

eduplanet

modéliser des planètes
pour comprendre la physique du climat

Aymeric SPIGA et Jean-Baptiste MADELEINE



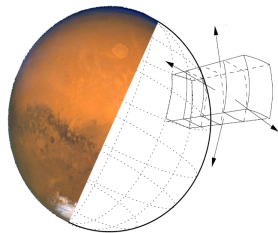
Enseigner la Physique à l'Université 2017

Jupiter zonal jets seen by Cassini

Exemple pratique d'un modèle de climat global

Partie 1 $\Rightarrow$ Coeur dynamique 3D

Calcul des mouvements atmosphériques et du transport par intégration des lois hydrodynamiques, à savoir conservation de quantité de mouvement, de masse, d'énergie, de traceurs



Partie 2 $\Rightarrow$ Paramétrisations physiques 1D

En chaque point de grille, calcul des forçages

- Transfert radiatif dans l'atmosphère (CO_2 , poussières, etc...)
- Thermique de la surface et du sous-sol
- Processus dynamiques non résolus (e.g. mélange vertical convectif, ondes de gravité)
- Changements d'état : condensation/sublimation des glaces, microphysique des nuages
- Soulèvement de matériel depuis la surface (poussières)
- Réactions chimiques et photochimiques dans l'atmosphère (ozone, méthane, ...)

1. Notre modèle climatique “générique” de recherche

Exoplanètes [Wordsworth et al. ApJ Letters 2011] Terre primitive [Charnay et al. JGR 2013]

Mars ancien [Turbet et al. Icarus 2017] Planètes géantes [Guerlet et al. Icarus 2014]

2. Surcouche pour simplifier réglages, simulations, figures

- 👉 Version dégradée pour simulations rapides
- 👉 Possibilité de sophistiquer au fur et à mesure

3. Une idée de projet formulée par les étudiants

- 👉 Pas de projet clé en main. Stratégie de modélisation à trouver
- 👉 Approche heuristique (découverte, exploration)
- 👉 But final: comprendre des mécanismes physiques

Unités d'enseignement

3T054 Climats-Paléoclimats

Licence Sciences de la Terre. Evolution des climats présents et passés.

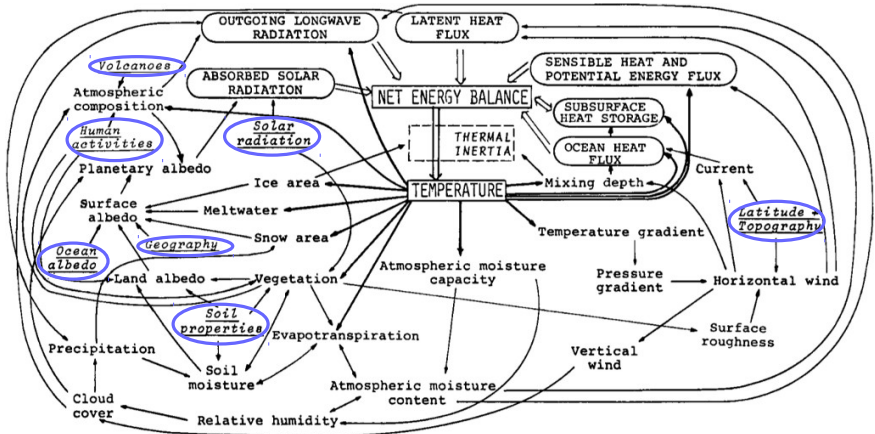
3P033 Océan, Atmosphère, et Énergies Renouvelables

Licence de Physique. Projets orientés sur l'évaluation de la ressource.

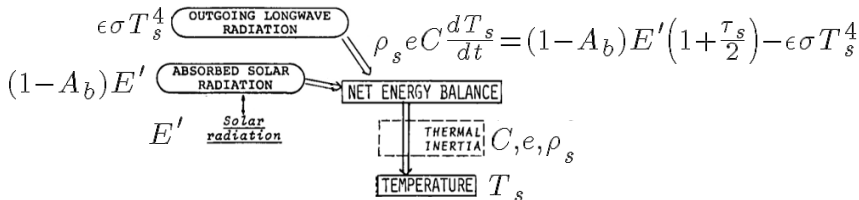
3T602A Stage en laboratoire

Licences. Petit projet eduplanet sur un de nos thèmes de recherche.

Processus modélisés dans un GCM complet



Processus modélisés au départ dans eduplanet

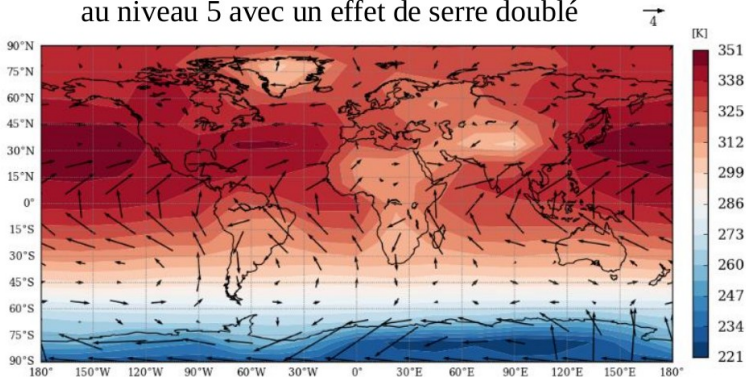


Climat actuel et futur

L'éolien et le chgt climatique

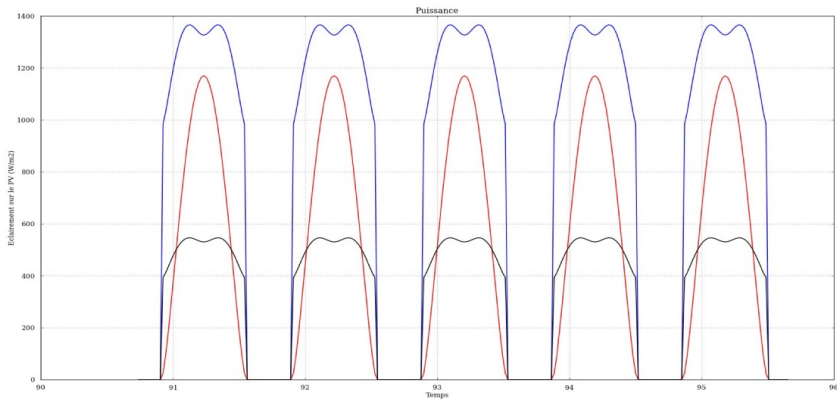


Figure 10: Carte de la température et des vents
au niveau 5 avec un effet de serre doublé



Climat actuel et futur

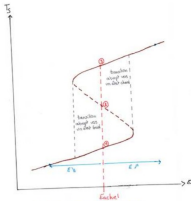
Énergie solaire à Paris



Noir – Puissance produite ; Rouge : PV horizontal ; Bleu : PV incliné de 45°

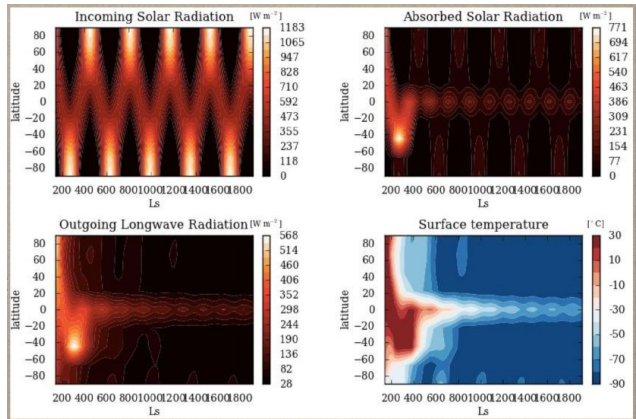
Paléoclimats

La Terre « boule de neige »



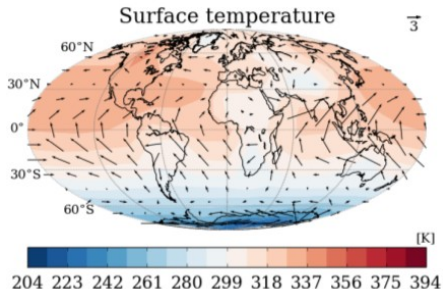
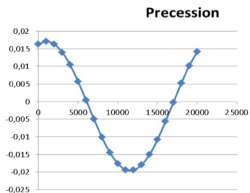
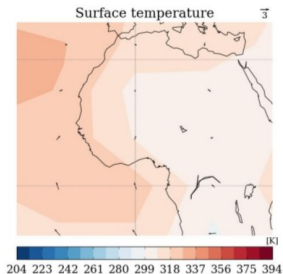
Albedo = 0.9
 $p(\text{CO}_2) = 70 \text{ ppm}$
 Obliquité = 60°

« Terre englacée
 peu vraisemblable »



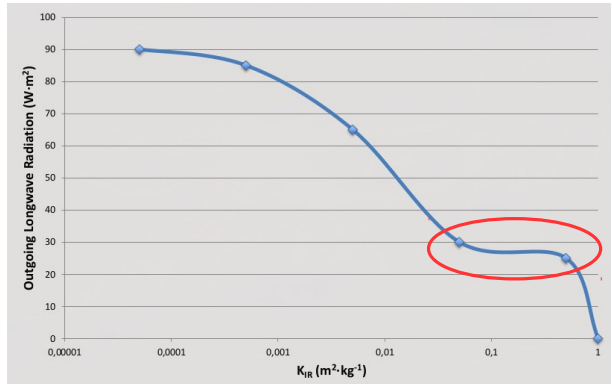
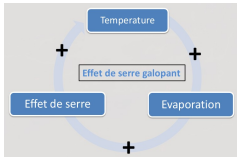
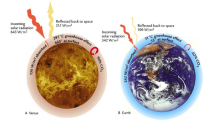
Paléoclimats

Le « Sahara vert »



Planétologie

L'effet de serre galopant sur Vénus



Un bilan positif et instructif

- Compréhension accrue de la **théorie** → la modélisation donne vie aux équations (correctement ou pas !)
- Permet d'aborder des **modèles conceptuels** (diagrammes systémiques) en plus des modèles quantitatifs classiques
- Appréciation de l'importance des **approximations** en Physique (différence entre modèle faux et approximations trop fortes)
- Encourage la **créativité** → ajout de nouveaux processus
- Sensibilisation à la **démarche expérimentale** : observation géologique / spatiale → hypothèse → expérience numérique → Confirmation ou réfutation de l'hypothèse initialement formulée
- Nouvelles technologies → sensibilisation à la « **fuite en avant** » permise par de tels modèles