

Les enveloppes fluides : atmosphère, océans

-Introduction : Dimensions et structures de l'atmosphère et de l'océan

- Circulation océanique de surface et profonde
- Composition chimique de l'eau de mer
- Distribution des éléments chimiques dans l'océan
- L'océanologie géologique et sédimentologique
- Phénomènes d'interactions entre l'océan et l'atmosphère

Mesures

- sonde de température
- capteur de pression
- anémomètre + girouette
- hygromètre
- pluviomètre
- capteurs de rayonnement

...



station météo en
Antarctique
(G. Dargaud)



station
météo
sous abri

Mesures : température de l'air

- thermomètre
 - sonde de température (thermorésistance à Pt)
 - protocole de mesure :
 1. protection du rayonnement
 2. protection de la pluie
 3. température de l'air : ventilation
- > abri ventilé (type Stevenson) à 1.5m au dessus du sol



abri de type Stevenson



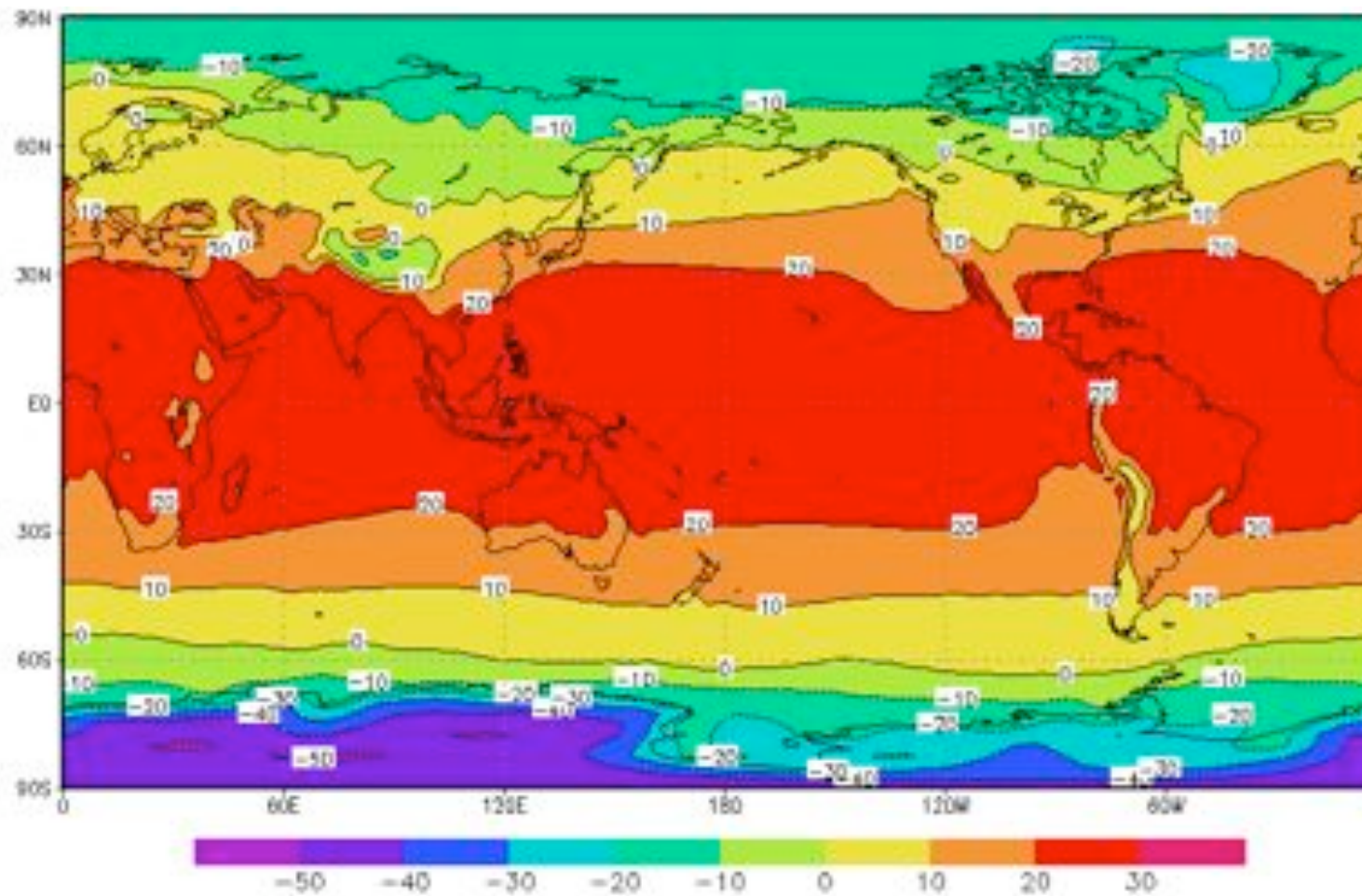
abri miniature



intérieur d'un abri

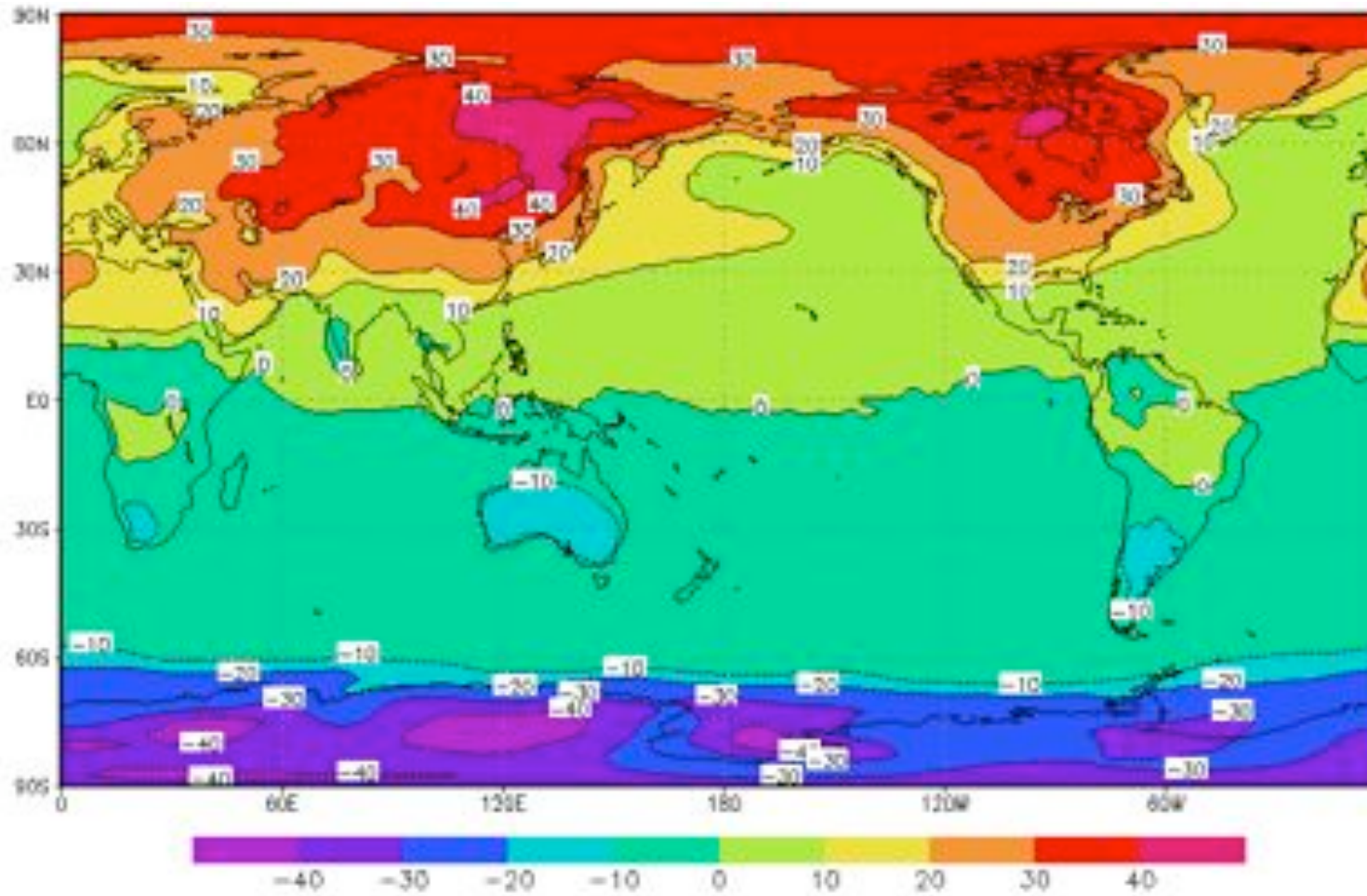
Mesures : température de l'air

moyenne annuelle (°C)



Mesures : température de l'air

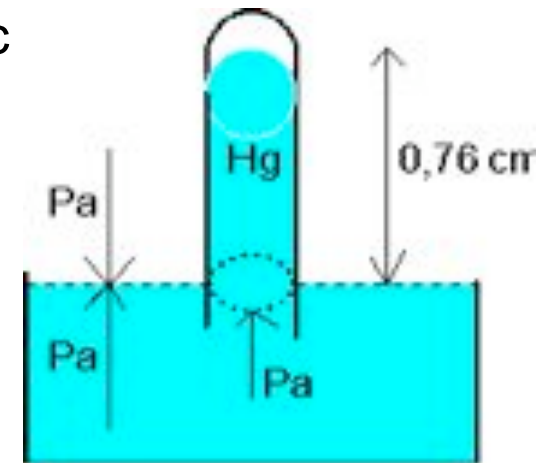
différence saisonnière (août - janvier) (°C)



Mesures : la pression atmosphérique

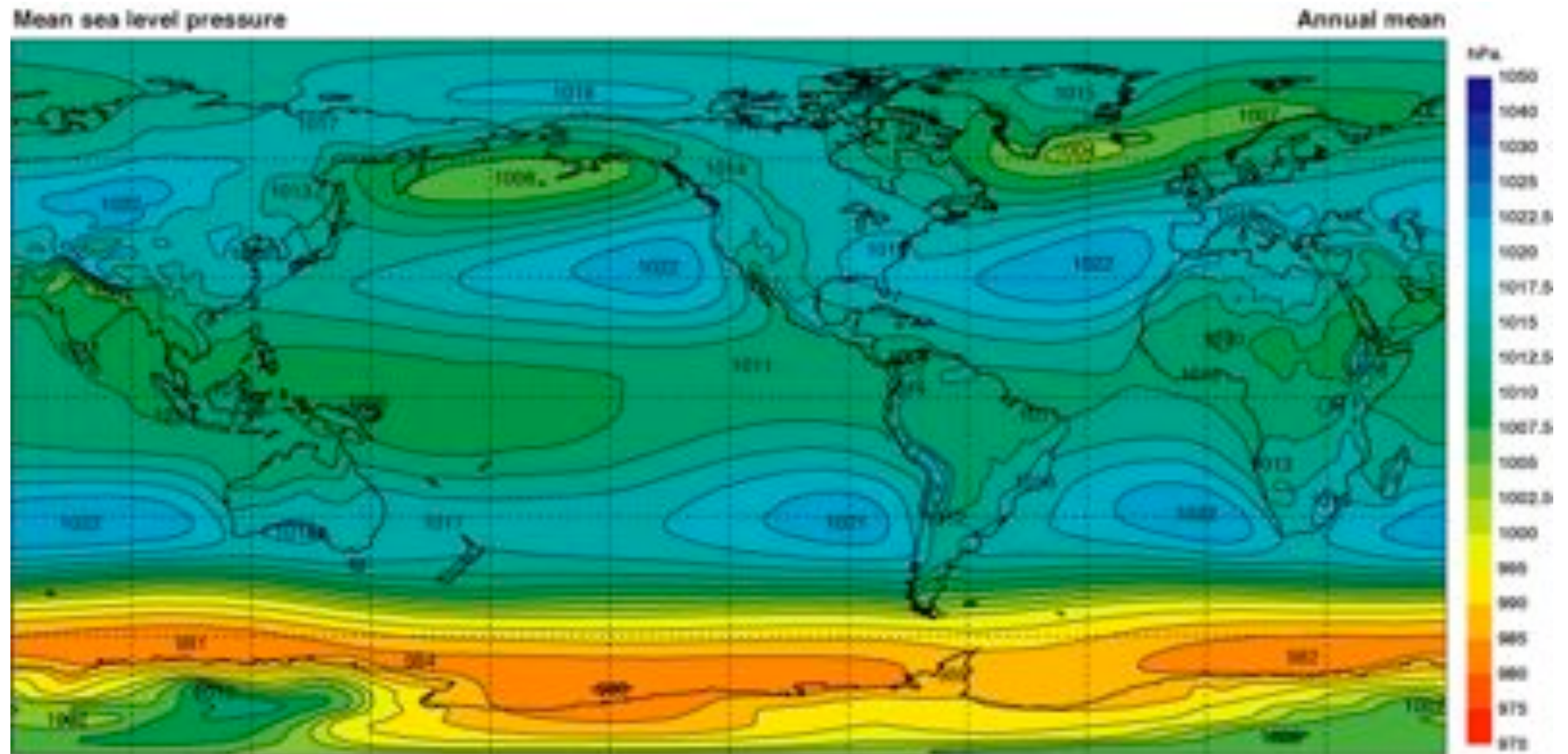
- expériences historiques de Torricelli, Pascal, avec niveau de mercure
- mesures avec colonne de mercure, puis capteur de pression
- pression = poids de la colonne d'air
unité : Pascal : $1 \text{ Pa} \equiv 1 \text{ N/m}^2$
- pression atmosphérique au niveau de la mer :
 $1013 \text{ hPa} \sim 760 \text{ mm Hg} (= 760 \text{ Torr})$
- unité commune : bar , $1 \text{ bar} \equiv 10^5 \text{ Pa}$, soit $1 \text{ mb} = 1 \text{ hPa}$

 *masse d'une colonne de 1 cm^2 de section ?*



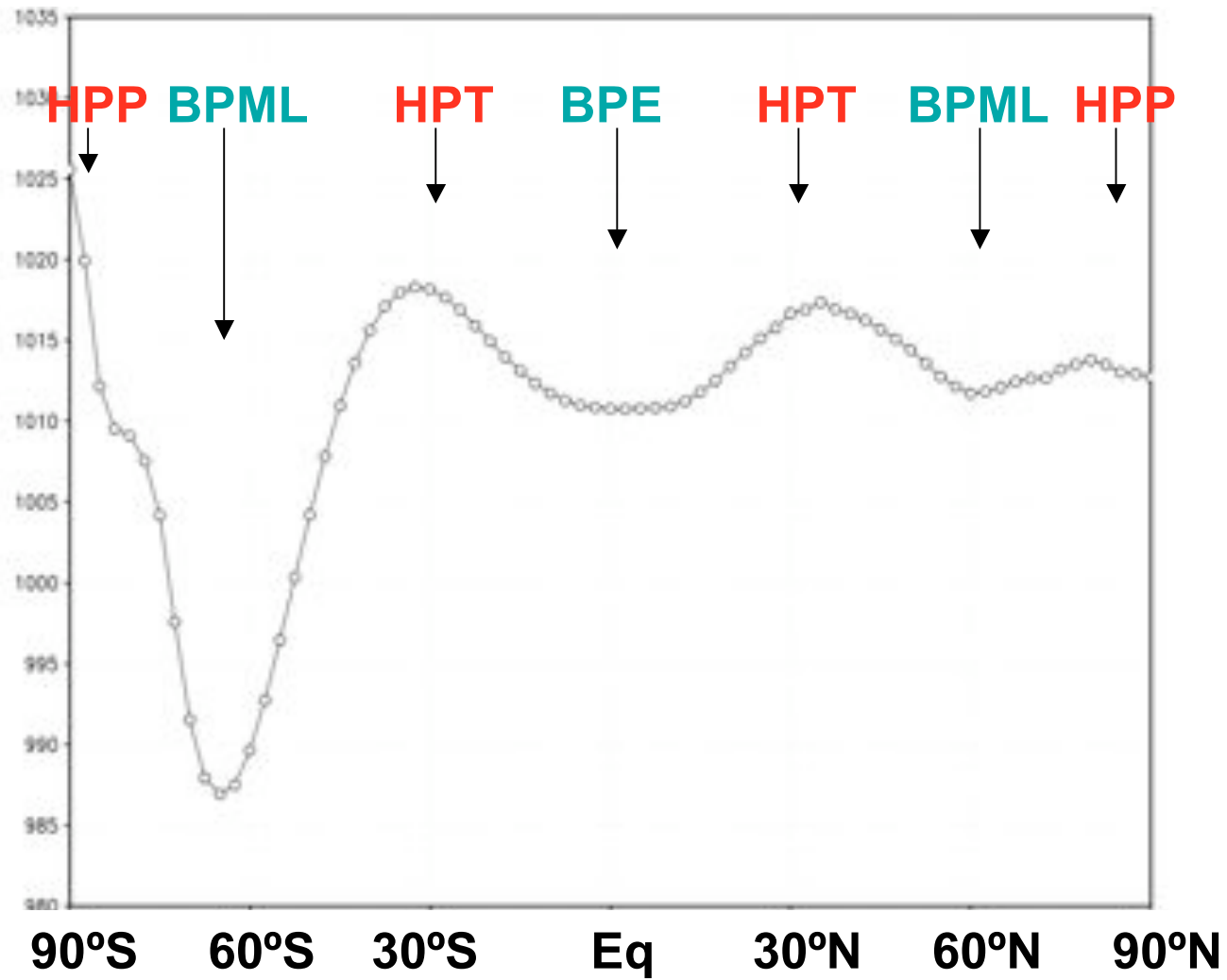
Mesures : pression atmosphérique

moyenne annuelle au niveau de la mer (hPa)



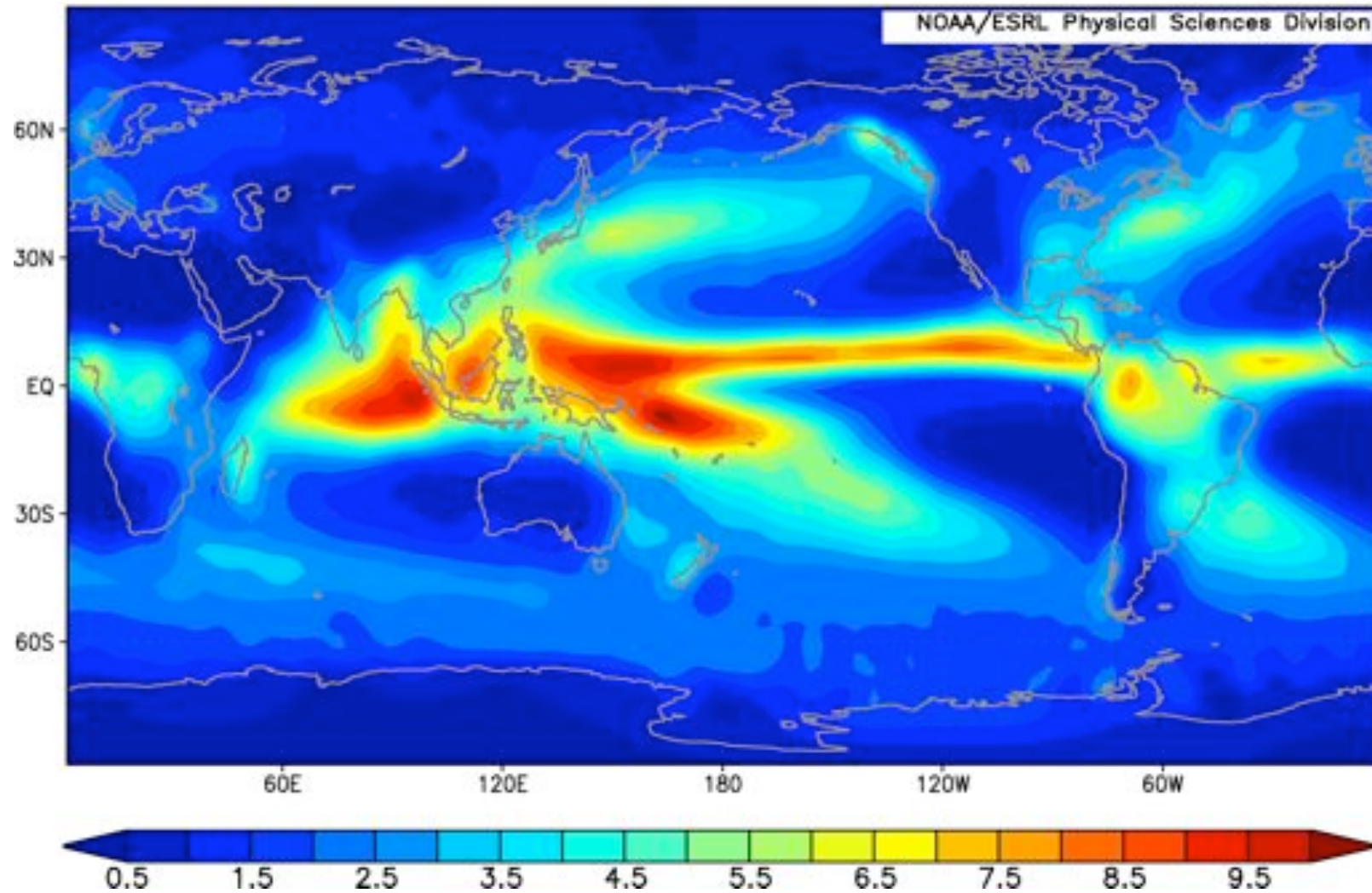
Mesures : pression atmosphérique

moyenne annuelle au niveau de la mer (hPa)



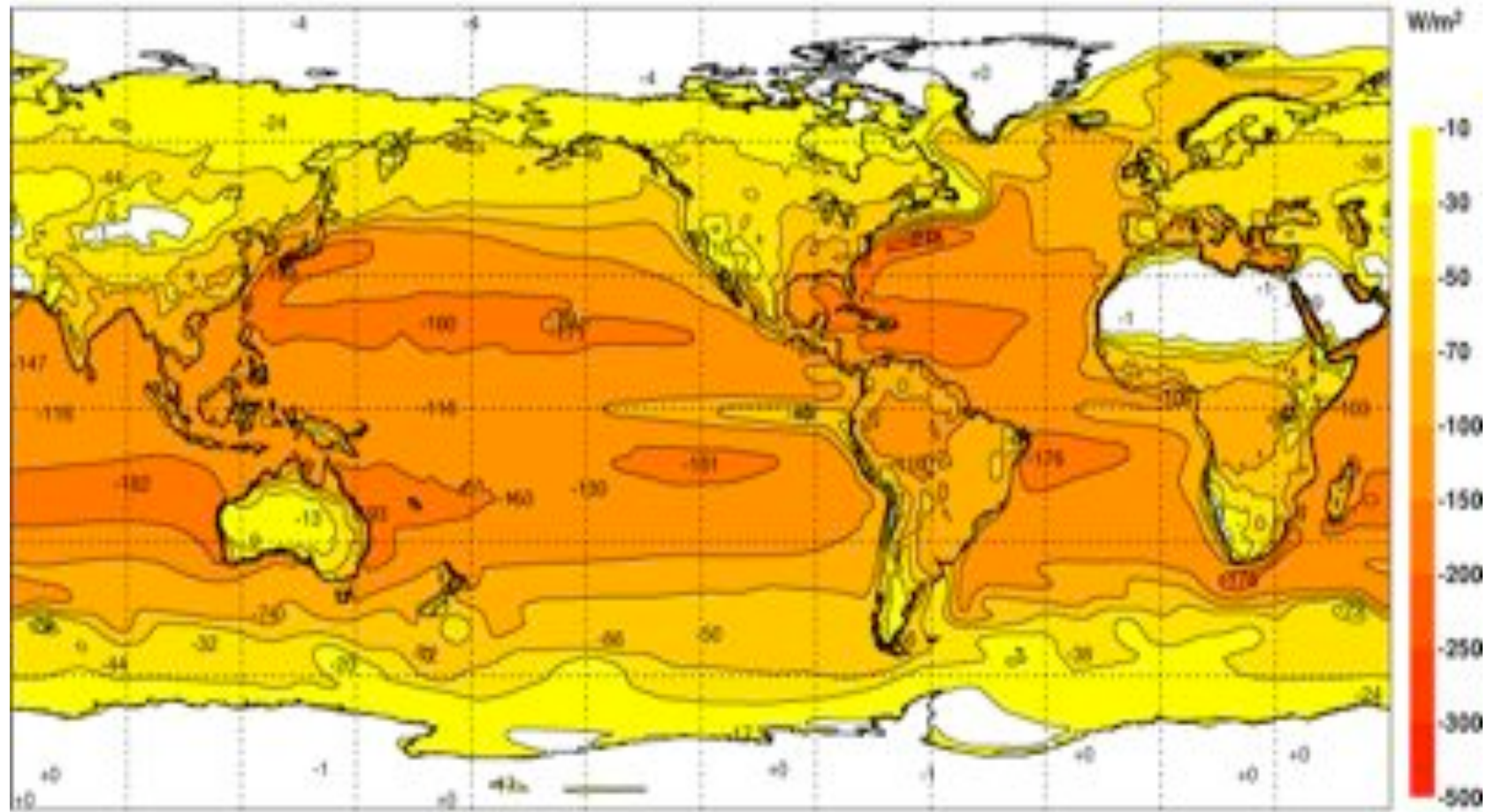
Mesures : précipitations

Moyenne annuelle (mm/jour)

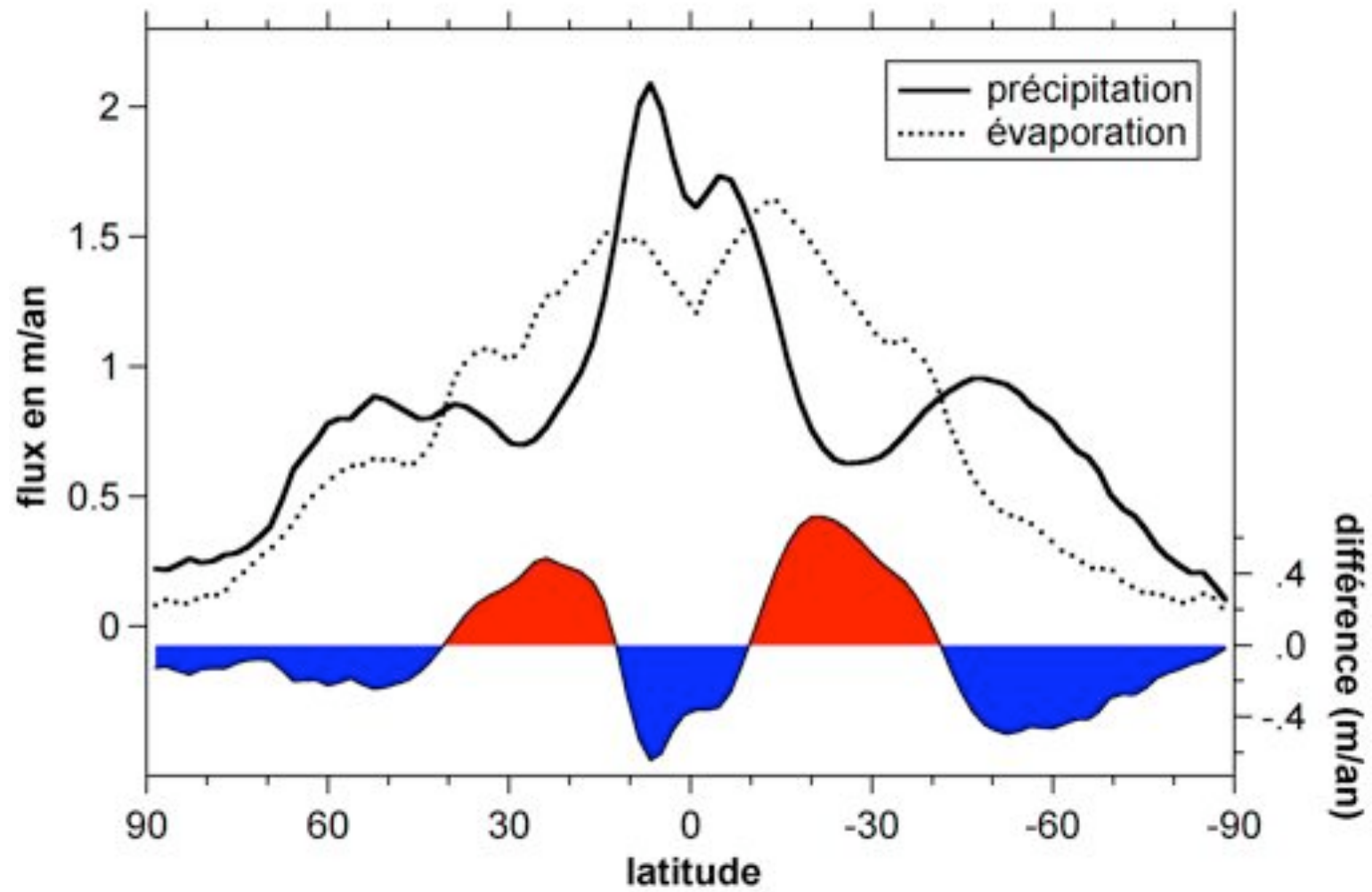


Mesures : évaporation

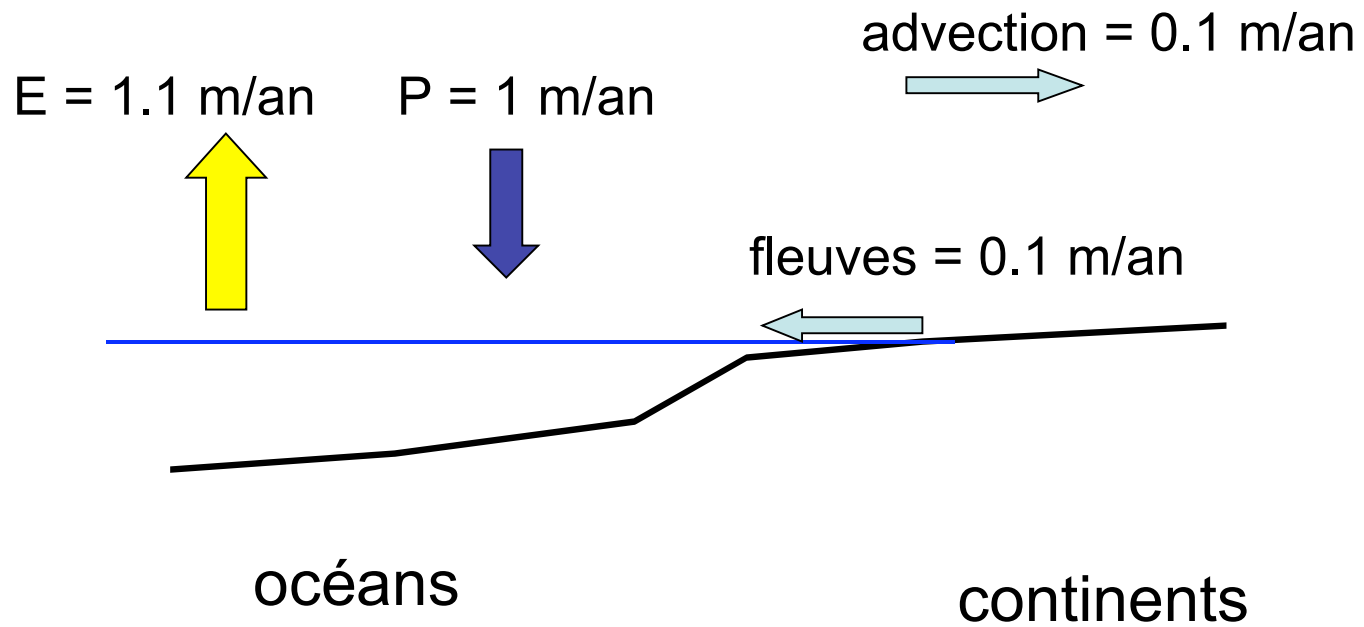
moyenne annuelle (W/m^2)




Mesures : bilan hydrologique en moyenne zonale




Mesures : bilan hydrologique en moyenne globale




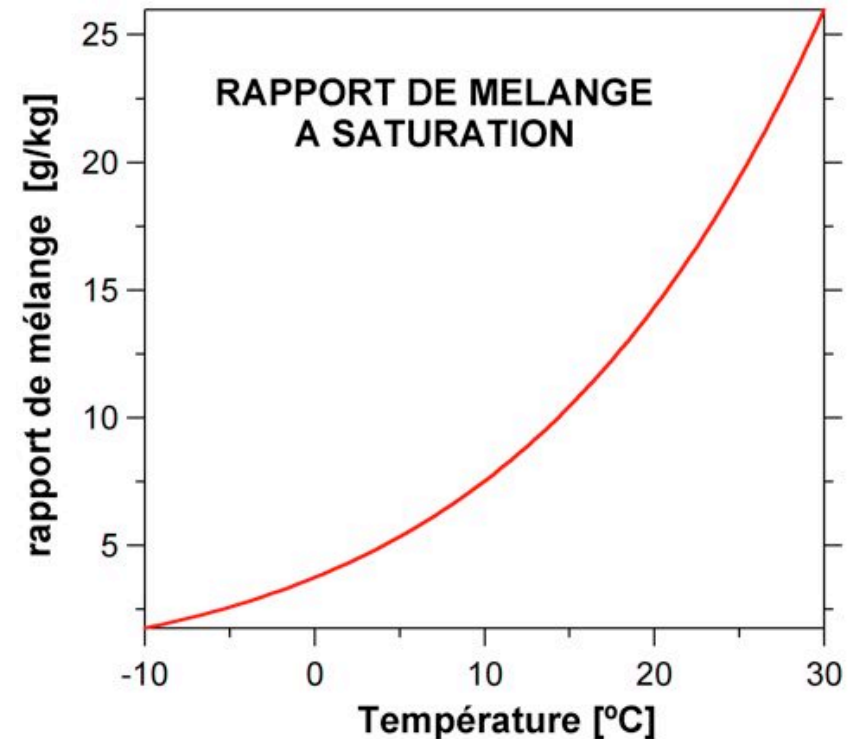
 $m > 1/m^2$?

Mesures : composition de l'air

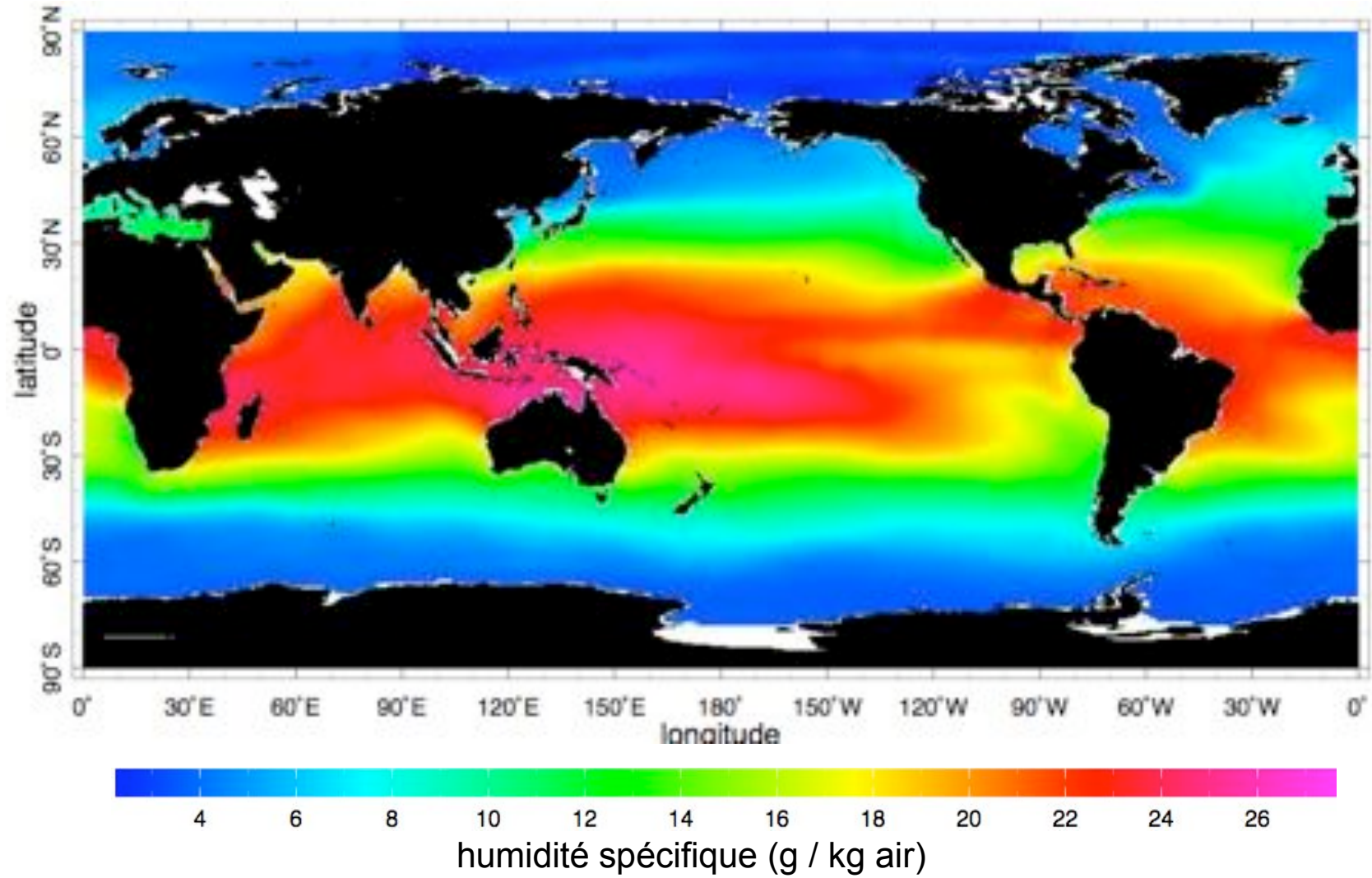
- N₂ (78%) , O₂ (21%) , Ar (0.9%) , H₂O (0.3%), CO₂ (0.04%)
- gaz rares (non réactifs) : Ne, He, Kr, Xe, ...
> 'permanents'
- gaz réactifs : CH₄, CO, H₂O > très variables
- concentrations : ppm (10⁻⁶) ou ppb (10⁻⁹)
- masse molaire moyenne : 29 g/mole  g/mole ?
- approximation des gaz parfaits : PV = nRT
- vapeur d'eau : teneur de l'air (humidité) en g H₂O / kg d'air

Composition : humidité de l'air

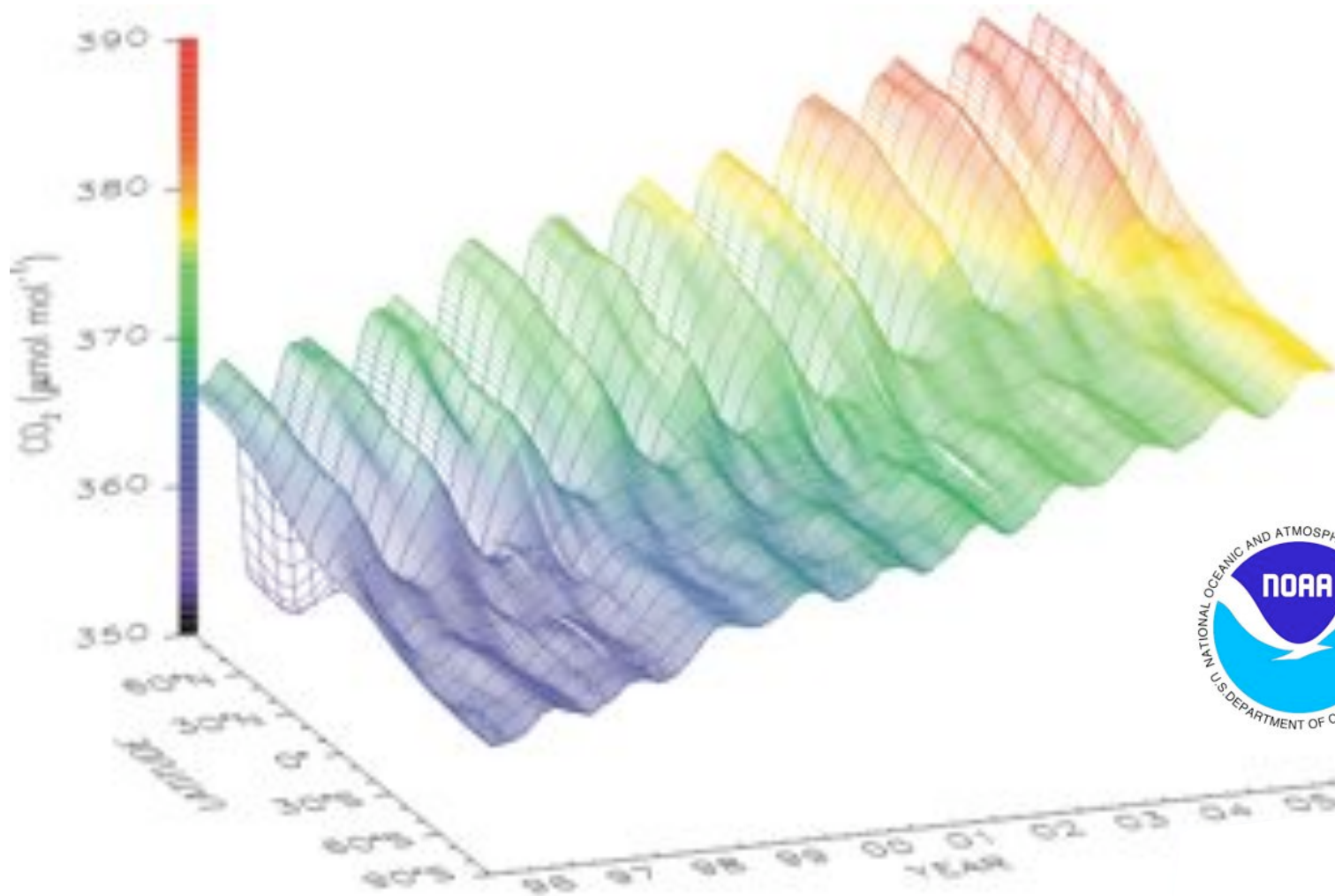
- relation de Clausius-Clapeyron :
pression de vapeur à saturation P_s
 $= \exp(T)$
- teneur de l'air en vapeur d'eau :
rapport de mélange (g H₂O / kg d'air)
humidité relative à la
pression à saturation : $h = P_{\text{vap}} / P_s(T)$
- **chaleur latente** de changement de
phase : $L_v \sim 2.5 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$  $100 \text{ Wm}^{-2} > \text{m/an}$
- évaporation proportionnelle au gradient vertical d'humidité relative
> sur les continents : évaporation 'potentielle' (EP) compte
tenu des conditions d'humidité relative



Composition : humidité de l'air (au dessus de la mer)



Composition de l'air : exemple du CO₂ mesuré en plusieurs stations



Profils verticaux de mesures

- ballon sondes, avions
- centralisation mondiale des mesures
(Organisation Météorologique Mondiale / *World Meteorological Organization*)

Variations de la pression atmosphérique

- diminution avec l'altitude : $P = P_0 \cdot e^{-z/H}$
H hauteur d'échelle de l'atmosphère (H ~ 8km)
- pression de référence = niveau de la mer
- altitude du Mt Blanc : P ~ 410 hPa
- altitude du Mt Everest : P ~ 230 hPa

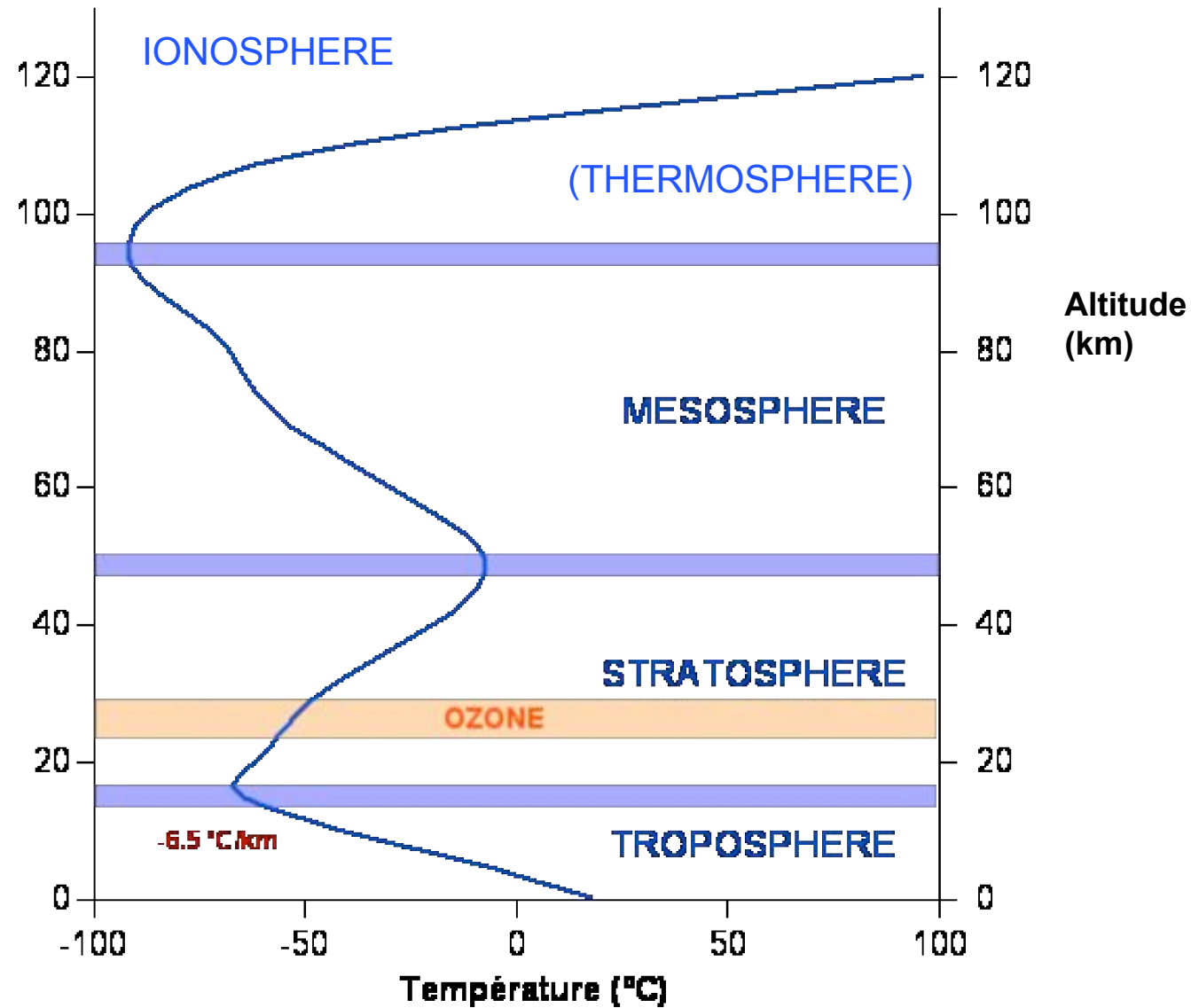
Gradient vertical de température

- diminution avec l'altitude dans les premiers km : gradient moyen de 6.5°C par km



ballon sonde © IPSL

Mesures : structure verticale de l'atmosphère



Mesures : structure verticale de l'atmosphère

TROPOSPHERE

- couche mélangée, 'turbulente', mouvements verticaux et horizontaux importants, majorité des phénomènes météorologiques

- épaisse de 7 (pôles) à 15km (équateur), entre la couche limite planétaire et la tropopause

- contient l'essentiel de la vapeur d'eau, poussières et aérosols, 75-80% de la masse de l'atmosphère, homogène

- couche chauffée par sa base (absorption de l'énergie solaire par la surface terrestre) : instable

- diminution de la température : refroidissement adiabatique (détente d'un gaz sans échange de chaleur), entre la température de surface et -80°C (équateur) à -50°C ($\pm 10^\circ$) aux pôles

Mesures : structure verticale de l'atmosphère

TROPOPAUSE : inversion du gradient de température > stabilité



Mesures : structure verticale de l'atmosphère

STRATOSPHERE

- couche stratifiée, faibles mouvements verticaux; 'courants jets' à la base très forts (dizaines de m/s)
- s'étend jusqu'à 50km (stratopause)
- teneur en vapeur d'eau diminue très rapidement (couche sèche); celle en ozone (O_3) augmente
- augmentation de la température jusqu'à $-30^{\circ}C$ à $+20^{\circ}C$ selon la saison (couche stable)
- chauffage par absorption des UV (ozone) : stabilité (stratification)

Mesures : structure verticale de l'atmosphère

MESOSPHERE

- couche intermédiaire entre atmosphère et espace, entre 50 et 80km environ
- température décroît avec altitude, jusqu'à minimum de l'atmosphère (environ -100°C)

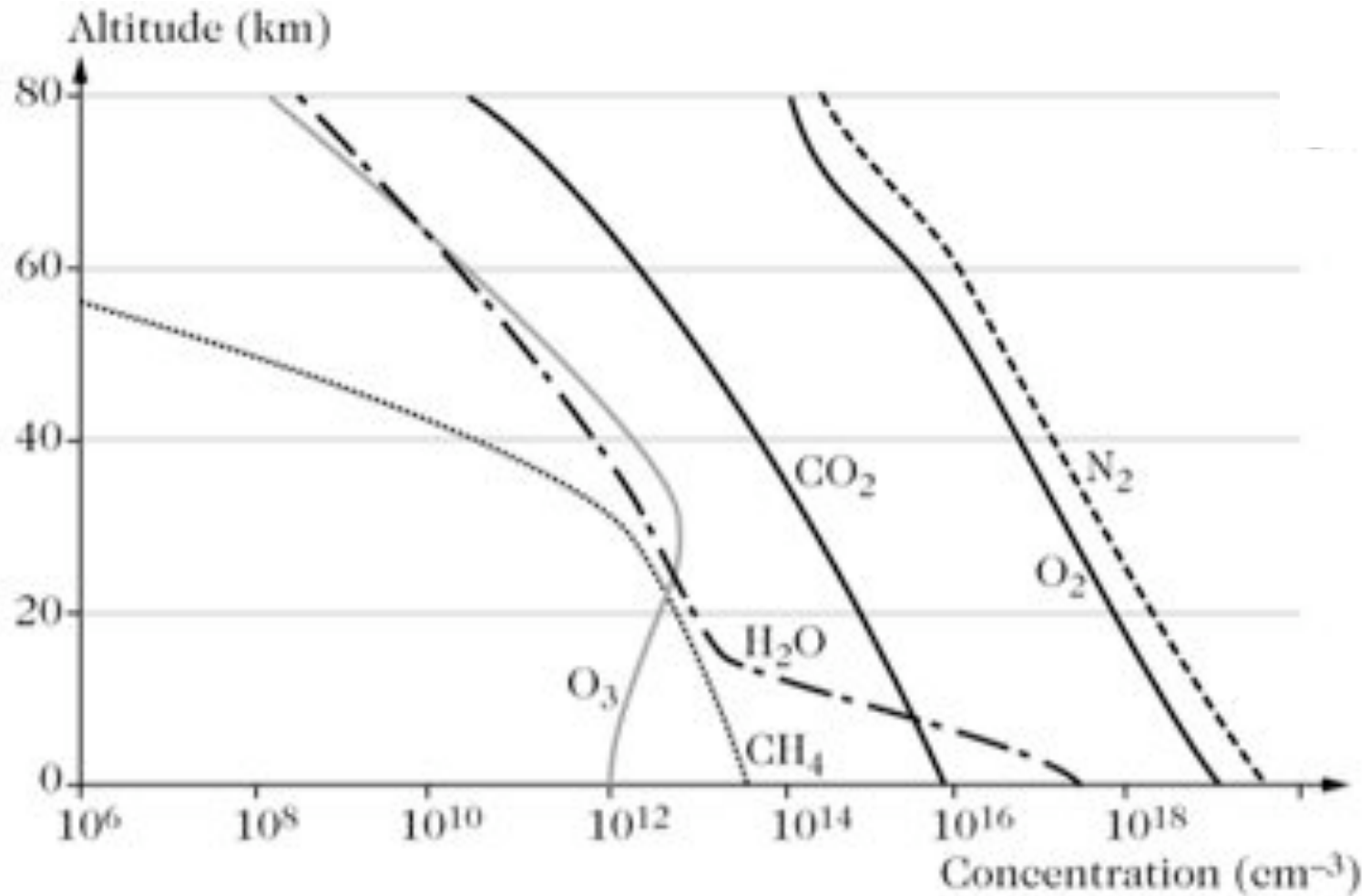
Mesures : structure verticale de l'atmosphère

IONOSPHERE (dont THERMOSPHERE)

- partie externe de l'atmosphère
- gaz ionisé par UV
- température augmente fortement, couplée à l'activité

solaire

Mesures : structure verticale de l'atmosphère



In Physique et chimie de l'atmosphère, Ed. Belin