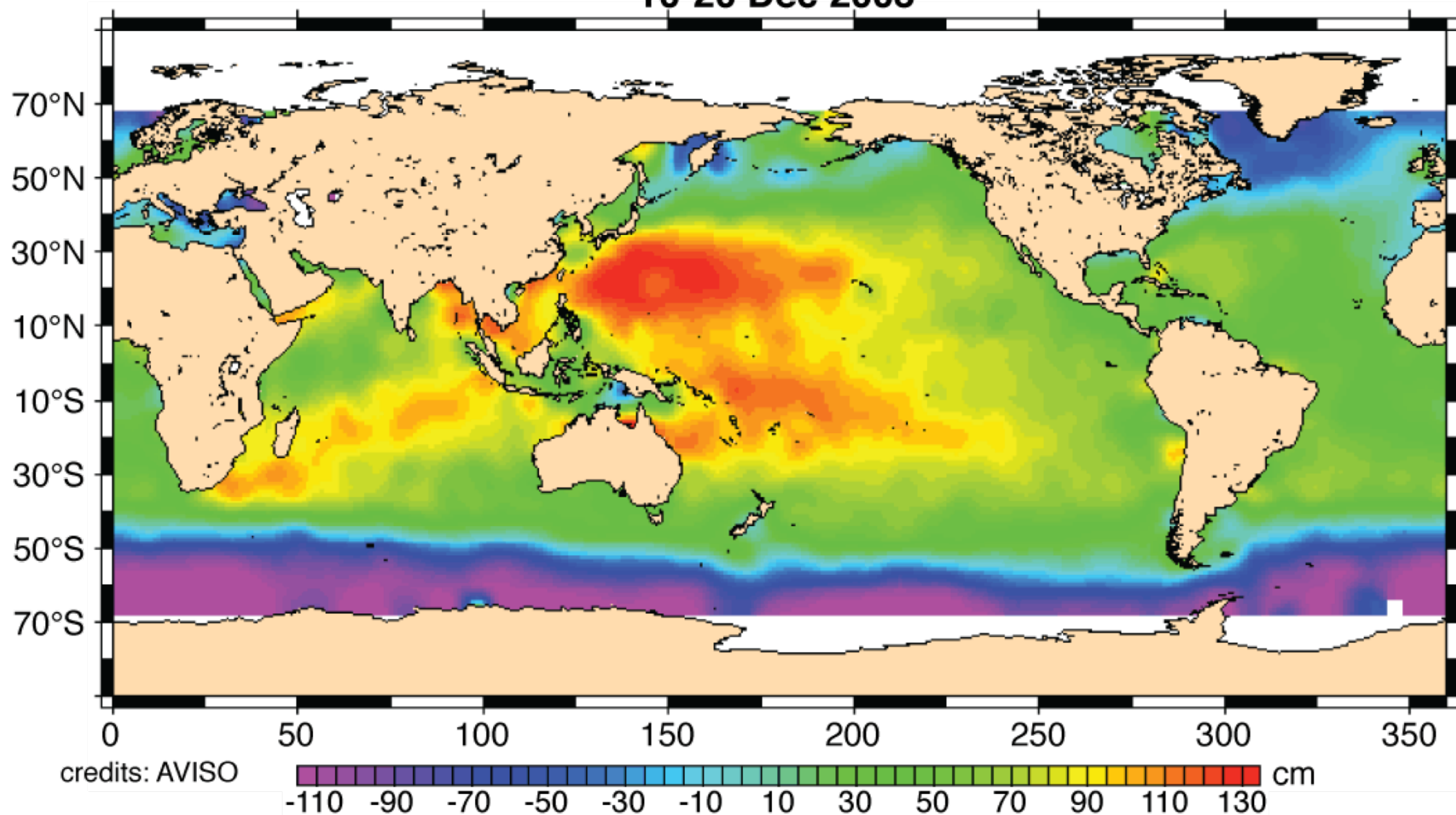
$$p(z) \approx \rho_0 g h + \int_z^0 \rho g \, dz$$



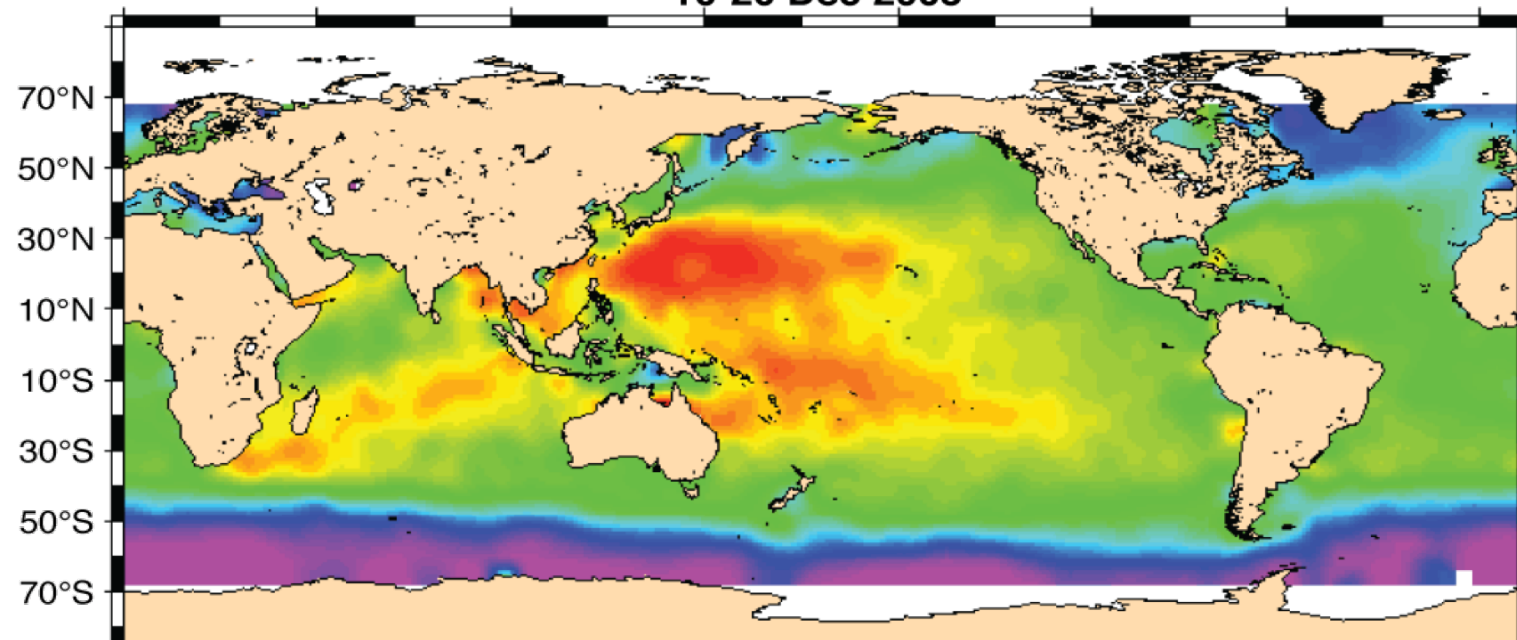
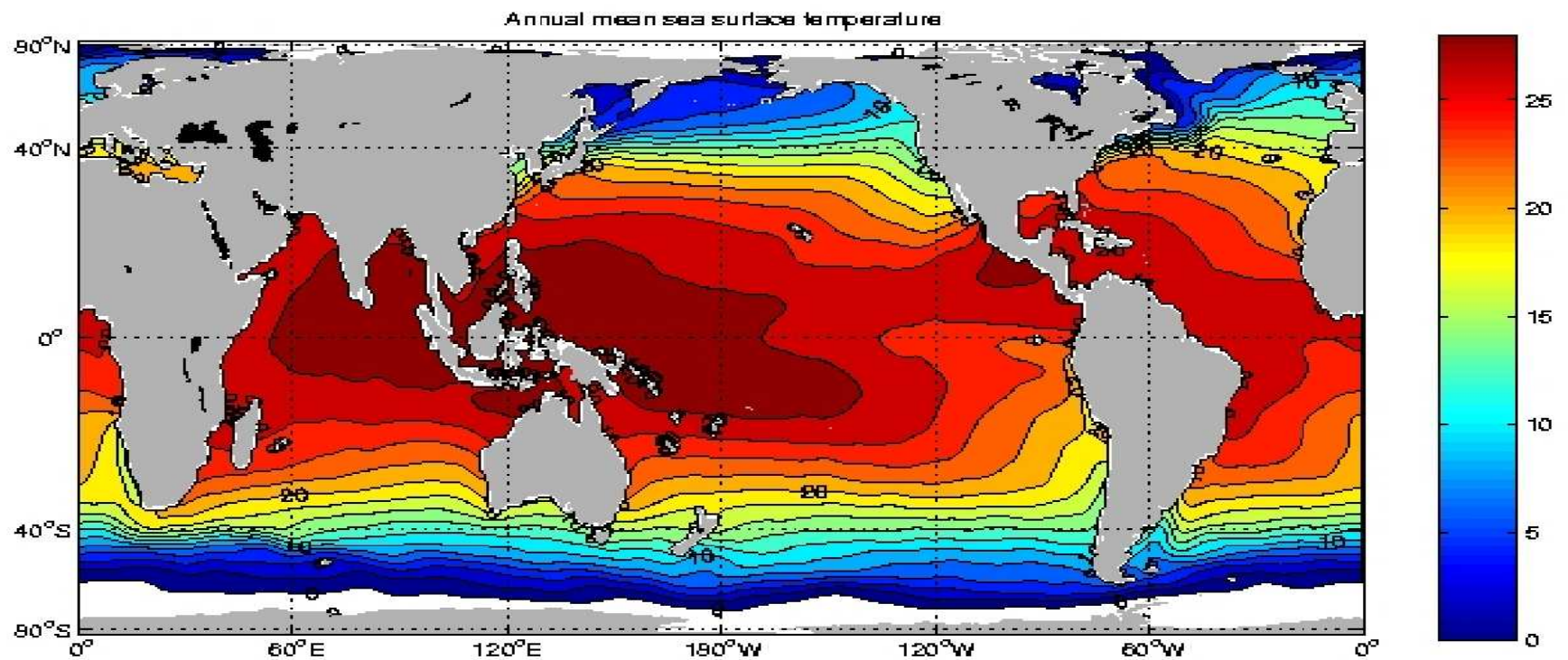
1. Hauteur dynamique de la surface
 2. Différences de densité sur la colonne
- Hauteur dynamique domine en surface, souvent compensation en profondeur

Hauteur de la mer (cm)

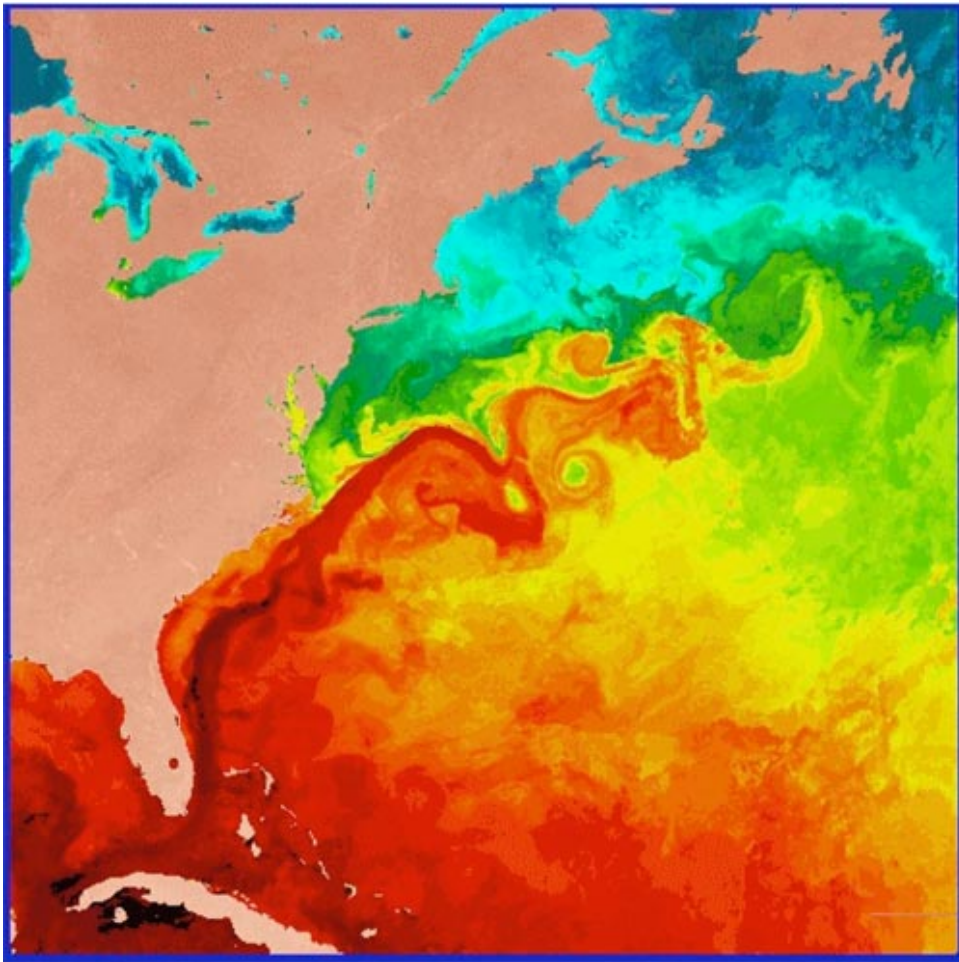
Absolute Dynamic Topography from TOPEX/POSEIDON 10-20 Dec 2003



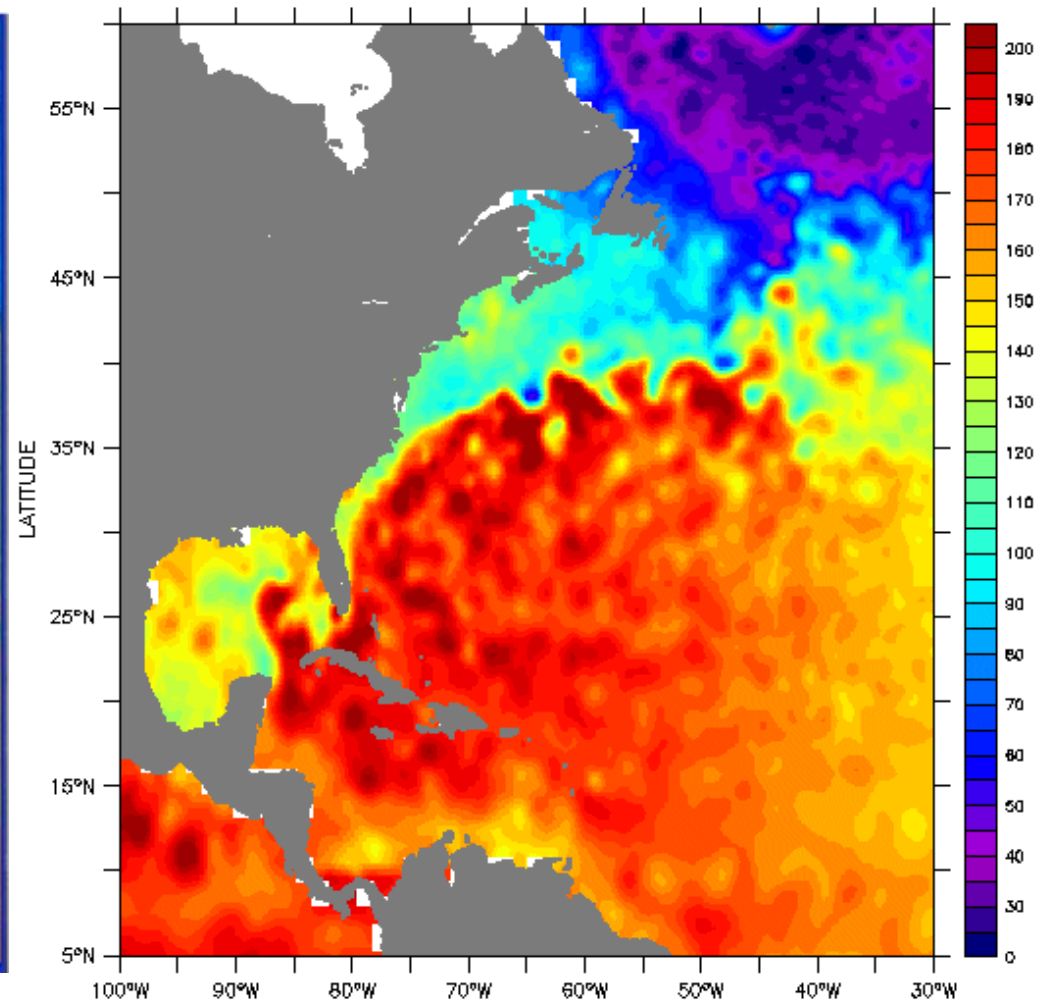
Absolute Dynamic Topography from TOPEX/POSEIDON
10-20 Dec 2003



Hauteur de la mer: région du Gulf Stream (instantanés depuis satellites, dates différentes...)



Température de surface



Hauteur de la surface