

Mécanique des fluides et complexité dans la dynamique de l'atmosphère

Circulation atmosphérique

La circulation atmosphérique est le mouvement à l'échelle planétaire de la couche d'air entourant la Terre qui redistribue la chaleur provenant du Soleil en conjonction avec la circulation océanique. Une de ses caractéristiques majeures est la formation de cellules de convection, comme les cellules de Hadley dans les régions tropicales.

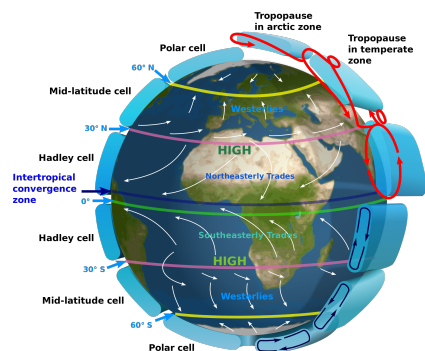


Schéma de la circulation atmosphérique globale (NASA).

Convection thermique

La convection thermique désigne l'ensemble des mouvements d'un fluide soumis à des différences de température; sa cause physique est la poussée d'Archimède. Le mouvement du fluide présente des caractéristiques différentes selon la différence de température qui est imposée: si elle n'est pas très grande un mouvement régulier, organisé dans des structures cellulaires, est observé; pour des plus importantes différences de température les cellules convectives deviennent instables et un mouvement irrégulier de type turbulent apparaît.

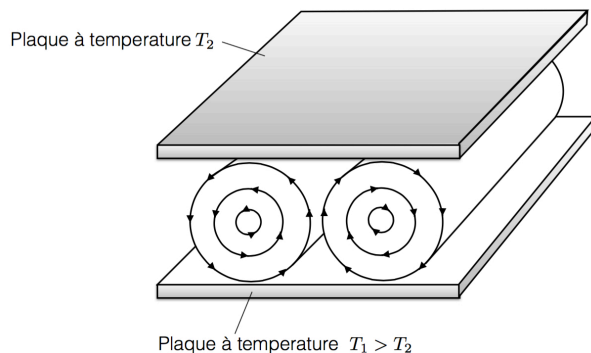
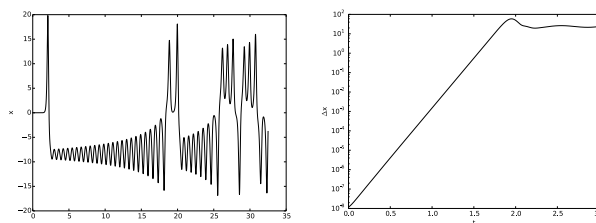
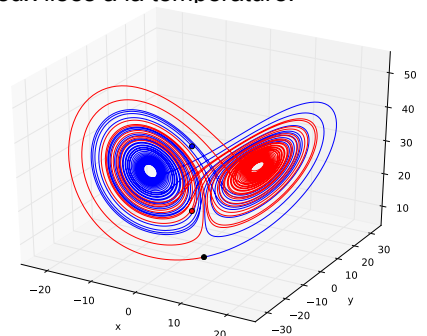


Schéma des cellules de convection dans une expérience de laboratoire.

Prévisibilité: un modèle simple

Le mouvement convectif du fluide est régi par les lois de la dynamique des fluides et de la thermodynamique. Malgré les équations qui traduisent mathématiquement ces lois soient connues, elles sont très complexes. Leur étude détaillée est très difficile, même à l'aide d'un ordinateur très puissant. En 1963 le météorologue Lorenz en conçut une simplification drastique (un modèle), en retenant seulement les caractéristiques essentielles du problème original. Dans ce modèle, l'état du fluide est spécifié par trois variables: x , liée à la vitesse du fluide, y et z , les deux liées à la température.



En haut: attracteur papillon de Lorenz, les courbes rouge et bleue sont les trajectoires de deux points initialement très proches; en bas: évolution de la variable x en fonction du temps (à gauche), croissance d'une petite perturbation au cours du temps (à droite).

Pour des valeurs des paramètres pour lesquelles les cellules convectives sont instables, l'évolution temporelle du système est très complexe. Un point de coordonnées (x,y,z) décrit une trajectoire irrégulière sur un ensemble géométrique non banal appelé attracteur. Deux points initialement très proches s'éloignent très vite: une petite perturbation est rapidement amplifiée. C'est l'effet papillon: une toute petite cause peut avoir une grande conséquence! Cette forte dépendance des conditions initiales est une propriété intrinsèque du système qui permet de le qualifier de chaotique. Cela implique l'impossibilité pratique de prévoir l'état du système après un certain temps. Dans l'atmosphère ce temps est de l'ordre de dix jours: après, une petite erreur sur l'état initial, inévitable, résultera tellement amplifiée que la prévision n'aura plus aucun sens.