

Bilan radiatif de la Terre

On s'intéresse dans cette leçon au mécanisme de transfert thermique lié à l'absorption et l'émission de photons : le rayonnement

I- Fondamentaux des transferts thermiques radiatifs

1) Différents types de milieux

Classification liée aux interactions entre le rayonnement et la matière.

TRANSPARENT

ex: vide

pas d'interaction

SEMI-TRANSPARENT

ex: gaz, Fe_2O_3 , AsSi, CdS

interaction volumique

OPAQUE

DIFFUS indép. direction d'incidence

ex: métaux non polis

GRIS indép. longueur d'onde

ex: verre vitre, $\lambda > 3\mu\text{m}$

NOIR

ex: couches externes du soleil

interaction surfacique

SLIDE

fréon

CCl_4

$\text{F}-\text{C}-\text{Cl}$

$\text{F}-\text{C}-\text{Cl}$

dichlorodifluoro
méthane

:)

on retiendras qu'un corps noir est un milieu opaque dont la surface absorbe tout rayonnement incident, quelle que soit la direction d'incidence ou la longueur d'onde.

2) Loi de Stefan

Loi empirique (1879).

Pour un corps noir à la température T :

$$\boxed{\Psi = \sigma T^4}$$

$\swarrow$
W.m⁻²

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

constante de Stefan-Boltzmann.

Loi de Planck (1900):

$$\boxed{L_{\Sigma, \lambda}^{\circ}(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}}$$

$\downarrow$
luminance
en W.m⁻³.sr⁻¹

PAS À CONNAÎTRE (L3)

Introduction de la constante de Planck

→ quantification de l'énergie par paquets $h\nu$ (intégrale transformée en somme discrète)

Graphes: $L_{\Sigma, \lambda}^{\circ}(\lambda)$ à T fixée

→ spectre utile [1μm, 8μm]
(98% de la puissance)²

→ soleil, Terre, fond diffus cosmologique (CMB) à $T \approx 3K$

slide CMB, découverte en 1964

Remarques :

$$\bullet \int_0^{+\infty} L_{\Omega, \lambda}^{\circ}(\lambda, T) d\lambda = \frac{\sigma T^4}{\pi}$$

$$\rightarrow \sigma = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15 h^3 c^2}$$

• Loi de Wien

On détermine $\lambda_{\max}$:

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\lambda} (\ln(L_{\Omega, \lambda}^{\circ})) &= -\frac{5}{\lambda} + \frac{\frac{hc}{k_B T} \cdot \frac{1}{\lambda^2} \cdot e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}}}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \\ &= \frac{\frac{d}{d\lambda} L_{\Omega, \lambda}^{\circ}}{L_{\Omega, \lambda}^{\circ}} \end{aligned}$$

$$\text{Soit } x = \frac{hc}{\lambda k_B T} \quad \frac{dL_{\Omega, \lambda}^{\circ}}{d\lambda} = 0 \Rightarrow -5(e^x - 1) + x e^x = 0$$

$$\Leftrightarrow e^{-x} + 0,2x - 1 = 0$$

Solution non triviale (résolution numérique) : $x \approx 4,965$.

$$\lambda_{\max} T = \frac{hc}{4,965 k_B}$$

AN : $\lambda_{\max} T = 2,9 \text{ mm.K}$

SELON LE
TIMING

3) Équilibre radiatif, conventions

$$\begin{aligned}\varphi^R &= \varphi_a - \varphi_e \text{ ou } \varphi^R = \varphi_e - \varphi_a \\ &= \varphi_i - \varphi_p \text{ ou } = \varphi_p - \varphi_i\end{aligned}$$

par rapport à un corps.

incident, partant, absorbé, émis

À l'équilibre : $\varphi^R = 0$

i.e. $\boxed{\varphi_a = \varphi_e \text{ ou } \varphi_i = \varphi_p}$

→ voir les exemples qui suivent

II- Bilan radiatif de la Terre, effet de serre

1) Un premier modèle

Notion d'albédo: rapport du flux d'énergie lumineuse réfléchi sur le flux d'énergie lumineuse incidente

(fraction de la puissance renvoyée vers l'espace par le sol et l'atmosphère)

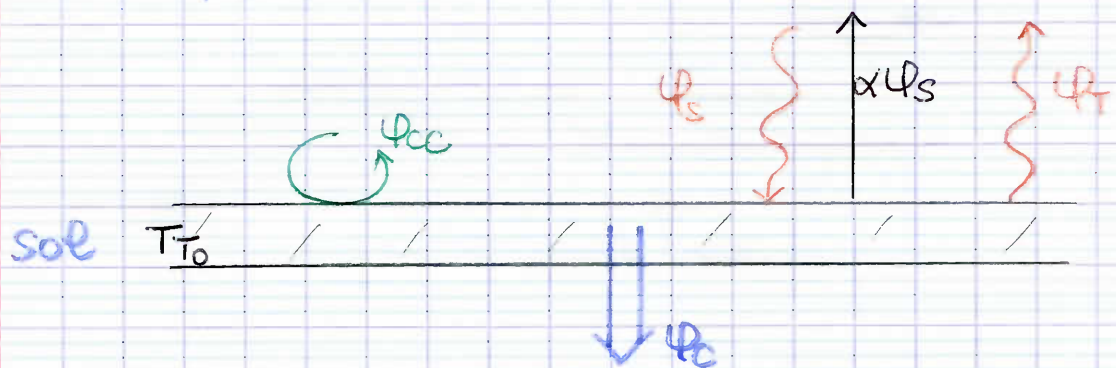
C'est une grandeur sans dimension, notée α .

slide : ordres de grandeur d'albédo

Hypothèses:

- courbure de la Terre négligée
- incidence normale des rayons
- atmosphère transparente (réflexion due uniquement au sol).
- on néglige ϕ_{cc} et ϕ_c

Atmosphère



$$\Phi_s = \frac{P_s}{4\pi R_T^2}$$

$$P_s = 1,74 \cdot 10^{17} \text{ W} \quad \rightarrow \quad \Phi_s = 338 \text{ W.m}^{-2}$$

$$R_T = 6400 \text{ km}$$

$$\Phi_T = \sigma T_{T_0}^4 \quad (\text{loi de Stefan pour le sol assimilé à un corps noir})$$

À l'équilibre :

$$\underbrace{\Phi_s}_{\text{incident}} = \underbrace{\alpha \Phi_s + \Phi_T}_{\text{partout}} \quad \text{ou} \quad \boxed{(1-\alpha)\Phi_s = \Phi_T} \quad \begin{matrix} \text{absorbé} & \rightarrow & \text{émis} \end{matrix}$$

$$T_{T_0} = \left(\frac{(1-\alpha)P_s}{4\pi\sigma R_T^2} \right)^{1/4}$$

AN: $T_{T_0} = \underline{254 \text{ K}} < 288 \text{ K}$ (moyenne mesurée à la surface de la Terre).

2) Rôle de l'atmosphère

On considère à présent que l'atmosphère absorbe en partie le rayonnement émis par le sol (notamment dans l'infrarouge).

NB: loi de Wien pour la Terre, émission dans l'infrarouge.

Slide : nouveau schéma

Équilibre au niveau du sol :

$$\Phi_S + \Phi_A = \Phi_T + \alpha \Phi_S \quad (1)$$

Équilibre au niveau de la face supérieure de l'atmosphère :

$$\Phi_S = \alpha \Phi_S + (1-b)\Phi_T + \Phi_A \quad (2)$$

$$(1) + (2) : 2(1-\alpha)\Phi_S = (2-b)\Phi_T$$

Estimation de b :

$$\Phi_T = \sigma T_T^4$$

$$b = \frac{2[1 - (1-\alpha)\Phi_S]}{\Phi_T}$$

AN: $b \approx 0,79$

T_T augmente si b augmente

→ effet de serre

⚠ Modèle très incomplet → T_T dûs aux chgts état H_2O
convection atmosphérique

3) Les gaz à effet de serre

H_2O naturel CO_2 , dû à l'activité humaine

Spectroscopie infrarouge

→ CO_2 et CH_4 absorbent dans l'infrarouge

« vibration d'élongation d'une double liaison $C=O$ ».

Présentation de différents gaz à effet de serre : rapport GIEC.