

Initiation à la circulation générale atmosphérique

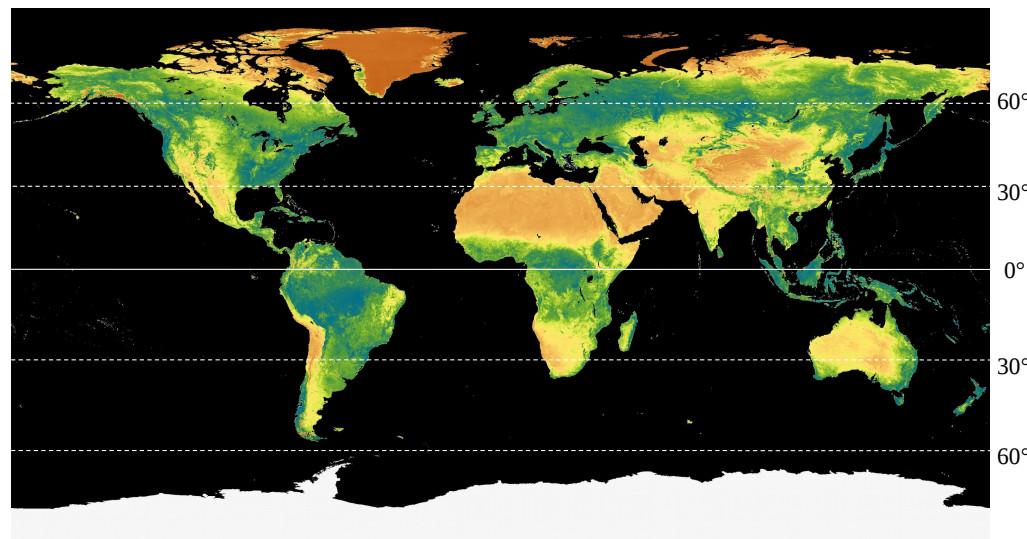
Jean-Louis Dufresne
jean-louis.dufresne@lmd.jussieu.fr

Laboratoire de Météorologie Dynamique (CNRS, UPMC, ENS, X)
Institut Pierre Simon Laplace.

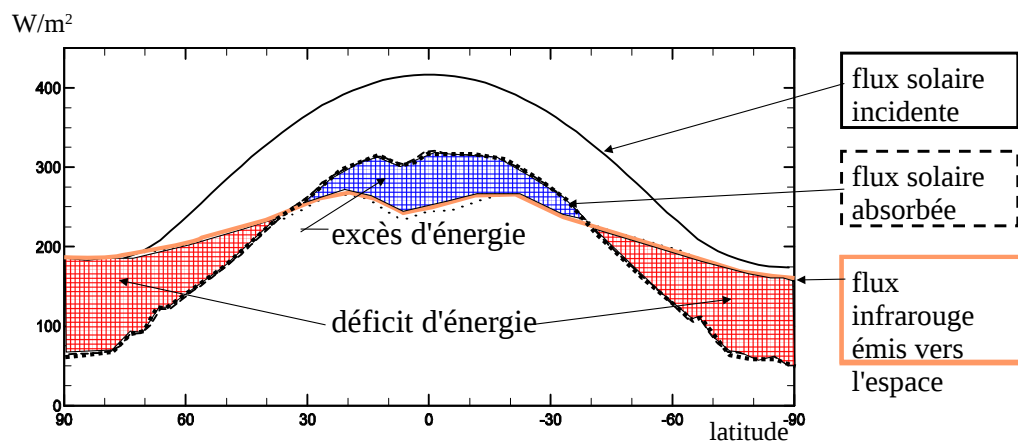


École nationale supérieure des Mines de Rabat, 27-31 mars 2017

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



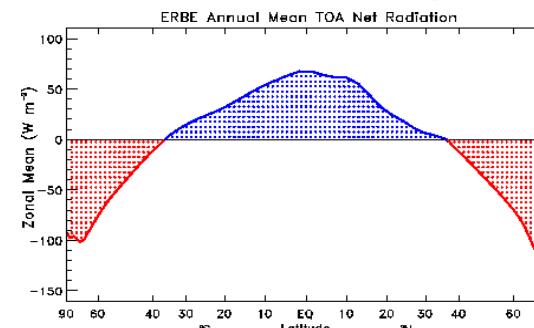
Les redistributions d'énergie en latitude



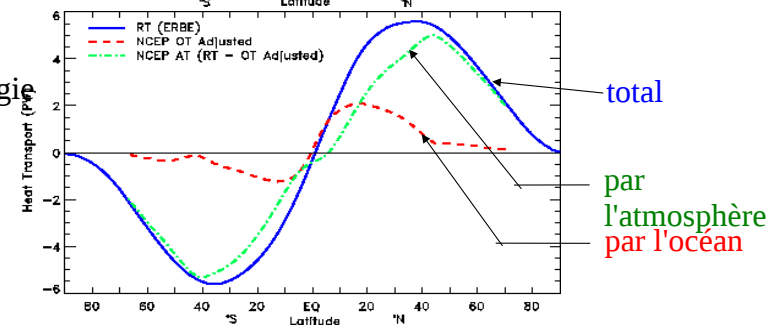
Moyenne annuelle et longitudinale du flux d'énergie radiative au sommet de l'atmosphère évalué par observations satellitaires.

Les redistributions d'énergie en latitude

Bilan d'énergie au sommet de l'atmosphère (W/m²)



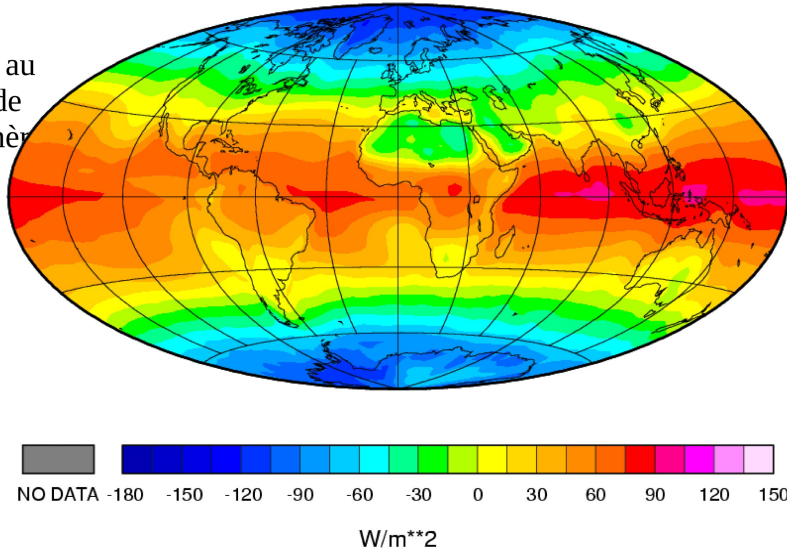
Transport méridien d'énergie (PW, 10¹⁵W)



Les redistributions d'énergie en latitude

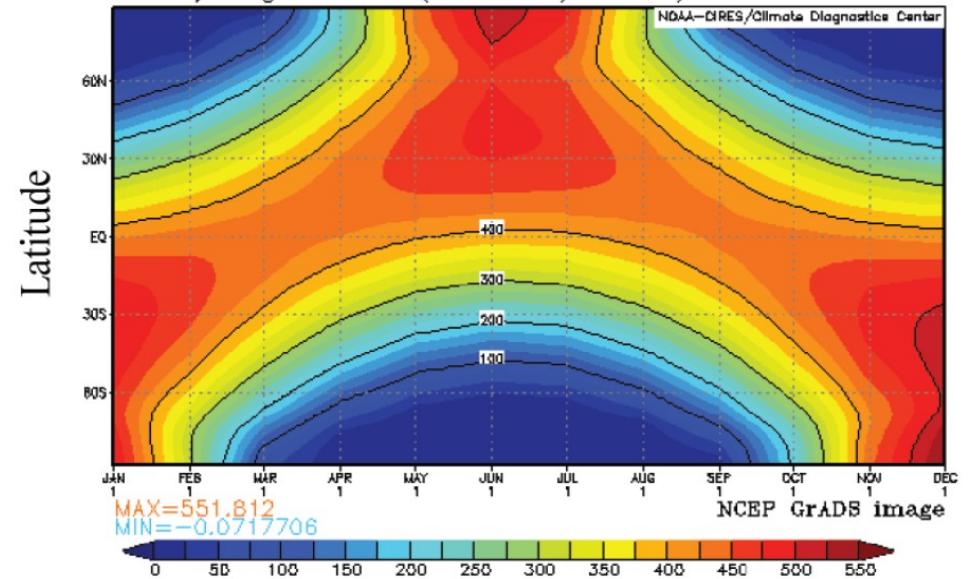
Net Radiation
1985-1986

Bilan
d'énergie au
sommet de
l'atmosphère
(W/m²)

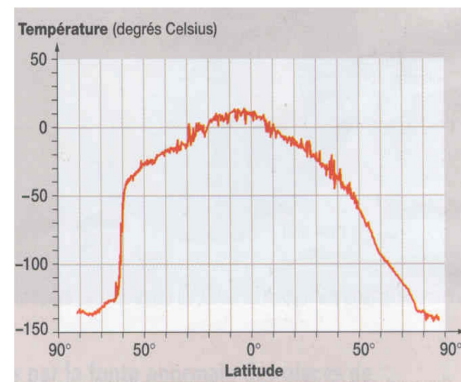
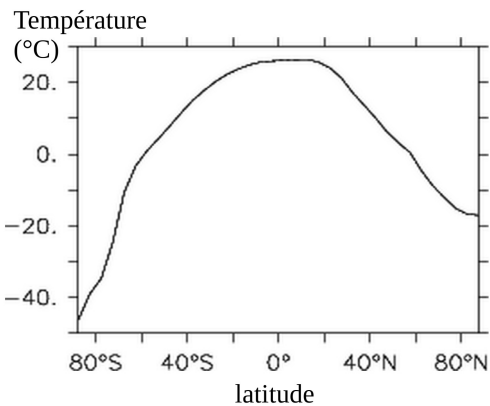


Cycle saisonnier du flux solaire incident au sommet de l'atmosphère

Monthly Longterm Mean (1968-1998) dsurf W/m²



Variation latitudinale de la température sur Terre sur mars



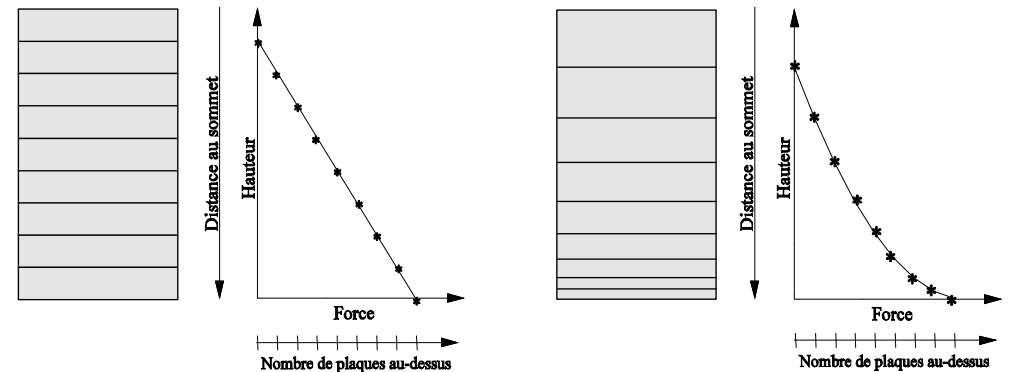
Il y a sur Mars, par rapport à la Terre :

- moins d'effet de serre
- moins de transport d'énergie équateur-pôles (atmosphère plus fine)
- moins d'inertie thermique (pas d'océan)

=> différences de température équateur-pôle plus importante

La pression

1) Pression hydrostatique : elle baisse avec l'altitude



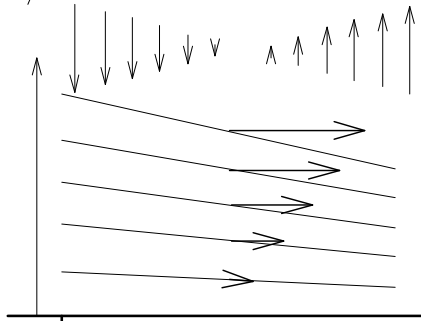
2) Pression dynamique : liée au mouvement des fluides.

Ils se dirigent des hautes vers les basses pressions (en écart par rapport à l'équilibre hydrostatique). Ex: vases communicants

La circulation de Hadley



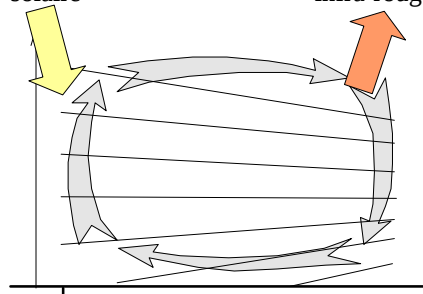
Flux net radiatif



Equateur Pole →

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.

Gain d'énergie par rayonnement solaire

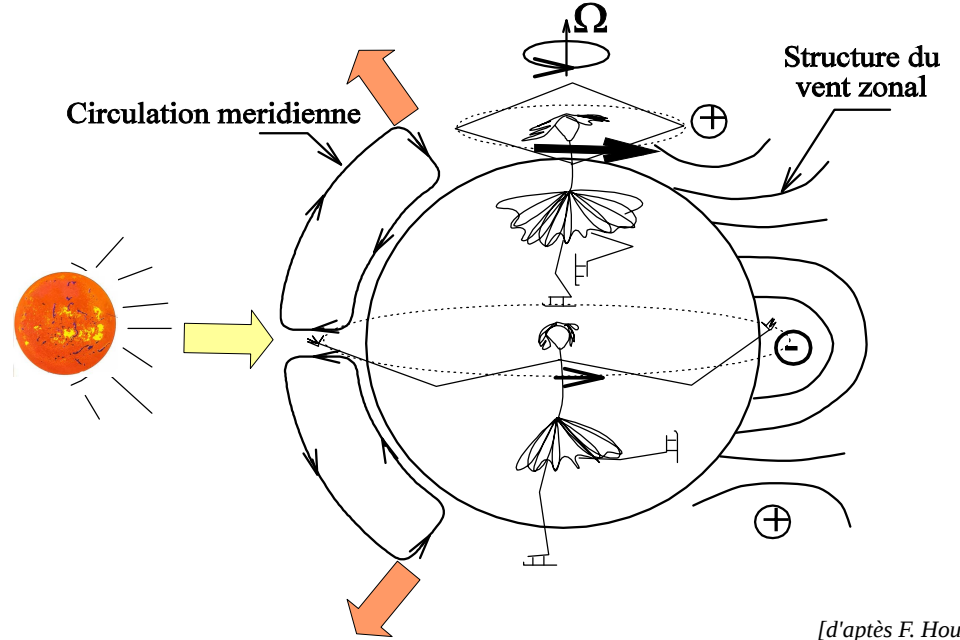


Equateur Pole →

Basse pression en surface (dépression) Haute pression en surface (anticyclone)

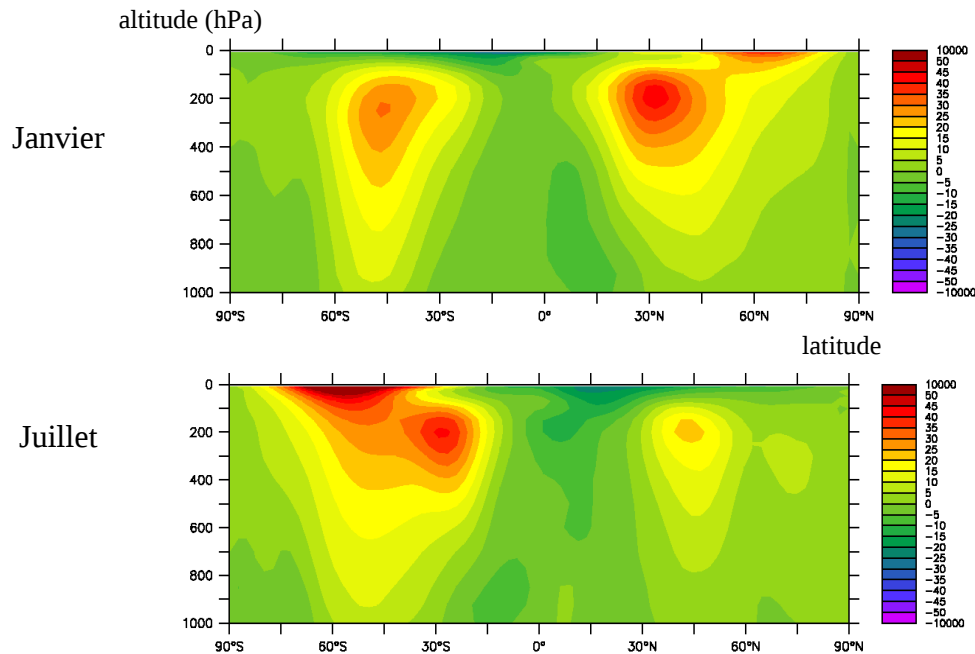
Représentation schématique de la cellule de Hadley

Extension vers le nord de la cellule de Hadley

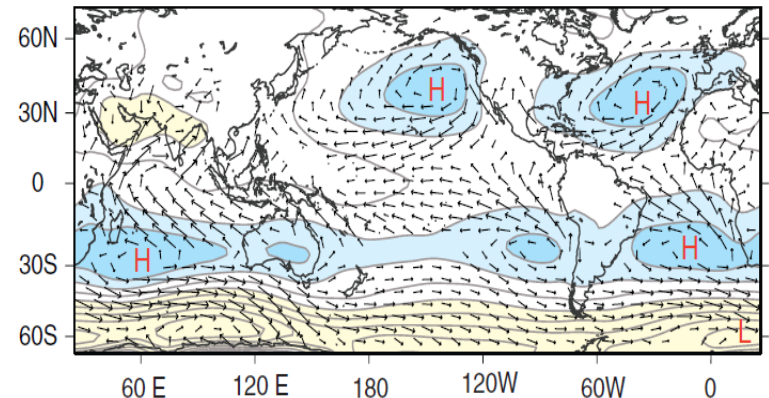
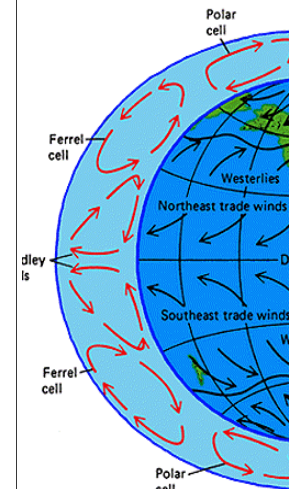
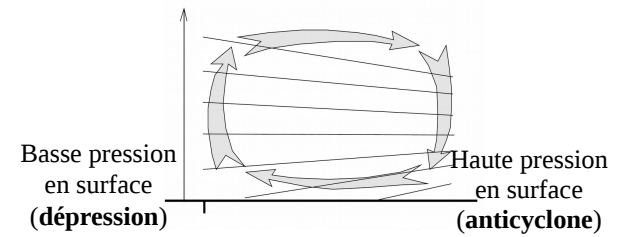


[d'après F. Hourdin]

Vents Zonaux



Circulation générale et pression de surface

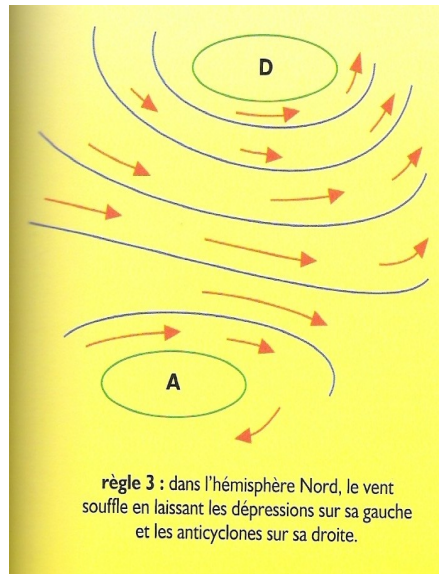
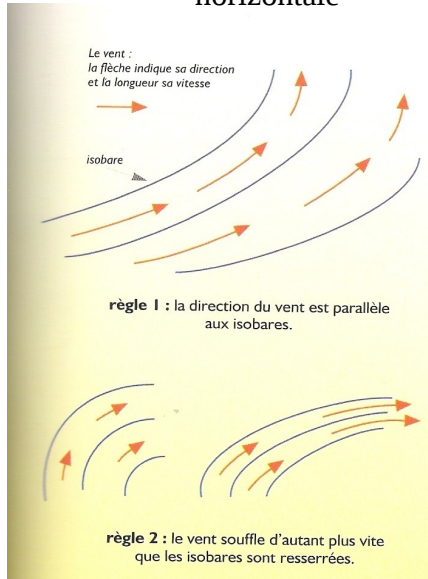


D'après Wallace and Hobbs, 2006

La circulation aux moyennes latitudes. Vent géostrophique

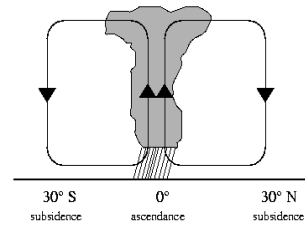
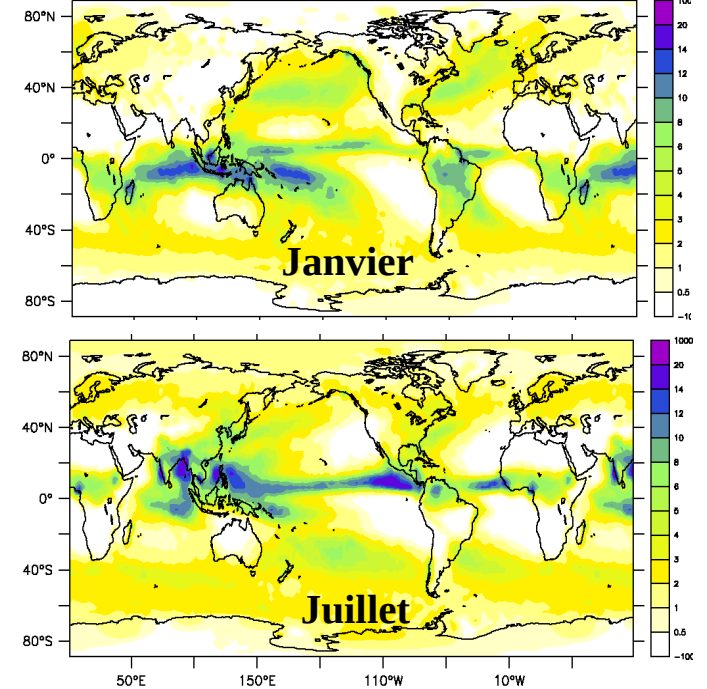
$$f \vec{k} \wedge \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \text{grad} p$$

accélération de Coriolis = force de pression horizontale

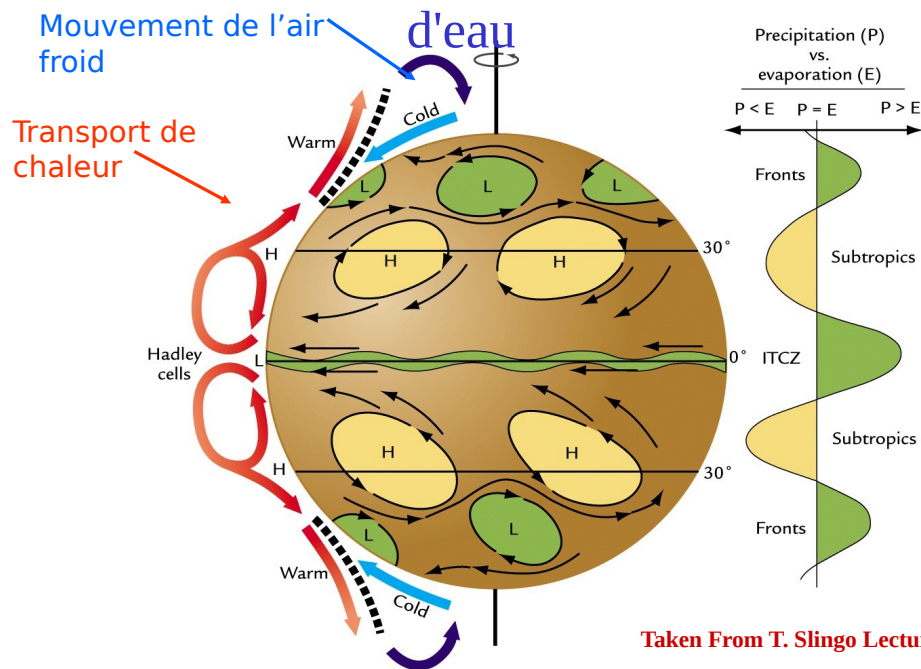


[Renaut, 1997]

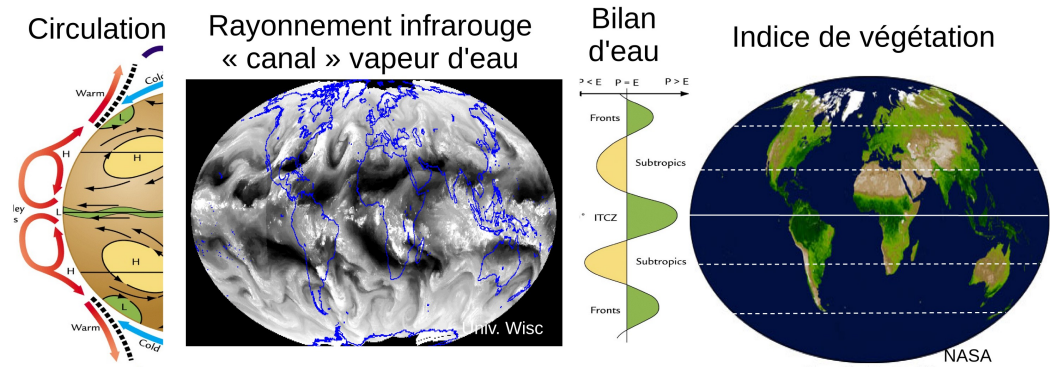
Précipitations (mm/j)



Circulation générale atmosphérique et bilan



L'empreinte de la circulation générale atmosphérique sur la végétation



FIN

Modélisation numérique du climat

Jean-Louis Dufresne

jean-louis.dufresne@lmd.jussieu.fr

Laboratoire de Météorologie Dynamique (CNRS, UPMC, ENS, X)

Institut Pierre Simon Laplace.

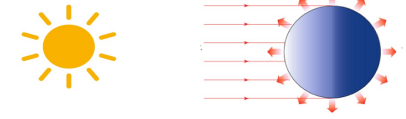


École nationale supérieure des Mines de Rabat, 27-31 mars 2017

Le système climatique

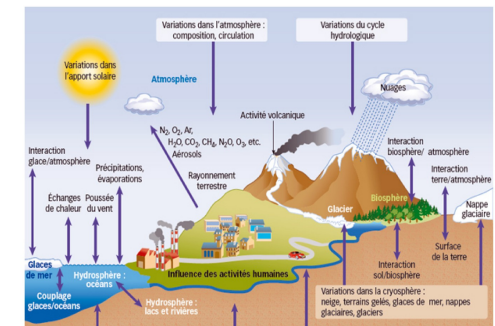
Objet d'études: climat actuel, variabilité interne, variations passées et futures

Système thermodynamique ouvert en pseudo équilibre, en général sans aucun rappel
=> conservation de l'énergie



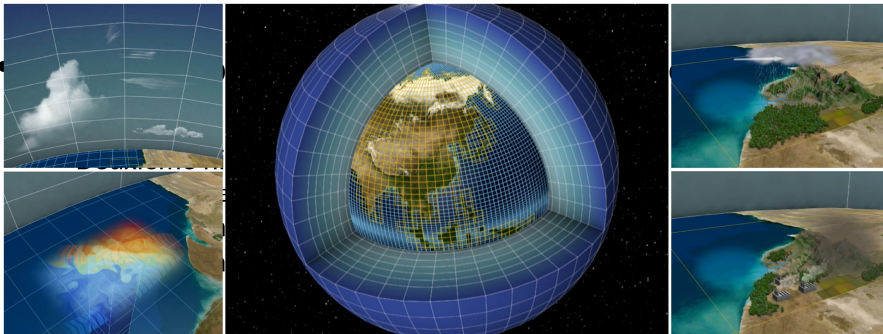
Système :

- Multi-compartiments
- Multi-processus (physique, biogéochimique...)
- Multi-échelle de temps (qq minutes à plusieurs millions d'années)



Modèle de climat

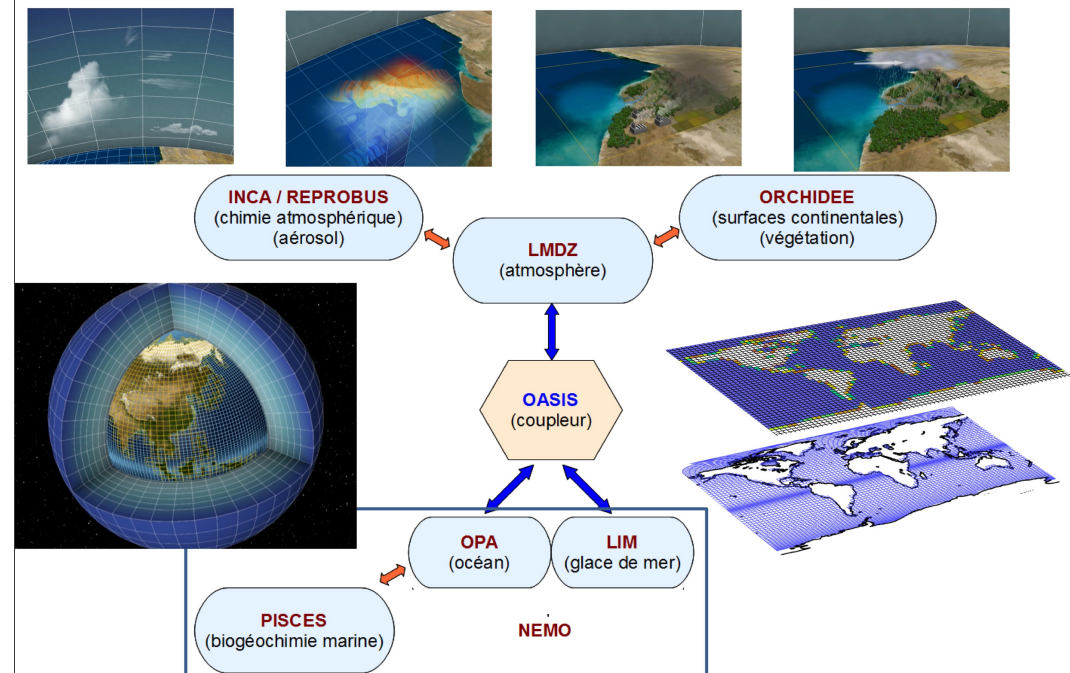
(Modèle de circulation générale)



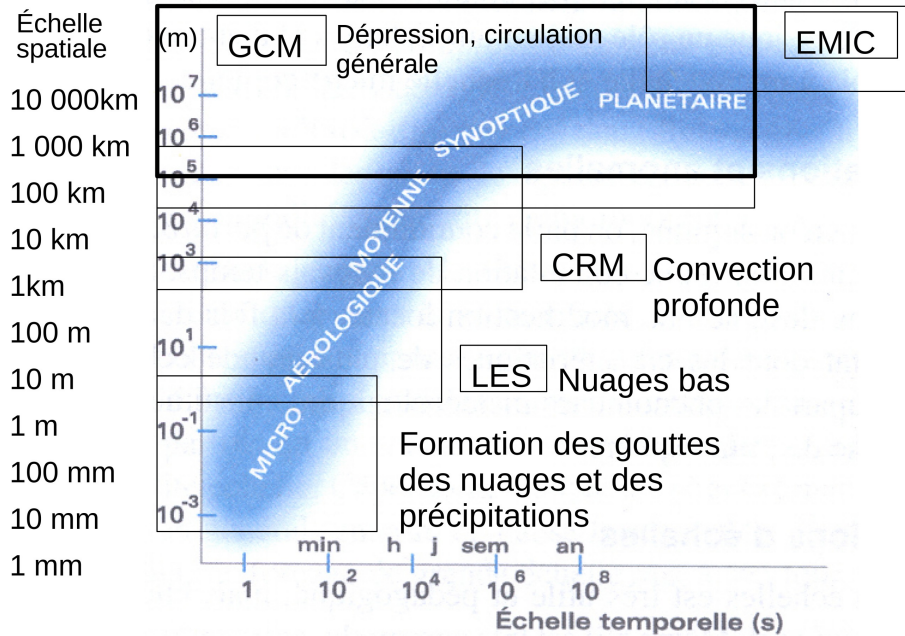
Images issues d'un film présentant la modélisation du climat. Copyright CEA

- Une représentation 3D de l'atmosphère l'océan glaces de mer et surfaces continentales (couplages de différents modèles)
- Une représentation du couplage avec les cycles biogéochimiques dans l'atmosphère l'océan et le continent

Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL



Échelles spatiales et temporelles



Modèles de circulation générale (GCM)

Equations de GCM atmosphérique (extraits)

Equations dynamiques en coordonnées pression

$$\left\{ \begin{array}{l} \partial_t \vec{V} = -(\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} - \omega \partial_p \vec{V} - \nabla \Phi - f \vec{k} \times \vec{V} + \vec{S}_v \\ \nabla \cdot \vec{V} + \partial_p \omega = 0 \\ \partial_t q = -\vec{V} \cdot \nabla q - \omega \partial_p q + S_q \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \Phi = gz \text{ geopotentiel} \\ \omega = \partial_t p \text{ vitesse vert.} \\ q = \text{humidité spécifique} \end{array} \right. \quad (1)$$

Annotations: transport, gravité, Coriolis, Sources

\vec{S}_v et S_q : termes source déterminés par les **paramétrisations physiques**:

- couche limite planétaire
- convection profonde (Gros cumulus et cumulonimbus)
- nuages
- processus radiatifs
- orographie
- sol

Schéma de transport

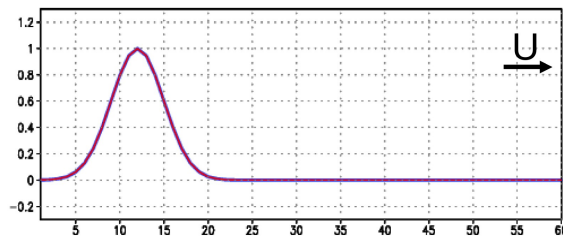
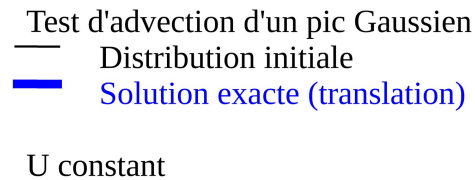
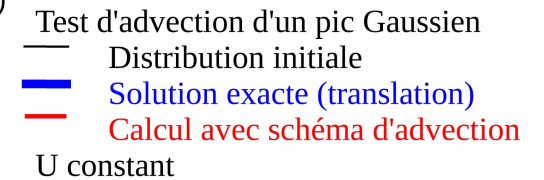
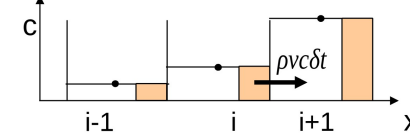


Schéma amont (Godunov, 1952)



Advection avec le schéma amont ou semi-lagrangien d'ordre 1

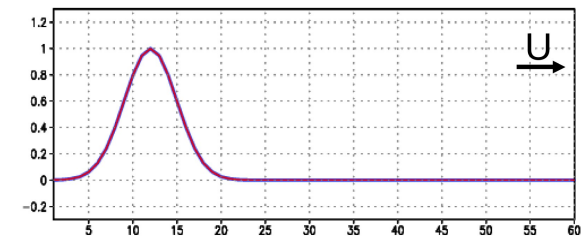
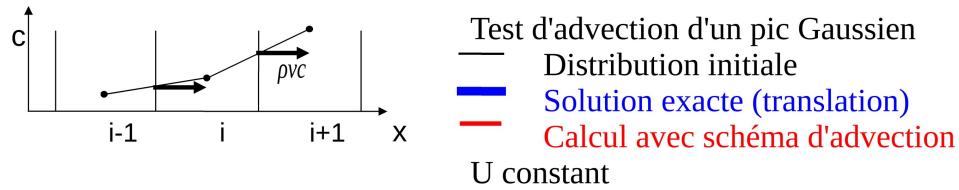


Schéma diffusif et peu précis

Différences finies centrées (second ordre)



Advection avec le schéma en différences finies centré d'ordre 2

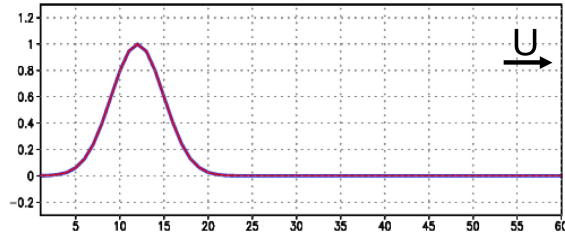
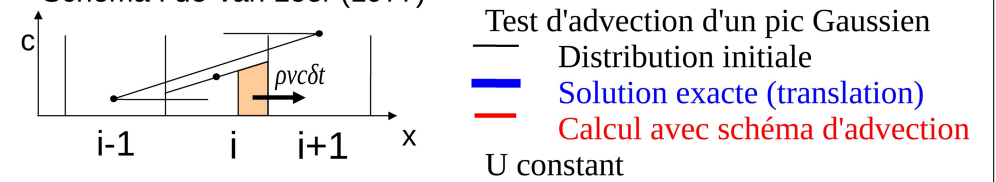
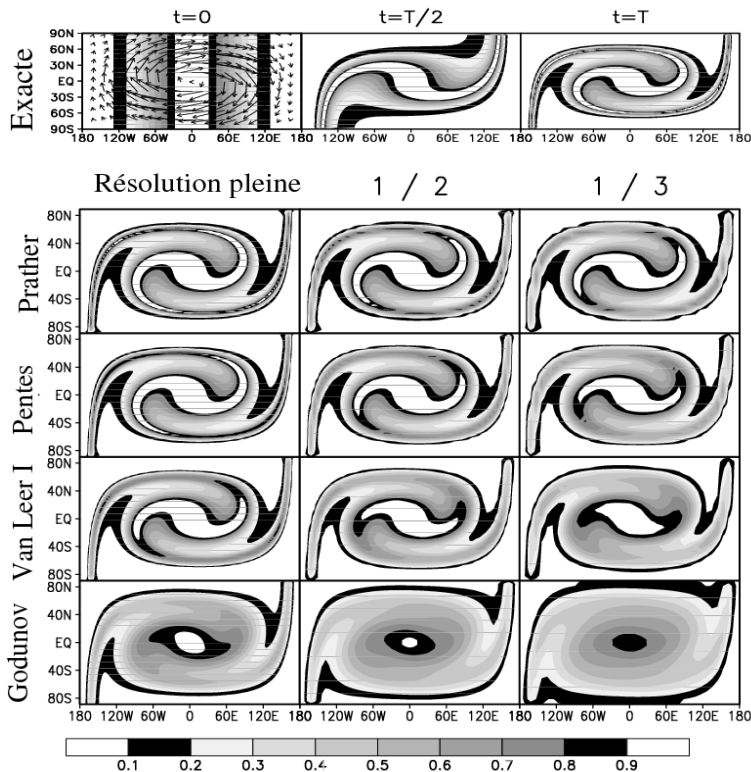
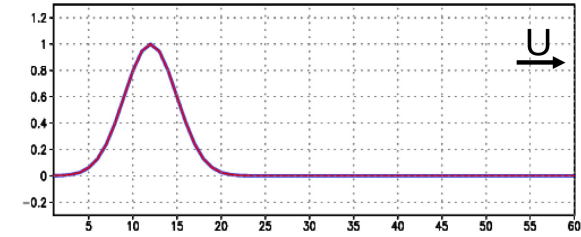


Schéma précis mais création de valeur négative et instabilité

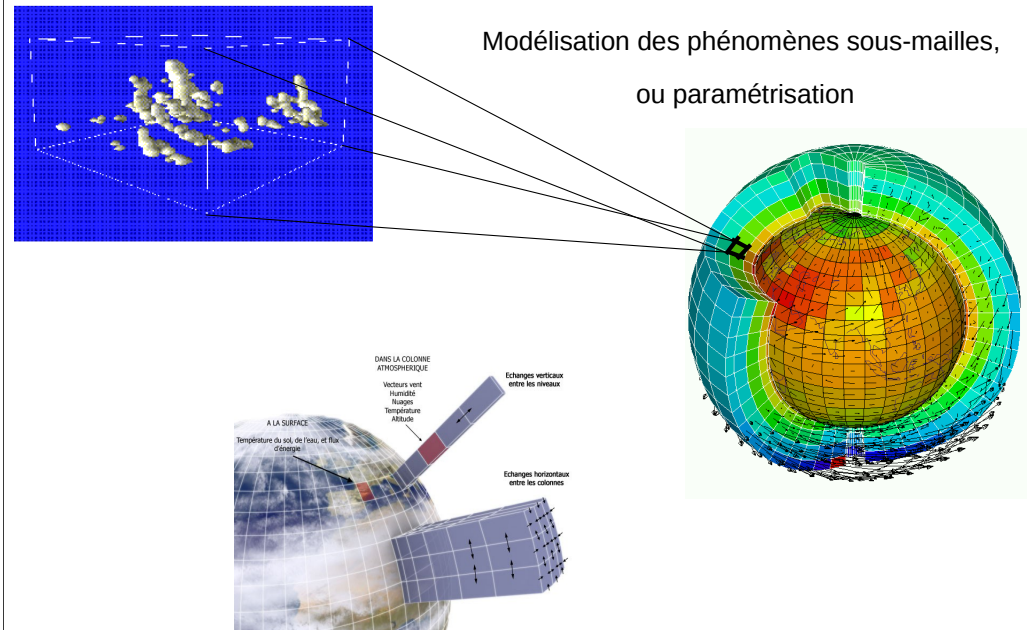
Schéma I de Van Leer (1977)



Advection avec le schéma volumes finis d'ordre 2 de Van Leer



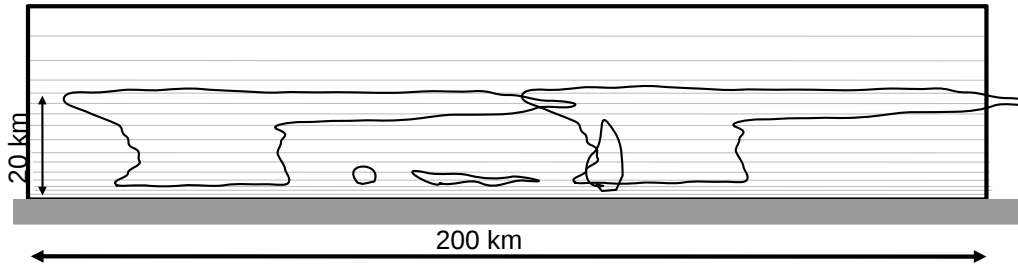
Discrétisation



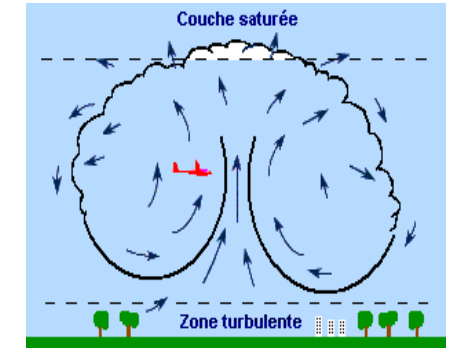
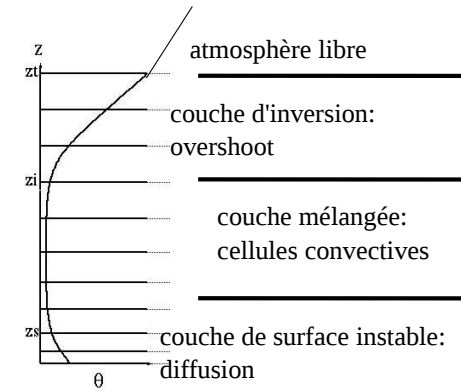
Discrétisation

- **Incrément temporel** : de quelques minutes à une demi-heure, selon la technique d'intégration.
- **Grille horizontale** : maille allant de 30 à 300 km.
- **Grille verticale** : maille allant de 20 à 100 m au niveau du sol, de 500 à qqs km dans la stratosphère.

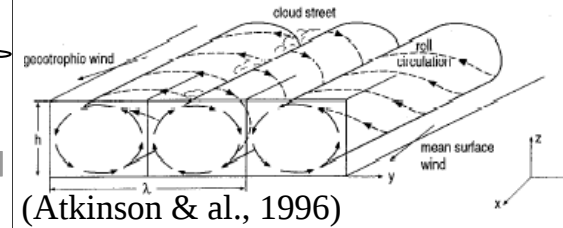
Colonne atmosphérique typique:



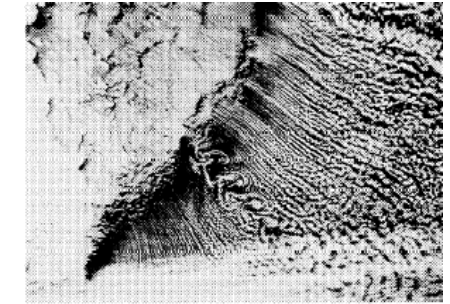
La couche limite atmosphérique convective



<http://www.astrosurf.org/lombry/meteo-vol-a-voile.htm>



(Atkinson & al., 1996)

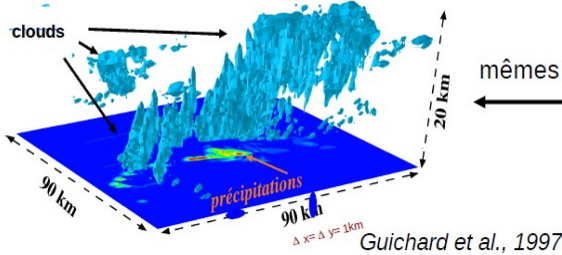


Amélioration de la représentation des processus dans les modèles

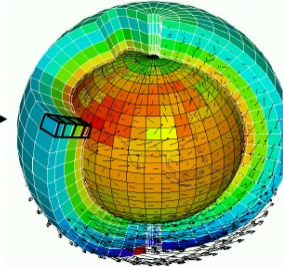
Développement de paramétrisations en se basant sur l'analyse fine des processus physiques

Simulations LES/CRM

LMDZ en mode unicolonne

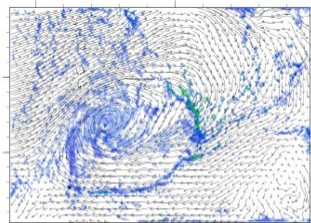


mêmes forçages

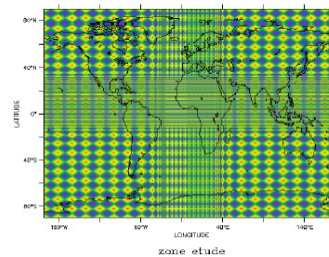


Simulations CRM grands domaines

LMDZ en mode zoomé/guidé et/ou initialisé



mêmes forçages



Comment et pourquoi développe-t-on des modèles climatiques?

- Il n'est pas possible de bâtir un modèle climatique (ou météorologique) complet à partir des lois physiques fondamentales
- Construire un modèle c'est construire une représentation simplifiée et approchée des phénomènes physiques dans le but de répondre à des objectifs donnés
- Cette représentation repose sur un découpage du système puis un raccordement des sous-parties
- Il y a des options très différentes pour faire les découpages, simplifications et approximations, qui doivent être cohérents pour un modèle mais peuvent être très différents d'un modèle à l'autre