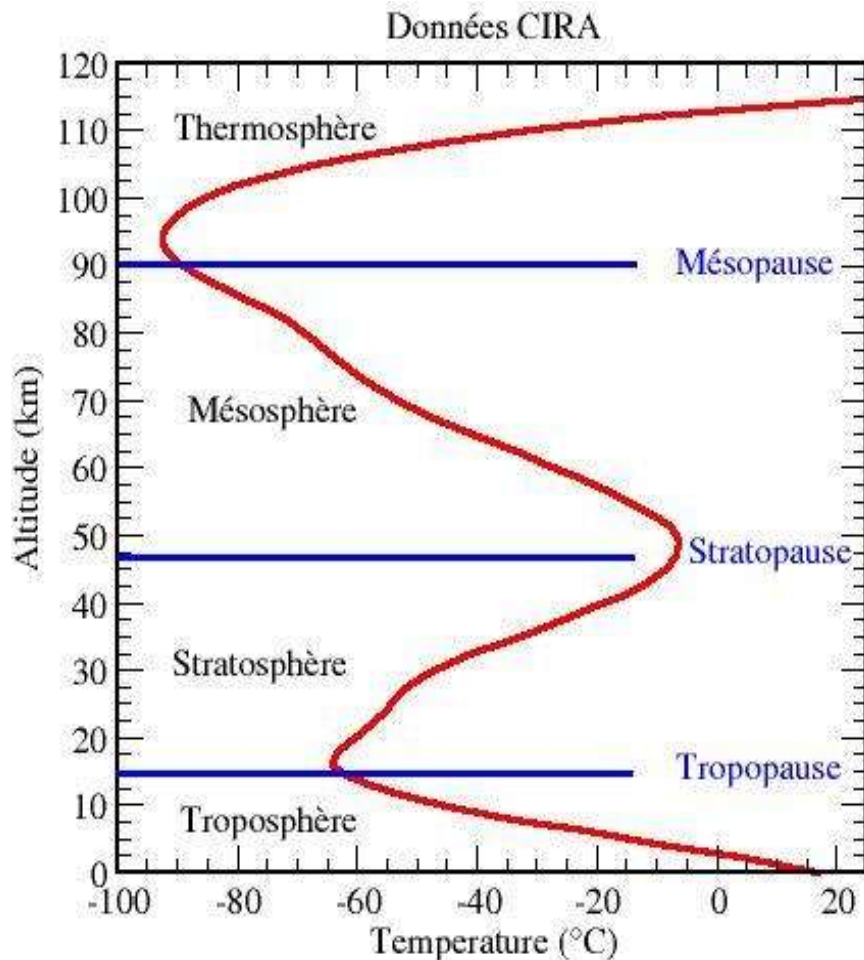


I.1) Climatologies Moyennes

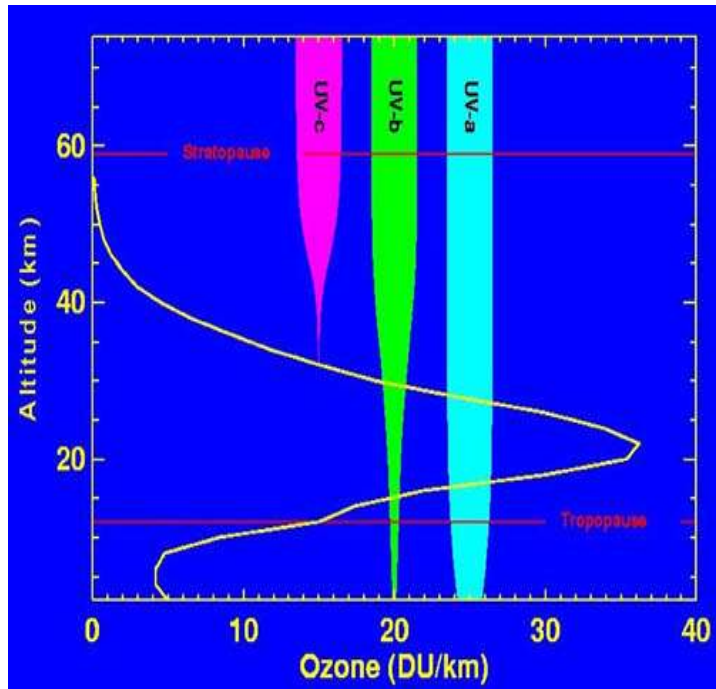
Les trois couches de l'Atmosphère neutre ($z < 100\text{km}$)
Température en fonction de l'altitude



- Données CIRA (1988): Roquettes et radiosondage s, satellites au dessus de 110km.
- **Troposphère: T décroît avec z, chauffage par le sol tandis que H₂O et nuages refroidissent le haut (IR).**
- **La moyenne atmosphère:**
 - contient 2 des 3 couches de l'atmosphère neutre: la stratosphère et la mésosphère
 - Les composants majoritaires y sont bien mélangés.
 - Pic de T à 50km, du à l'O₃. Définie la stratopause séparant la mésosphère et la stratosphère.
- **Au dessus, la thermosphère. C'est la couche la plus exposé au soleil et aux rayons X qui ionisent les particules: elle contient la ionosphère (80-500km) où se produisent les aurores boréales.**
- **Très peu dense T varie de 600K à 1800K en une journée.**
- **On n'est plus neutre, la composition varie du fait de la grande distance entre les atomes**

I.1) Climatologies Moyennes

Absorption du rayonnement solaire direct (Chauffage par l'Ozone)



Profil d'Ozone aux moyennes latitude et
Altitude de pénétration des UV-a, UV-b,
UV-c

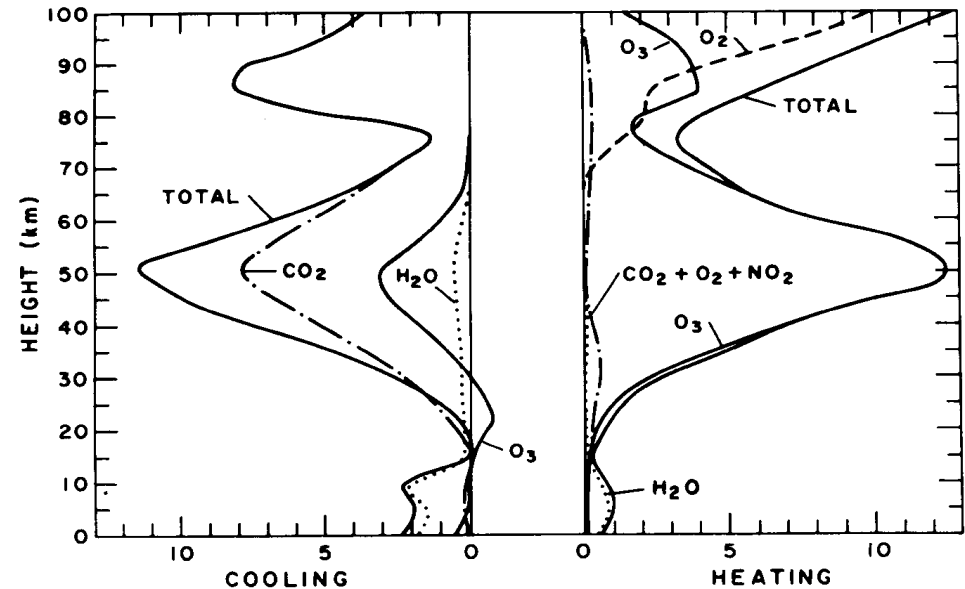
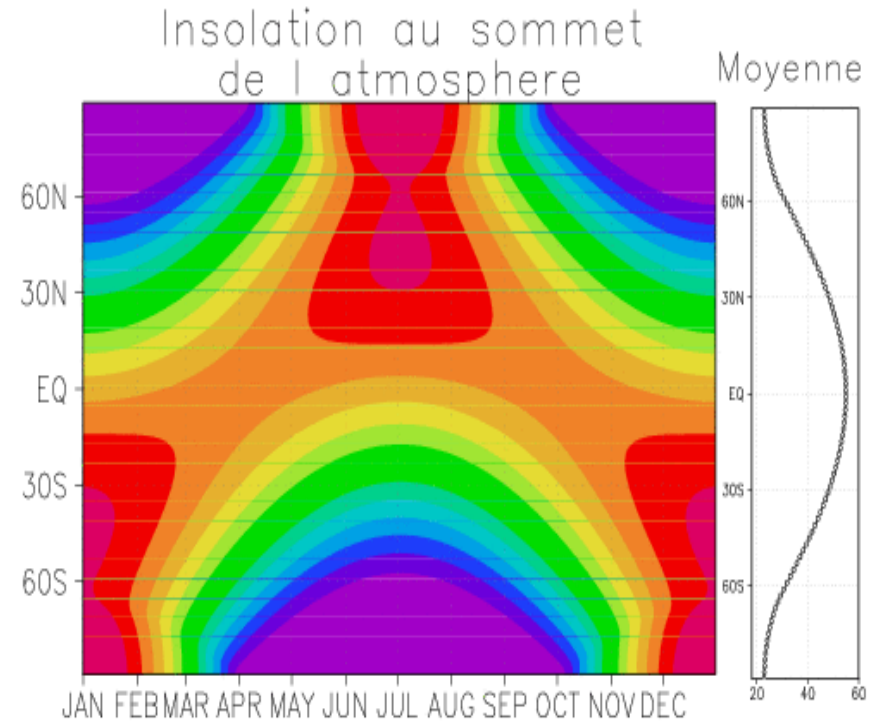
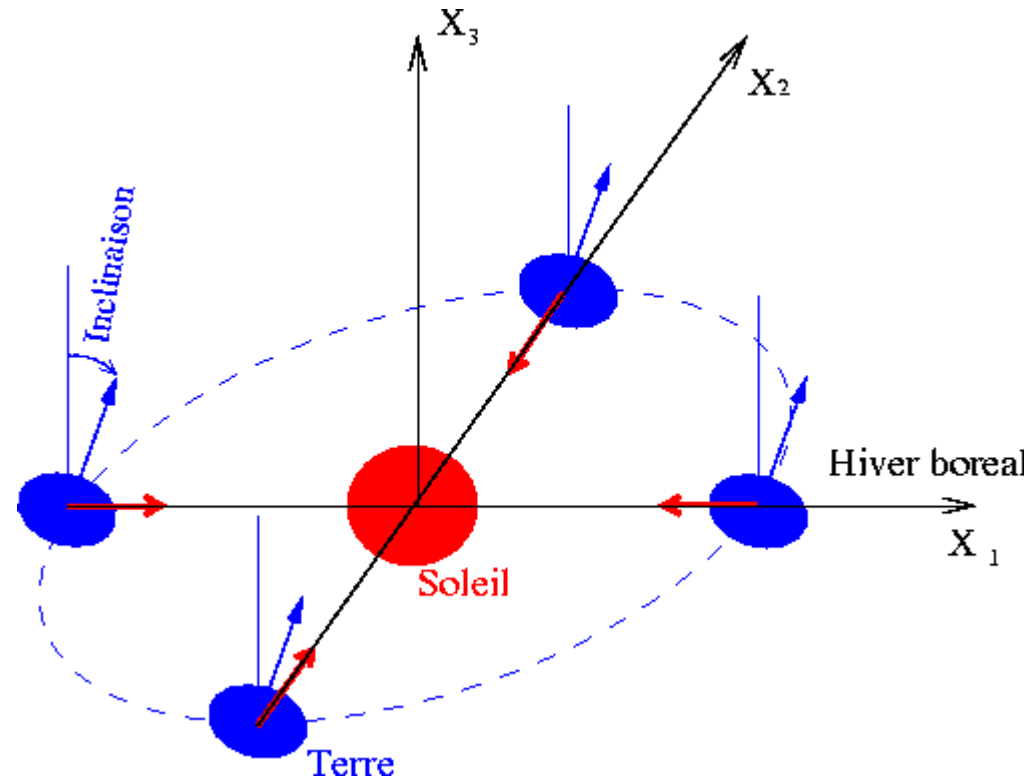


Fig. 2.1. Vertical distribution of heating due to absorption of solar radiation (right) and cooling due to emission of infrared radiation (left). [From London (1980), with permission.]

Distribution verticale du chauffage du à
l'absorption des rayons solaires et du
refroidissement du au rayonnement
infrarouge

I.1) Climatologies Moyennes

Cycle saisonnier de l'ensoleillement



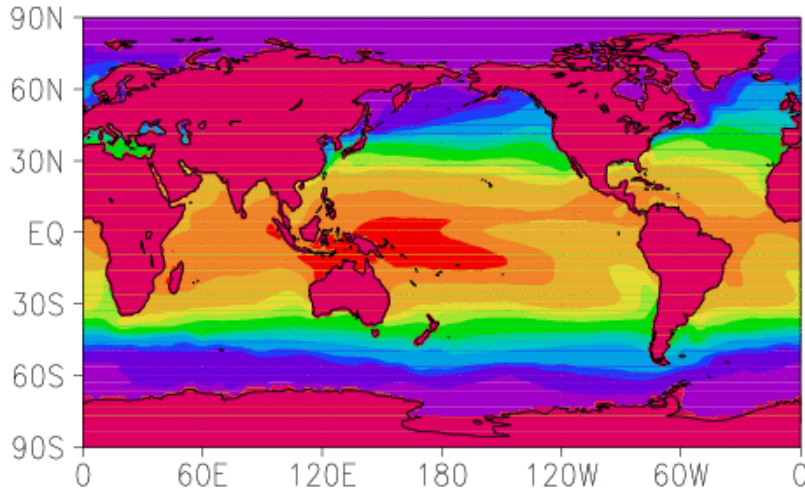
- L'Ozone réémet quasi-instantanément, et sous forme de chaleur, le rayonnement UV qu'elle absorbe
- L'ensoleillement moyen journalier est maximum aux pôles en été en partie car la journée y dure presque 24h
- En moyenne et au cours du temps l'insolation reste maximale à l'équateur

I.1) Climatologies Moyennes

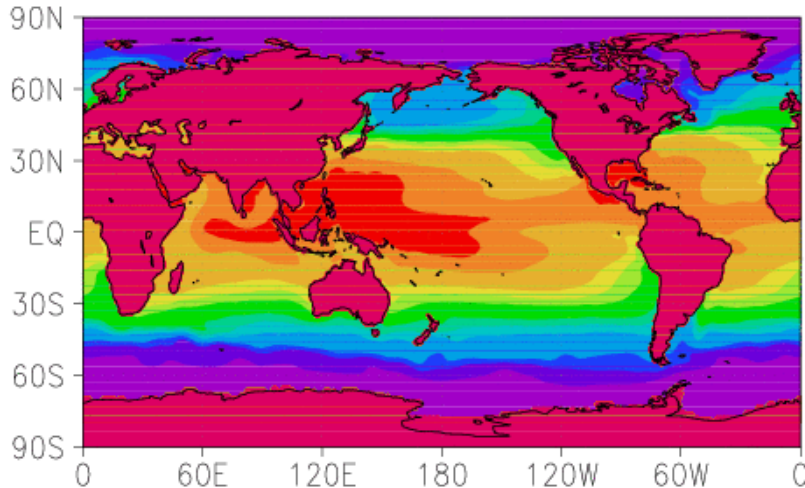
Chauffage par le sol (Infrarouge):

L'océan est un intégrateur temporel que la moyenne atmosphère ne voit pas

Temperature Surface de la mer
Janvier (ECMWF 1993–1997)



Juillet (ECMWF 1993–1997)



- La SST est toujours plus chaude dans la zone tropicale
- Elle maintient aussi un taux d'humidité important dans la troposphère équatoriale, et donc un effet de serre important
- La troposphère est en premier lieu forcée par le bas, et donc présentera un cycle annuel moins marqué que l'atmosphère moyenne

I.1) Climatologies Moyennes

Flux Infrarouges (IR) à la surface et au sommet de l'atmosphère

Le flux vers l'atmosphère à la surface suit les profils de la Température du sol

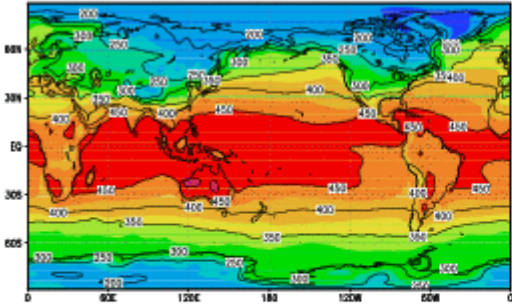
Les flux au sommet de l'atmosphère et vers l'espace sont beaucoup plus faibles que les flux au sol.

Ils proviennent essentiellement du sommet de la troposphère, cette dernière est quasiment opaques au flux IR

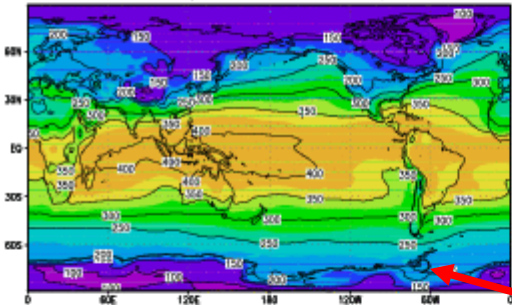
C'est l'effet de Serre

Noter que l'atmosphère réemet une bonne partie du Chauffage IR qu'elle reçoit (équilibre radiatif)

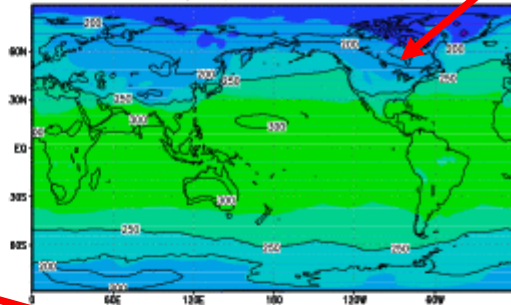
Upward Rad. Flux (Surf)



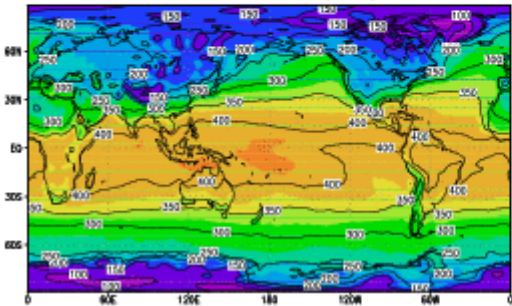
Clear Sky Downward Flux (Surf)



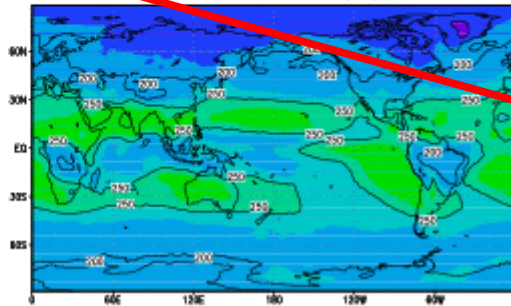
Clear Sky Upward Rad Flux (Top)



Downward Flux (Surf)



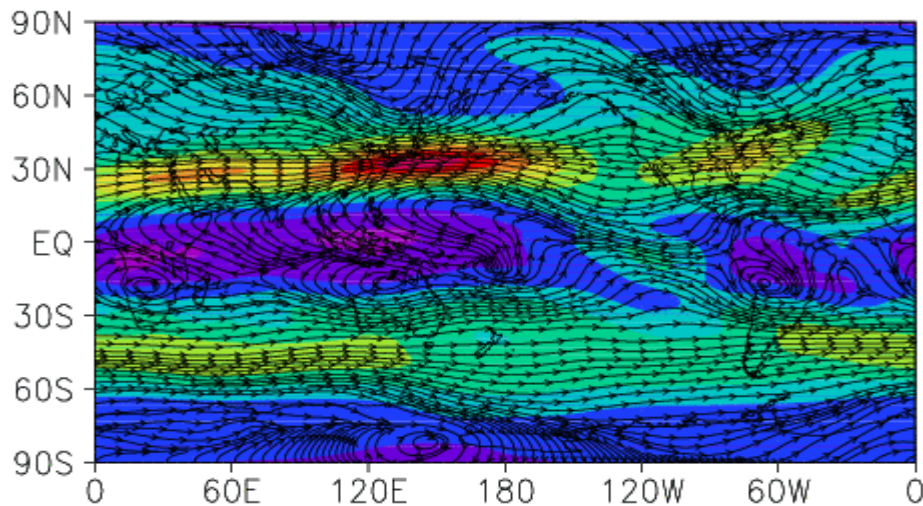
Upward Rad Flux (Top)



I.1) Climatologies Moyennes

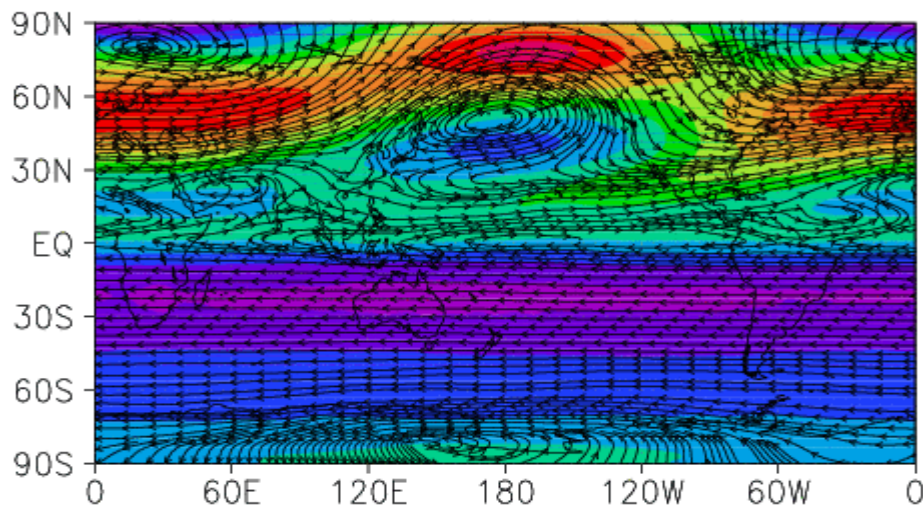
Un exemple flagrant de la différence entre les circulations générales dans la troposphère et la stratosphère

ECMWF (93–97) Vents d hiver
Tropopause (12km)



- En moyenne temporelle et en hiver:
- Les vents dans la troposphère sont vers l'Est dans les 2 hémisphères et aux moyennes latitudes

Stratosphere (40km)



- Les vents dans la stratosphère sont vers l'Est dans l'hémisphère d'hiver, vers l'Ouest dans l'hémisphère d'été

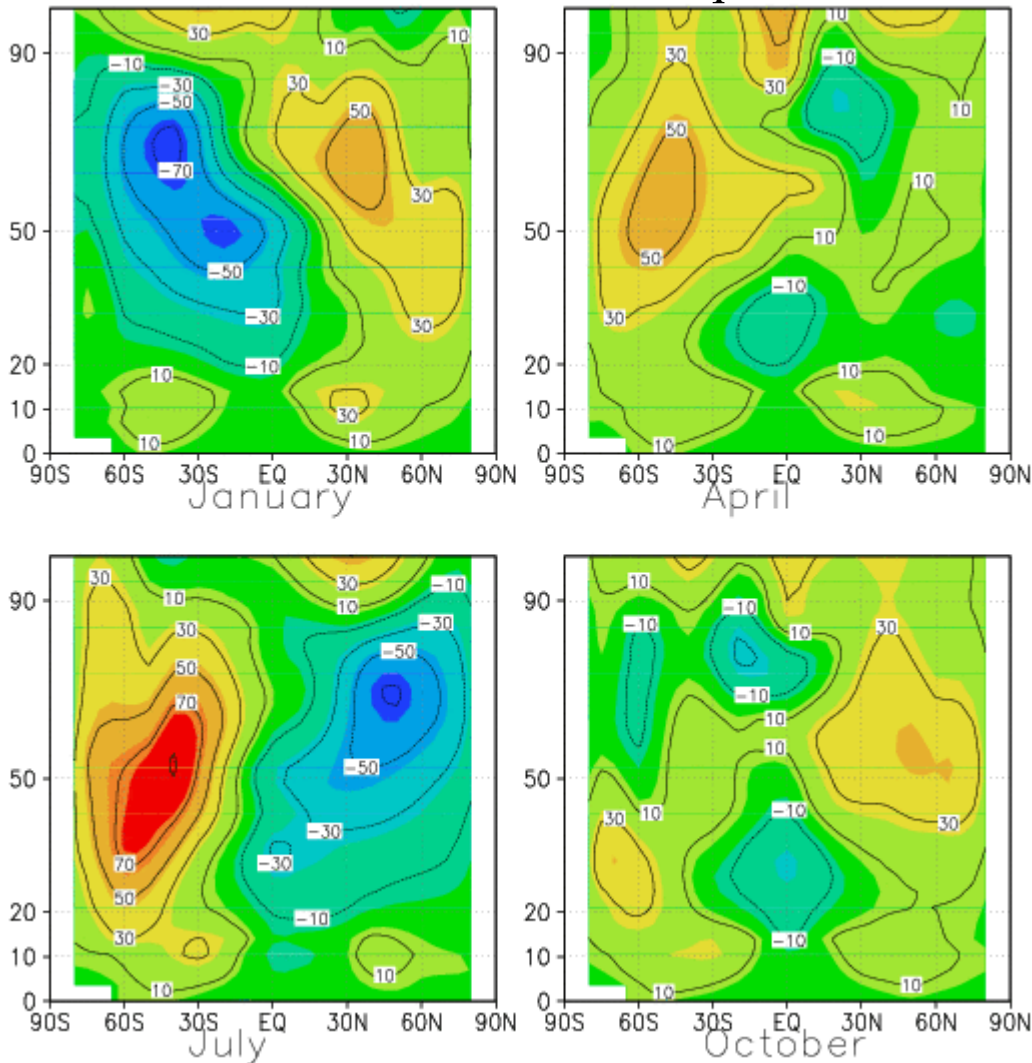
I.1) Climatologies Moyennes

Les moyennes zonales du vent zonal dans l'atmosphère neutre (données CIRA)

U (m/s)

Solstices

Equinoxes



- Dans la moyenne atmosphère (20-90km), on observe des jets vers l'Est dans l'hémisphère d'hiver, vers l'Ouest dans l'hémisphère d'été.
- Au printemps et à l'Automne, les jets sont essentiellement vers l'Est dans toute la moyenne atmosphère.
- A toute saison, il y a 2 jets vers l'Est et aux moyennes latitudes dans la troposphère.

I.2) Interprétations avec un modèle de Saint Venant

Modèle de Saint Venant sur la sphère, version axisymétrique

Equations de base:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{v}{a} \frac{\partial}{\partial \phi}\right) u - \left(2\Omega + \frac{u}{a \cos \phi}\right) v \sin \phi = 0$$

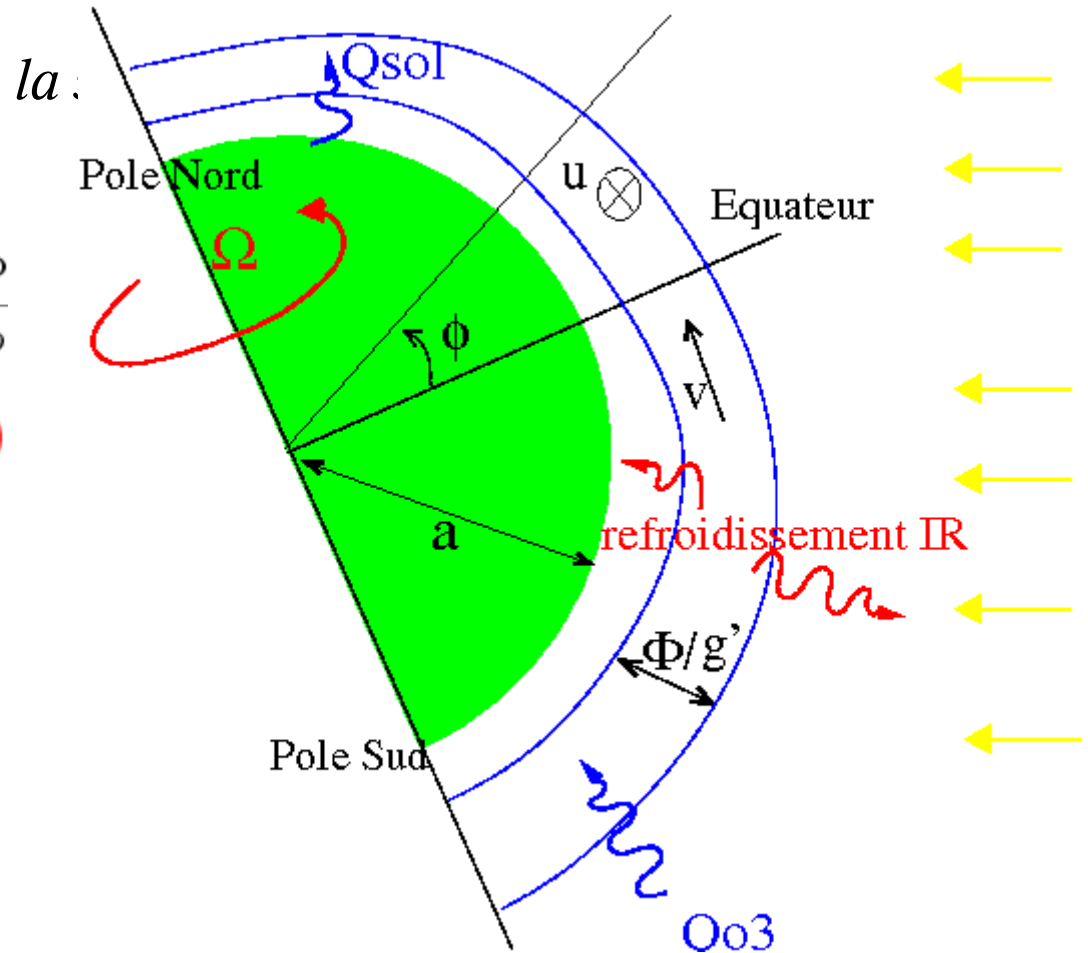
$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{v}{a} \frac{\partial}{\partial \phi}\right) v + \left(2\Omega + \frac{u}{a \cos \phi}\right) u \sin \phi = -\frac{1}{a} \frac{\partial \Phi}{\partial \phi}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{a \cos \phi} \frac{\partial \Phi v \cos \phi}{\partial \phi} = Q - \overline{Q}^\phi - \alpha (\Phi - \Phi_0)$$

Conservation du moment angulaire et force de Coriolis:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{v}{a} \frac{\partial}{\partial \phi}\right) (u \cos \phi + a\Omega \cos^2 \phi) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} u \approx 2\Omega \sin \phi v$$



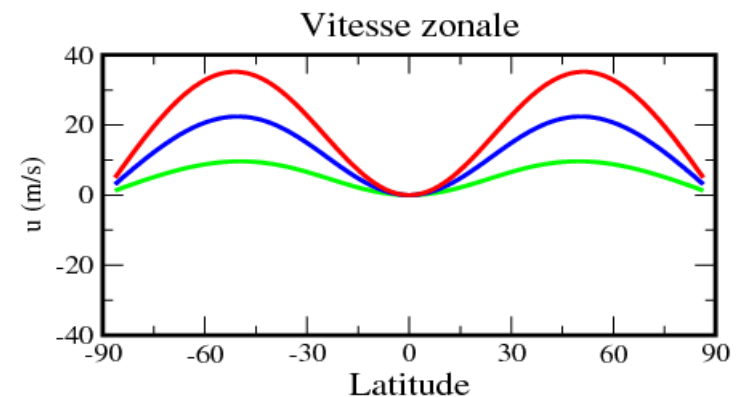
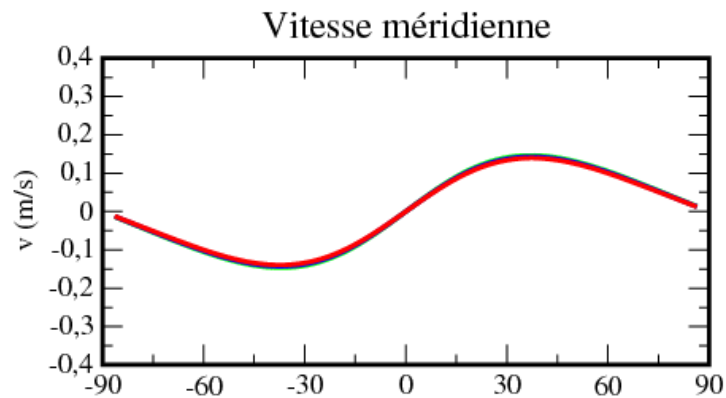
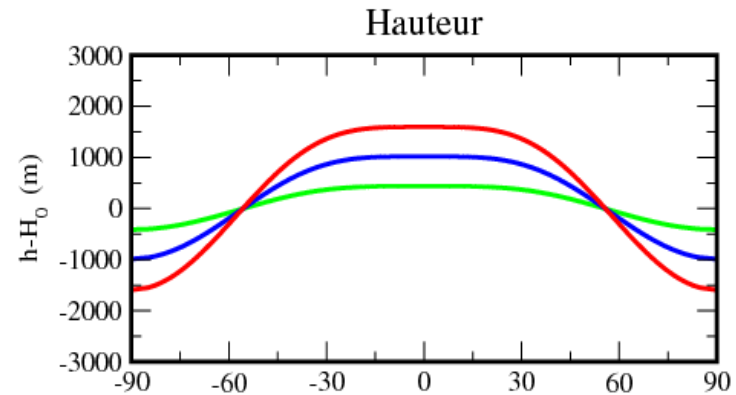
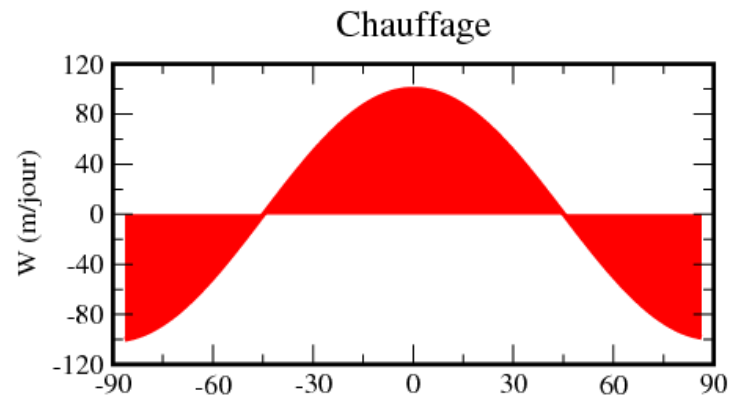
Φ est à la fois le potentiel et l'épaisseur de la couche via Φ/g' , sa valeur au repos est $\Phi_0/g' \sim 60\text{km}$; $g' \sim g$ est une gravité réduite, le temps caractéristique de refroidissement IR $\alpha \sim (1/5 \text{ jours})$.

I.2) Interprétations avec un modèle de Saint Venant

Interprétation avec un modèle simple

Modèle de Saint Venant sur la sphère, version axisymétrique

Forçage troposphérique (ou Equinoxe tropo et strato) pas de refroidissement IR

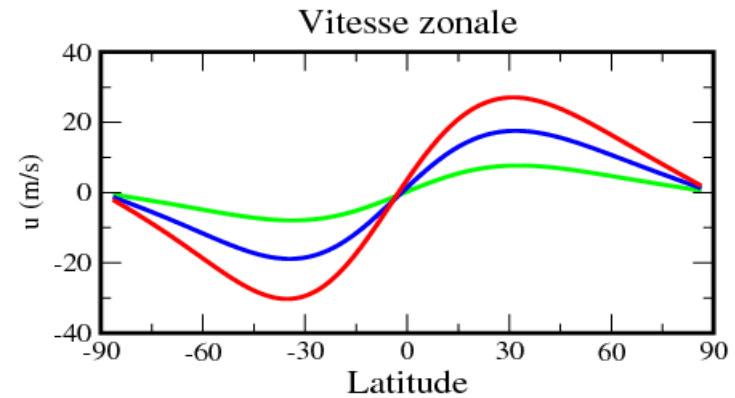
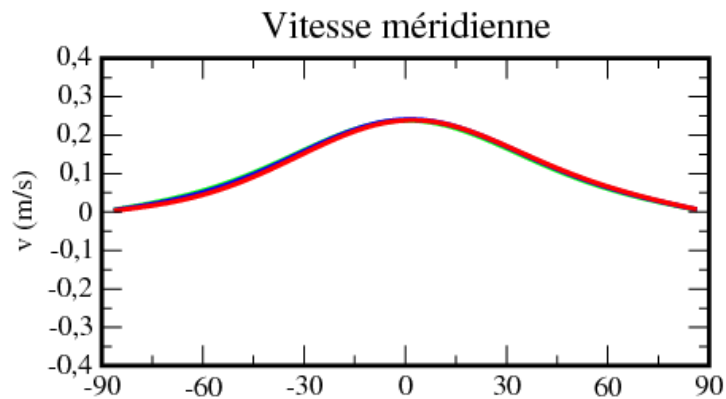
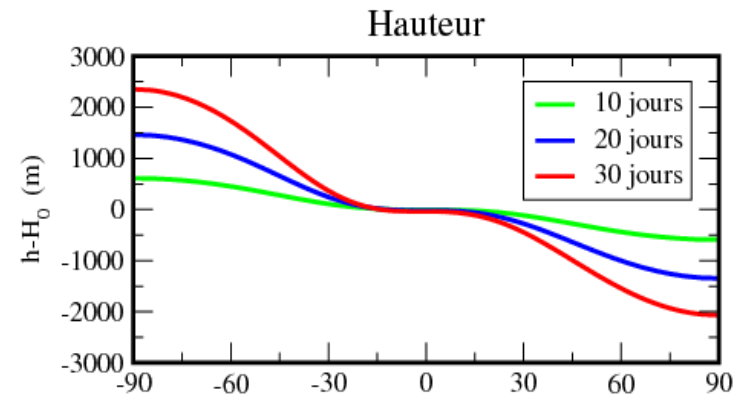
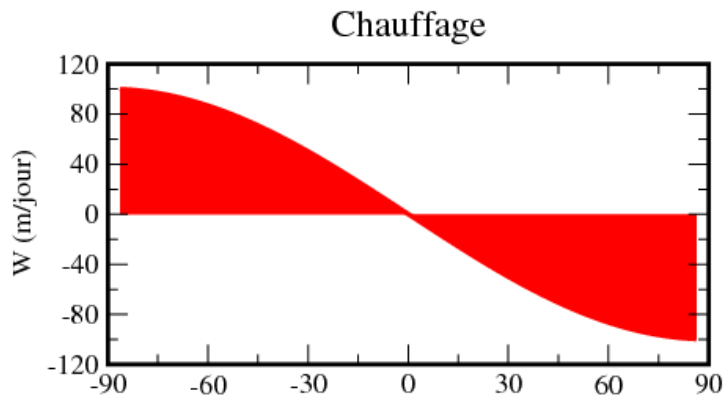


I.2) Interprétations avec un modèle de Saint Venant

Interprétation avec un modèle simple

Modèle de Saint Venant sur la sphère, version axisymétrique

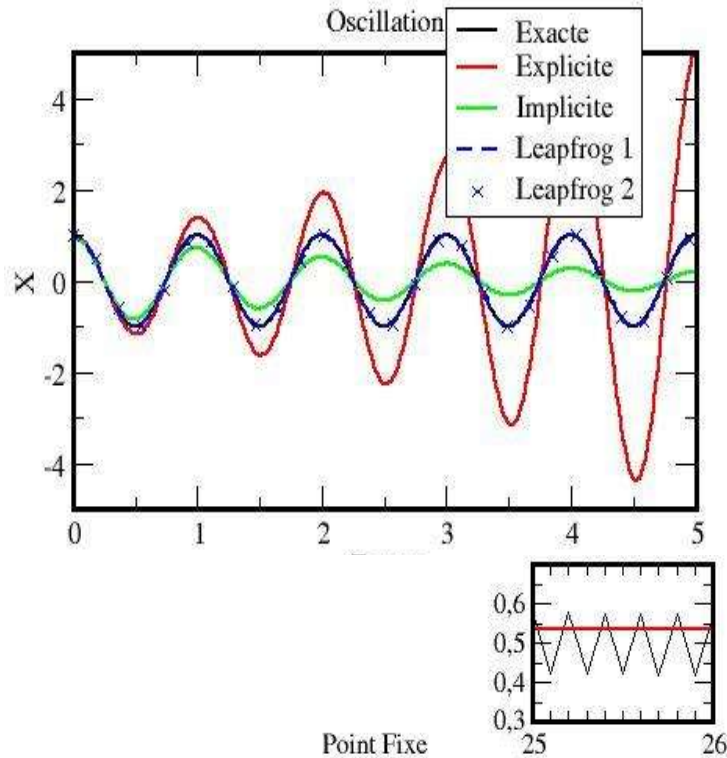
Forçage Stratosphérique, Hiver de l'Hémisphère Nord.



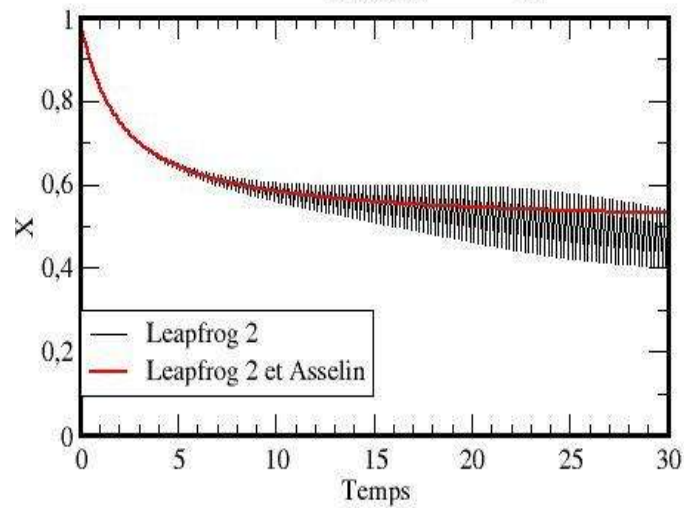
I.2) Interprétations avec un modèle de Saint Venant

Intégration temporelle

Schéma explicites, implicites, leapfrog, et filtre de Asselin



$$\frac{\partial}{\partial t} X = i\omega X$$



$$\frac{\partial}{\partial t} X = - (X - X_0)^2$$