

**CENTRALE
LYON**

ÉCOLE CENTRALE LYON

BERNARD L'HERMITE

JUIN 2025

RAPPORT

Synthèse du Projet CREPES : Pistes pour la suite

Élèves :

Baptiste BONELLI Zahara NASR Léo
YOUSSEFI

Blandine DALLÈS Mélusine RIONDET
Nolane LAVENU

Line LEMMET-VIDAL Soufiane
KABCHI Maxence LUCAS MOREL
Lilas BESSON Celyan DERPET

Enseignant :

CHEVEREAU - BERNARD

Table des matières

1	Code principal	2
2	Convection	2
3	GUI	2
4	Pistes	3
4.1	Variation de la température avec l'altitude	3
4.2	Température initiale en fonction du jour de l'année et de la zone géographique	3
4.3	Découpage plus fin des capacités thermiques	3
4.4	Prise en compte de tous les termes sources	3
4.5	Pistes pour le Modèle de la Convection	5

1 Code principal

Pour modéliser la Terre en dehors de son équilibre thermique, on applique à une couche de Terre et à une couche de l'atmosphère le premier principe de la thermodynamique. On aboutit au système suivant :

$$\begin{cases} dT_{Terre} = [(1 - \alpha)P_{sol} + \sigma(\epsilon T_{atmo}^4 - T_{Terre}^4)] \frac{dt}{C_{Terre} \rho_{Terre} Profondeur} \\ dT_{atmo} = [\sigma(\epsilon T_{Terre}^4 - 2\epsilon T_{atmo}^4) + P_{conv}] \frac{dt}{C_{atmo} \rho_{atmo} e_{atm}} \end{cases}$$

C'est ce système qui sert de base à notre code et que nous implémentons dans ce dernier par le biais de la méthode d'Euler.

α correspond à l'albédo de la surface Terrestre considérée et est obtenu grâce à l'API de la NASA, ϵ correspond à l'émissivité de l'atmosphère et est (si on oublie la dépendance avec les gaz à effet de serre) tabulée. "Profondeur" est la profondeur de Terre dans laquelle la température varie significativement au cours d'une journée. Nous l'avons calculée grâce à l'exercice n°1 du TD 11 de seconde année. Les autres notations correspondent aux grandeurs qui leur sont habituellement associées (Puissances, capacités thermiques, masse volumique, etc...).

2 Convection

Ce script simule le déplacement de blocs d'air fragmentés (représentant l'atmosphère) au-dessus d'un sol divisé en deux zones thermiques : une zone de nuit et une zone de jour, ayant des températures différentes. L'objectif est de visualiser les échanges thermiques selon la loi de Newton du refroidissement :

$$T_{air}(t + \Delta t) = T_{air}(t) + k \cdot (T_{sol} - T_{air}(t)) \cdot \Delta t \quad (1)$$

Avec :

- T_{sol} : température du sol
- T_{air} : température du bloc d'air
- Δt : durée du pas de temps
- $k = \frac{h \cdot A}{m \cdot c}$
- h : coefficient de convection thermique (10 W/m²/K)
- A : surface d'échange du bloc
- m : masse du bloc d'air
- c : capacité thermique massique de l'air (≈ 1000 J/kg/K)

On voit ainsi l'évolution de la température des masses d'air au dessus de deux thermostats au cours du temps.

3 GUI

Ce programme Python utilise Tkinter pour afficher une carte du monde à gauche et une courbe de température à droite. La carte est colorée selon des estimations simplifiées des capacités calorifiques et des valeurs d'albédo moyennes basées sur des données NASA.

En cliquant sur un point de la carte, le programme récupère sa latitude et sa longitude, les utilise comme entrée de la fonction Temp (dans Code_avec_appel_biblio.py), et trace l'évolution annuelle de la température à cet emplacement. La courbe est interactive (zoom, déplacement). La durée de simulation est d'un an par défaut (modifiable dans le code). Bibliothèques à import : pip install (pandas, requests, cartopy).

4 Pistes

4.1 Variation de la température avec l'altitude

Nous avons jusqu'ici considéré que la Terre est en 2D, sans prendre en compte l'altitude. Il faudrait corriger cela en associant, à chaque couple de latitude et de longitude, une altitude correspondante. Pour connaître l'altitude d'un point à la surface de longitude et de latitude données, on peut s'appuyer sur des API de MNT (Modèle numérique de terrain), comme celle de Google Earth (ici), ou celle de SRTM (ici). Une fois qu'on a l'altitude, on peut modéliser la température de l'air, par exemple avec un modèle d'atmosphère isotherme et remonter (ou plutôt, redescendre), à la température de la surface de la Terre. De plus, le fait de monter en altitude diminue l'effet de serre car il y a moins de gazs à effet de serre au dessus du sol à hautes altitudes.

4.2 Température initiale en fonction du jour de l'année et de la zone géographique

Actuellement, nous initialisons la température de manière constante, cela rend la stabilisation de notre code plutôt lente (la température ne se stabilise vraiment qu'après plusieurs mois de simulation). Pour palier à cela, il faudrait initialiser la température différemment selon les zones géographiques et le jour de l'année.

4.3 Découpage plus fin des capacités thermiques

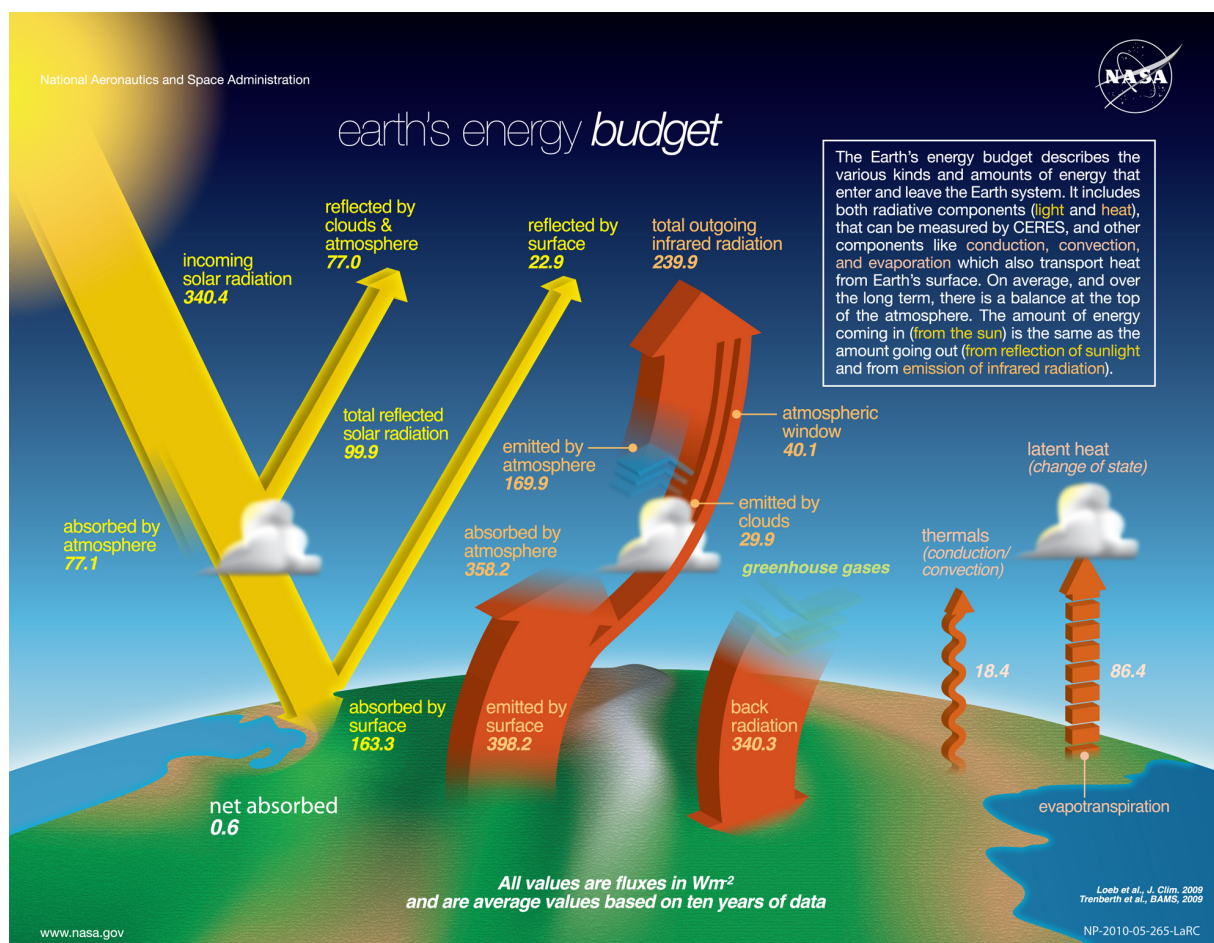
Nous avons, dans le code actuel, un découpage très précis pour les albédos grâce à l'API de la NASA, mais un découpage assez sommaire pour les capacités thermiques. On pourrait imaginer de coupler l'API de la NASA avec notre code qui calcule les capacités thermiques pour avoir un découpage plus fin pour les capacités thermiques.

4.4 Prise en compte de tous les termes sources

- 1 ère piste : Prendre en compte toutes (ou celles qui ne sont pas négligeables) les sources présentes sur le document ci-dessous et qui ne sont pas déjà prises en compte :

Cela regroupe donc :

- L'évapotranspiration.
Page Wikipedia.
Une proposition de calculs
- La chaleur latente (changements d'état)
Une proposition de documentation et de calculs



4.5 Pistes pour le Modèle de la Convection

- 1D :
 - Pour le sol visuel : création d'un gradient de température entre le sol de nuit et le sol de jour
 - Vitesse variable en fonction du temps
 - h variable en fonction de l'espace
- 2D :
 - Choix de la vitesse des vents : prise en compte de l'API des vents et ne plus prendre la seule valeur de 10m/s
 - Adaptation 1D/2D