

Le climat en équations

Le modèle climatique

Les modèles climatiques sont basés sur les lois fondamentales de la physique appliquées aux fluides connues sous le nom d'**équations de Navier-Stokes** (que l'on sait pas résoudre de façon exacte).

Équations de Navier-Stokes au point $M(x_1, \dots, x_N)$

Paramètres
 Densité du fluide Vecteur vitesse Viscosité du fluide Pression Forces (densité massique de -)

$$\rho(\mathbf{u}_t + (\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u}) - \nu \Delta \mathbf{u} + \nabla p = \mathbf{f}$$

$$\operatorname{div} \mathbf{u} = 0$$

Définies dans un domaine borné et régulier représentant une région de l'espace à N dimensions.

Opérateurs différentiels

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial}{\partial x_N} \right)$$

$$(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = \sum_{i=1}^N u_i \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x_i}$$

$$\Delta \mathbf{u} = \sum_{i=1}^N \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial x_i^2}$$

$$\operatorname{div} \mathbf{u} = \sum_{i=1}^N \frac{\partial u_i}{\partial x_i}$$

Météorologie vs climat

Il est fréquent de confondre **météorologie** et **climat**.

La météorologie s'intéresse au temps qu'il fait à l'échelle de quelques jours, le climat concerne son comportement statistique à des échelles d'au moins quelques dizaines d'années.

Il est impossible de prévoir la météo au-delà de 15 jours : c'est **l'effet papillon** (système **chaotique**).

Par contre, on peut prévoir son **comportement statistique** qui est prévisible plusieurs d'années à l'avance.

C'est du même ordre que prévoir précisément l'évolution de la **température moyenne** dans une casserole d'eau selon le réglage de la flamme, alors que l'on est incapable d'anticiper le comportement exact de chaque molécule.

Réchauffement climatique

Le changement actuel climatique est un fait avéré scientifiquement : la température moyenne a augmenté de $+1^\circ$ depuis le début de l'ère industrielle.

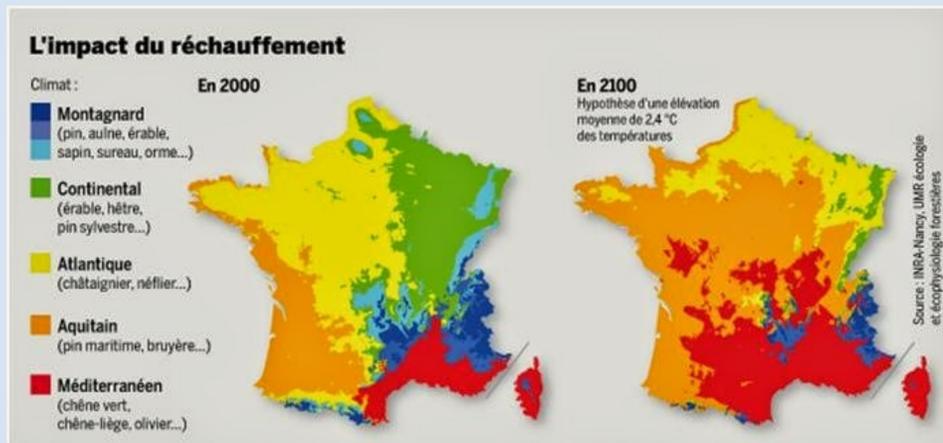
Le réchauffement climatique est dû essentiellement à l'augmentation du dioxyde de carbone dans l'atmosphère causée par les activités humaines.

Suivant les modèles climatiques, plusieurs futurs sont possibles : augmentation de la température de $+2^\circ$ à $+4.5^\circ$ à la fin du siècle.

Modèles numériques

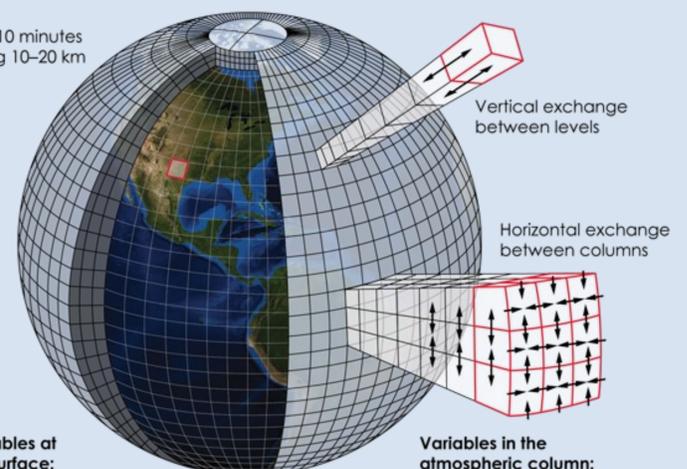
On cherche des **solutions approchées** à l'aide de simulation numérique sur ordinateur. On découpe l'atmosphère en un grand nombre de mailles de 100 kilomètres de côté.

Idéalement, elles devraient être de quelques kilomètres, mais le nombre de calculs à effectuer dépasserait les capacités des plus puissants supercalculateurs.



Weather forecast modeling

Timestep 5-10 minutes
 Grid spacing 10-20 km



Variables at the surface:

Temperature
 Humidity
 Pressure
 Moisture fluxes
 Heat fluxes
 Radiation fluxes

Variables in the atmospheric column:

Wind vectors
 Humidity
 Clouds
 Temperature
 Height
 Precipitation
 Aerosols