

Calcul du rayonnement émis par un corps chaud

Calcul du bilan radiatif terrestre

Documentation de "rayonnement_planck_03.py" et de "effet_de_serre_04.py"

1 - Loi de Planck - Spectre d'émission d'un corps chaud

Décompresser le dossier effet_de_serre_01.zip.

Pour calculer le spectre du rayonnement émis par un corps chaud : procédure python : rayonnement_planck_03.py

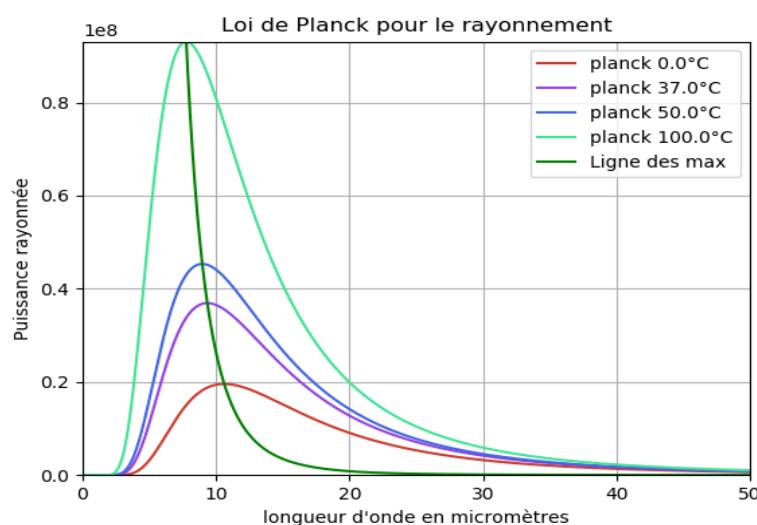
Modifier ligne 40 les températures en °C pour lesquelles le spectre d'émission sera calculé (0°C, 37°C, 50°C, 100°C dans le fichier initial).

On peut modifier ligne 90 (plt.axis(...)) les valeurs min et max pour le tracé.

Lancer l'exécution. Les courbes qui apparaissent peuvent être enregistrées au format image .png.

La puissance rayonnée intégrée sur tout le spectre pour la première température apparaît dans la Console Python, ainsi que la valeur déduite de la loi de Stefan : $P = \sigma * T^4$. Ces deux valeurs sont théoriquement égales et numériquement très proches ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$).

La courbe verte passe par les maxima des spectres et traduit la loi de Wien : $\lambda * T = 2898 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{K}$.



2 - Bilan radiatif terrestre - Effet de serre

Lancer "effet_de_serre_04.py"

Une fenêtre demande le numéro à 4 chiffres du fichier qui contient les paramètres de la simulation.

0001 correspond au fichier de données ficcom_v0001_0001.txt (à éditer en format texte avec le bloc note de Windows).

0002 correspond au fichier de données ficcom_v0001_0002.txt, etc...

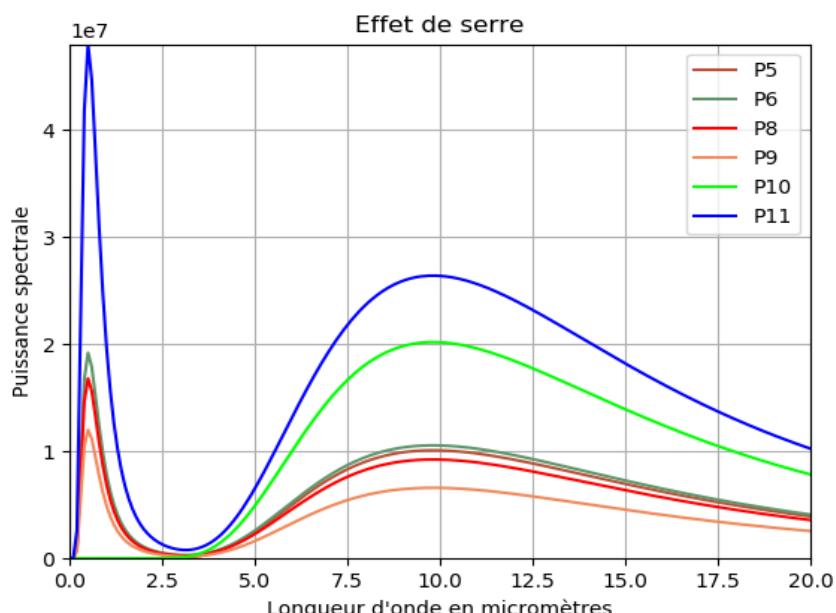
abso_atmo_0001.txt , refl_atmo_0001.txt , et refl_terre_0001.txt , noms de fichiers qui apparaissent dans les ficcom_v0001_XXXX.txt , décrivent respectivement l'absorption spectrale de l'atmosphère, la réflexion spectrale de l'atmosphère, et la réflexion spectrale de la Terre.

Entrer 0001 pour avoir la simulation "ficcom_v0001_0001.txt " qui correspond à des données où l'atmosphère réfléchit les rayonnements de façon uniforme sur tout le spectre.

Les courbes des différents coefficients d'absorption, réflexion et transmission en fonction de la longueur d'onde apparaissent. Fermer cette fenêtre.

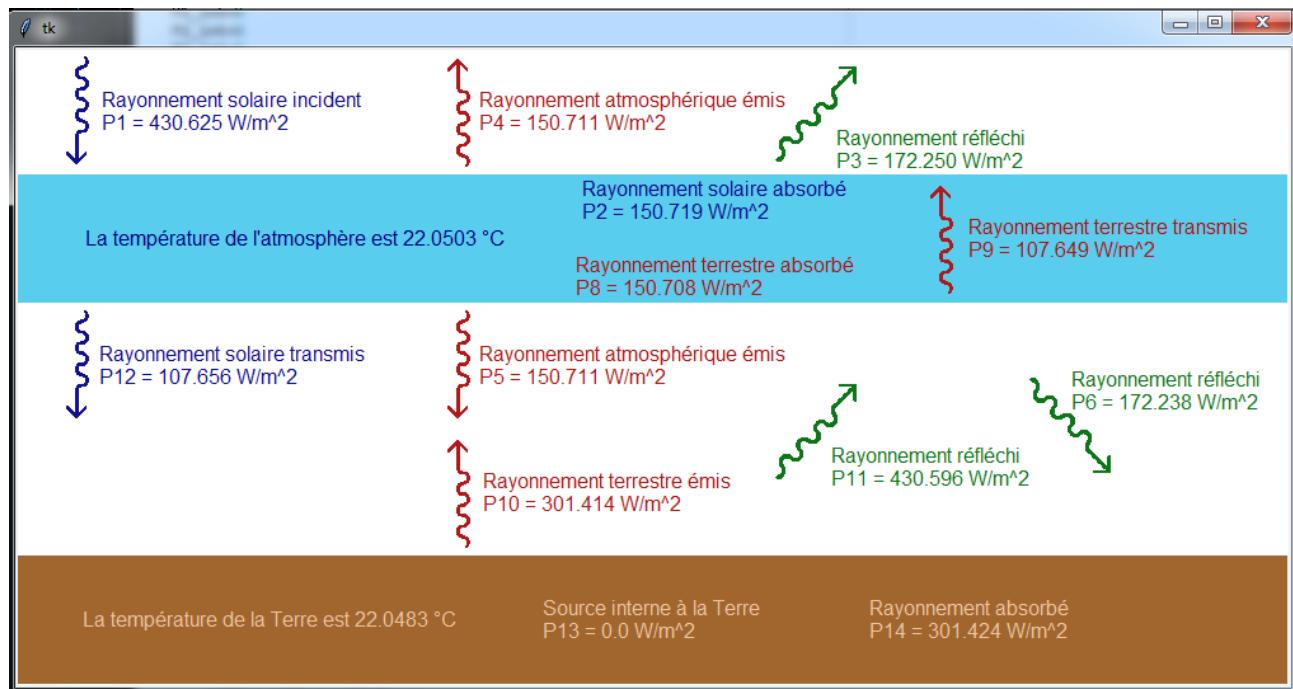
Le calcul s'effectue sur 250 pas de temps de 21600 secondes (soit 250 fois 6 heures = 1500 heures), à partir des températures initiales (10°C pour l'atmosphère et 20°C pour le sol). Le numéro du pas de temps en cours apparaît dans la Console Python (0 à 249 ici). Le calcul prend de l'ordre d'une minute. On peut réduire ce temps de calcul en jouant sur le pas de temps, les conditions initiales et les valeurs numériques de la capacité calorifique de l'atmosphère et celle de la Terre (ici 1 m^3 de terre), qui jouent sur la dynamique mais pas sur la valeur d'équilibre (modifier le fichier "ficcom_v0001_0001.txt " pour cela).

Les courbes spectrales des différents rayonnements s'affichent pour le dernier pas de temps (option 3 ou 4 à la fin du fichier de commande "ficcom_v0001_XXXX.txt").



Fermer cette fenêtre.

Une figure apparaît avec tous les résultats de rayonnements et de températures (voir aussi la Console Python) pour le dernier pas de temps.

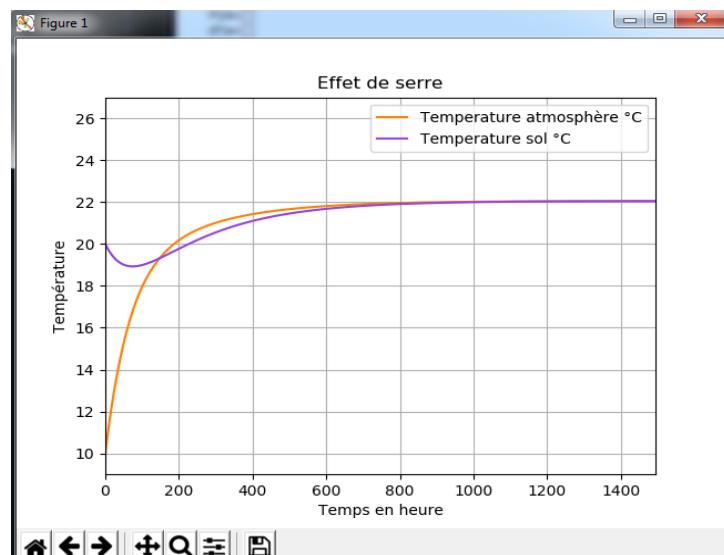


A l'équilibre on peut vérifier que $P1 = P3 + P4 + P9$ (sinon, on est encore dans une phase d'évolution de la température du sol ou de l'atmosphère), et que $P12 + P5 = P11 - P6$.

P11 et P6 tiennent compte des réflexions multiples entre le Terre et l'atmosphère, et peuvent prendre de ce fait des valeurs supérieures au rayonnement solaire incident (comme entre les lames d'un interféromètre de Fabry Perot).

P13 est une éventuelle source de chaleur interne à la Terre. Fermer cette fenêtre.

La courbe d'évolution temporelle des températures apparaît.



Fermer la fenêtre.

La courbe d'évolution temporelle des puissances apparaît. Fermer la fenêtre.

3 - Mise en évidence de l'effet de serre

Dans ce qui suit, le sol a un coefficient de réflexion = 0,3 et un coefficient d'absorption = 1 - 0,3 = 0,7 indépendants de la longueur d'onde λ (fichier refl_terre_0001.txt). La puissance du rayonnement solaire hors de l'atmosphère est moyennée sur 24 heures : maximum 1353 W . m⁻² et dépendance sinusoïdale sur 12 h, nulle pendant la nuit, soit un coefficient $1 / \pi = 0,3183$. Il est tout à fait possible d'inclure la dépendance temporelle de cette puissance dans la procédure Python, avec la journée, les saisons, la latitude, etc...

Le fichier 0001 (ficcom_v0001_0001.txt) simule une atmosphère avec :

- coefficient d'absorption = 0,35 indépendant de la longueur d'onde λ (fichier abso_atmo_0001.txt)
- coefficient de réflexion = 0,4 indépendant de la longueur d'onde λ (fichier refl_atmo_0001.txt)
- coefficient de transmission = $1 - (0,35 + 0,4) = 0,25$ indépendant de la longueur d'onde λ .

La procédure Python effet_de_serre_04.py donne :

$$T(\text{atmosphère}) = 25,05^\circ\text{C}$$

$$T(\text{sol}) = 25,05^\circ\text{C}$$

Le fichier 0002 (ficcom_v0001_0002.txt) simule une atmosphère avec :

- coefficient d'absorption = 0,35 indépendant de λ (fichier abso_atmo_0001.txt)
- coefficient de réflexion = 0,4 pour $\lambda < 5 \mu\text{m}$ et 0,6 pour $\lambda > 5 \mu\text{m}$ (fichier refl_atmo_0002.txt)
- coefficient de transmission = $1 - (0,35 + 0,4) = 0,25$ pour $\lambda < 5 \mu\text{m}$ et $1 - (0,35 + 0,6) = 0,05$ pour $\lambda > 5 \mu\text{m}$.

La procédure Python effet_de_serre_04.py donne :

$$T(\text{atmosphère}) = 47,22^\circ\text{C}$$

$$T(\text{sol}) = 67,22^\circ\text{C} \quad (\text{c'est la canicule})$$

Le fichier 0005 (ficcom_v0001_0005.txt) simule une atmosphère avec :

- coefficient d'absorption = 0,35 indépendant de λ (fichier abso_atmo_0005.txt)
- coefficient de réflexion = 0,6 indépendant de λ (fichier refl_atmo_0005.txt)
- coefficient de transmission = $1 - (0,35 + 0,6) = 0,05$ indépendant de λ .

La procédure Python effet_de_serre_04.py donne :

$$T(\text{atmosphère}) = 22,00^\circ\text{C}$$

$$T(\text{sol}) = 21,94^\circ\text{C}$$

Ceci montre bien que le résultat de la simulation 0002 (températures nettement plus élevées que

pour la simulation 0001) n'est pas lié au retour vers la Terre plus important du rayonnement du fait du coefficient de réflexion plus élevé de l'atmosphère (passage de 0,4 à 0,6), mais que c'est un effet lié à la dépendance de ce coefficient par rapport à la longueur d'onde λ : le rayonnement solaire traverse l'atmosphère et est absorbé par le sol, le rayonnement émis par le sol est piégé par l'atmosphère.

Le travail le plus important qui reste à faire est d'introduire des données mesurées plausibles pour les différents coefficients de réflexion et d'absorption du sol et de l'atmosphère, avec leur dépendance par rapport à la longueur d'onde.

4 - Autres simulations

0003 et 0004 explorent des cas de figure où les coefficients de réflexion sont très élevés. On observe des densités de rayonnement réfléchi supérieures au rayonnement provenant du Soleil.