

TD 1 - Bilan Radiatif à la surface de la Terre

Corps Noir

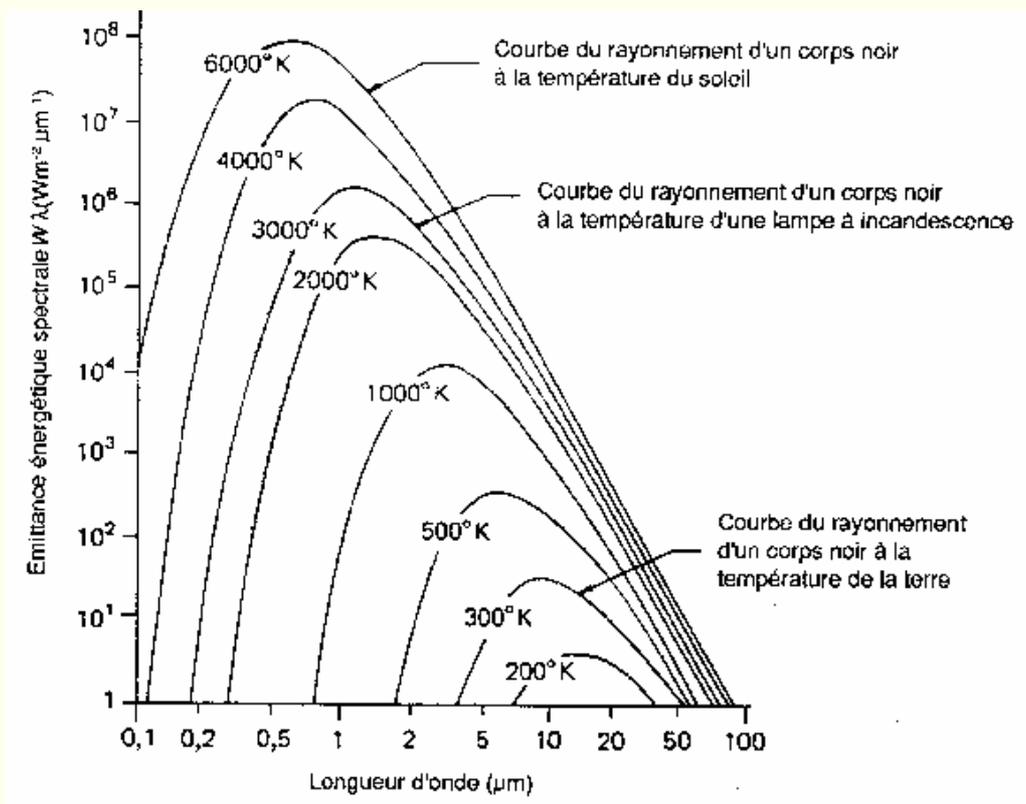
Le corps noir est un objet idéal qui absorberait toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit, sans en réfléchir ou en transmettre. Il n'est fait aucune autre hypothèse sur la nature de l'objet. La lumière étant une onde électromagnétique, elle est absorbée totalement et l'objet devrait donc apparaître noir, d'où son nom.

D'après la loi de Stefan-Boltzmann, la densité de flux d'énergie M^o (en W.m^{-2}) émis par le corps noir varie en fonction de sa température T (exprimée en kelvin) selon la formule:

$$M^o(T) = \sigma T^4$$

où σ est la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5.67.10^{-8} \text{ J.K}^{-4}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Un corps rayonne d'autant plus qu'il est plus chaud.

La **loi de Planck** définit la distribution de luminance énergétique monochromatique du rayonnement thermique du corps noir en fonction de la température thermodynamique.



Loi de Planck pour des corps noirs de différentes températures

Le maximum de la loi de Planck est fonction de la température. :

$$\lambda_{max} = \frac{hc}{4,965 \cdot kT} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T}$$

avec λ_{max} en mètres et T en kelvins. Cette loi (la loi de Wien) exprime le fait que pour un corps noir, le produit de la température et de la longueur d'onde du pic de la courbe est toujours égal à une constante. Cette loi très simple permet ainsi de connaître la température d'un corps assimilé à un corps noir par la seule forme de son spectre et de la position de son maximum.

Constante Solaire

1. Par quel mécanisme l'énergie produite par le Soleil est-elle transportée jusqu'aux planètes ?
2. Repérer la longueur d'onde approximative du maximum dans le spectre solaire. Délimiter la partie visible du spectre.
3. En évaluant la surface sous cette courbe, on estime la constante solaire C , qui représente l'éclairement produit par le Soleil sur une surface de 1m^2 placée au sommet de l'atmosphère terrestre perpendiculairement au rayon lumineux. On peut également la déterminer de façon plus approximative : Le Soleil émet un rayonnement thermique qui peut être modélisé par celui d'un corps noir à une température T_s . La longueur d'onde du maximum d'émission se situe vers $\lambda_{max} = 0.50 \mu\text{m}$.

La loi de Wien rend compte du fait que le maximum d'émission se déplace sur le spectre en fonction de la température (plus une étoile est chaude, et plus elle est bleu; plus elle est froide, et plus elle apparaît rouge). On a $\lambda_{max} \cdot T_s = 2900 \mu\text{m.K}$.

Que vaut T_s ?

- Le rayon du Soleil vaut 700 000 km, la distance Venus-Soleil D est d'environ $1.08 \cdot 10^{11}\text{m}$. Quelle est la puissance rayonnée par le soleil, par unité de surface, tout d'abord à la surface du Soleil, puis au niveau de la planète Venus (Aidez vous d'un dessin) ? On obtient ainsi la constante solaire venusienne C_v .

Le Bilan Radiatif de Venus

1. Faire un schéma très simplifié du bilan énergétique d'une planète sans atmosphère en considérant que l'équilibre radiatif est atteint (i.e. que l'énergie rayonnée est égale à l'énergie reçue).

2. Le flux solaire reçu au sommet de l'atmosphère vénusienne par une surface perpendiculaire aux rayons solaires a pour valeur $C_v = 2800 \text{ W.m}^{-2}$.
 - Calculer la valeur de la constante solaire par unité de surface vénusienne. (Faire un schéma serait plus simple)

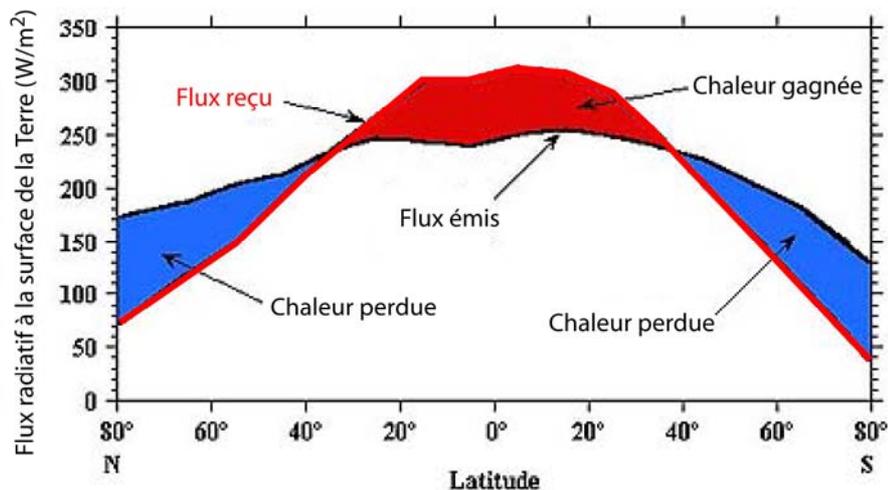
3. L'ensemble Venus-Atmosphère présente vis à vis du rayonnement solaire l'albédo moyen $A = 0.70$.
 - Qu'est-ce que l'albédo ?
 - Calculer le flux moyen réellement absorbé par Venus.

4. Le flux d'énergie rayonnée par le soleil reçu par la surface de Venus vaut : $P = 210 \text{ W.m}^{-2}$. Comme tout corps de température non nulle, Venus perd de l'énergie par rayonnement.
 - Calculer la température moyenne à la surface de Venus en la considérant comme un corps noir. On suppose que l'équilibre radiatif est atteint.
 - Que pensez vous du résultat ? Quelle est la « vraie » température moyenne à la surface de Venus ? Quel ingrédient avons nous oublié ?

5. Faire un schéma simplifié du bilan radiatif de Venus en tenant compte des questions précédentes.

Cet exercice peut être traité de la même façon pour la Terre, distante du Soleil d'environ 150.10^6 km , présentant un albédo de 0.35, sachant que la température moyenne de la surface terrestre est d'environ 15°C .

Inégalité de l'apport d'énergie solaire



Distribution latitudinale moyenne annuelle des flux radiatifs émis et reçus à la surface de la Terre

Toutes les données exprimées précédemment sont des données moyennes, applicables au système atmosphérique global. Les équilibres dynamiques globaux (flux entrant et sortant, transfert d'énergie), constituent la somme d'une infinité de déséquilibres locaux constamment en évolution.

1. Observez la distribution latitudinale moyenne annuelle de l'insolation reçue par le système Sol-Océan-Atmosphère. Qu'observe-t-on ?
2. Quelles peuvent être selon vous les causes des variations latitudinales des entrées d'énergie solaire dans le système atmosphérique (encore une fois il va être plus facile de visualiser la réponse à l'aide d'un schéma très simple) ?
3. Observez à présent la distribution du flux infrarouge émis par la planète. Proposez un phénomène responsable des différences de distribution latitudinales entre ce flux et le flux entrant.

Atmosphère, Atmosphère ...

La pression atmosphérique à la surface de la Terre vaut $P_0=10^5$ Pa et la densité moyenne de l'air $\rho_{\text{air}}=1.2 \text{ kgm}^{-3}$. On rappelle que la pression exercée à la profondeur h par un fluide au repos s'écrit :

$$\Delta P = \rho g H$$

1. Estimez l'épaisseur de l'atmosphère.
2. Comparez avec le rayon de la Terre.
3. L'épaisseur de la couche atmosphérique varie en fait entre 50 et 100 Km. Quel effet avons nous négligé dans notre calcul ?
4. Le tableau ci-dessous donne la composition de l'atmosphère. Calculer la masse de gaz à effets de serre contenue dans l'atmosphère, sachant que la masse de cette dernière est $5,13 \cdot 10^{18} \text{ kg}$.

GAZ	Concentration en volume (ppmv)	Concentration en masse (ppm)
N ₂	781000	755000
O ₂	209500	231500
Ar, Ne et Kr	94000	13000
CO ₂	370	616
He	5	1
CH ₄	1	1
H ₂	0,5	0,05