

Thème : Effectuer des bilans d'énergie sur un système  
Cours 22-3 : Bilan thermique de la Terre  
(version professeur)

B.O. Bilan thermique de la Terre

I. Bilan thermique du système Terre-atmosphère. Effet de serre. (DM)

Effectuer un bilan quantitatif d'énergie pour estimer la température terrestre moyenne, la loi de Stefan-Boltzmann étant donnée. Comparer à la valeur réelle de la température terrestre : 15°C.

Discuter qualitativement de l'influence de l'albédo et de l'effet de serre sur la température terrestre moyenne.

Sources ENS LYON

<https://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/objets/Images/td-effet-de-serre/td-effet-de-serre-doc01.pdf>

<https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/bilan-radiatif-terre1.xml#corps-noir>

[http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/CorpsNoir\\_Climat.xml](http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/CorpsNoir_Climat.xml)

Document 1 : Loi de Stephan.

La loi de Stefan le flux thermique émis par un corps à la température  $T$  de ce corps :  $F_{\text{émis}} = \sigma \cdot T^4$

Le flux s'exprime en  $W.m^2$

$\sigma$  est la constante de Stephan  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$

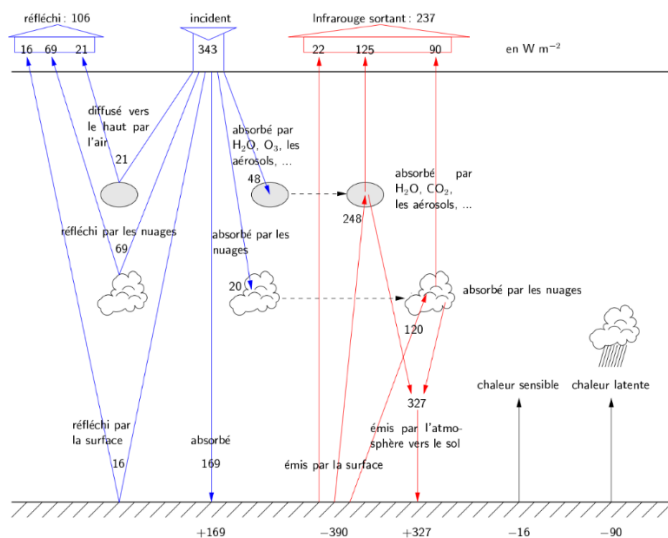
La température s'exprime en Kelvin

Document 2 : Définition d'un corps noir.

Un corps noir est un corps qui absorbe, sans la réfléchir ni la diffuser, toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit. Ainsi, une boîte avec une toute petite ouverture est généralement une bonne approximation d'un corps noir. Un tel "corps noir" reçoit de l'énergie, s'il n'en émettait pas, sa température augmenterait indéfiniment... Ceci est irréaliste, un corps noir réémet donc l'énergie qu'il a absorbée sous forme de rayonnements électromagnétiques. La quantité d'énergie réémise dépend de sa température. Ainsi, on a une "loi de rayonnement du corps noir" qui donne la valeur de l'énergie émise en fonction de la température du corps noir.

Document 3 : Bilan énergétique sur système Terre-Atmosphère

Le raisonnement du schéma suivant s'effectue sur une puissance radiative reçue sur la haute atmosphère de 343 W



Document 4 : Définition de l'albédo

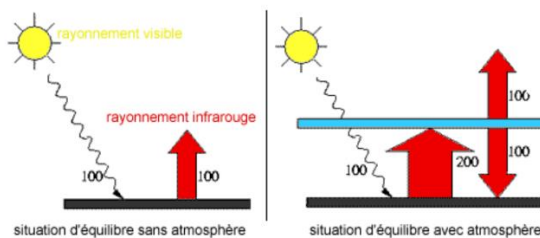
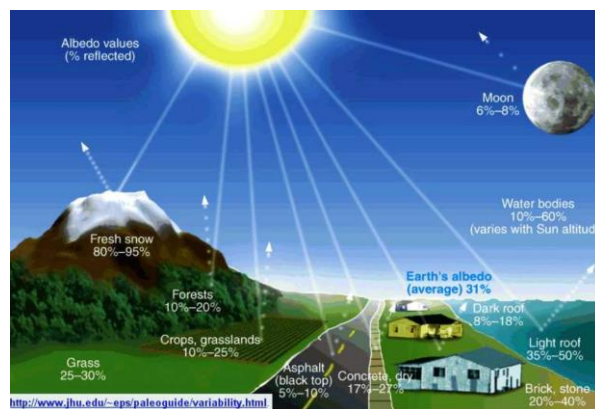
L'albédo du système Terre-atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchi vers l'espace. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Les éléments qui contribuent le plus à l'albédo de la Terre sont les nuages, les surfaces de neige et de glace.

Document 5 : Définition de l'effet de serre.

Alors que la majorité de l'énergie solaire incidente est véhiculée dans les longueurs d'ondes visibles, la Terre émet essentiellement dans l'infrarouge. C'est ce rayonnement qui est absorbé par certains gaz de l'atmosphère, dit gaz à effet de serre. Une partie de cette énergie absorbée par l'atmosphère est renvoyée vers la surface de la Terre, ce qui augmente ainsi sa température.

Le terme d'« effet de serre » est employé par analogie avec ce qui se passe dans les serres des agriculteurs. L'atmosphère piège les infrarouges thermiques rayonnés par le sol de la même façon qu'une plaque de verre piège le rayonnement infrarouge émis par le sol et les plantes, augmentant ainsi la température du sol.

*Malheureusement, l'analogie est trompeuse. Dans une serre, le réchauffement s'explique essentiellement par l'absence de convection (l'air chaud ne peut pas sortir) et non par l'absorption des radiations infrarouges.*



Question sur le Soleil et la Terre : Comparer le flux thermique émis par le Soleil et celui émis par la Terre.

La température à la surface du Soleil est environ égale à  $T = 6\,000\text{ K}$   
 La température moyenne terrestre est environ égale à  $T = 288\text{ K}$  soit environ  $27^\circ\text{C}$   
 Calculer les flux thermiques respectifs du Soleil et de la Terre. Interpréter.

Réponses :

$F_{\text{émis}} = \sigma \cdot T^4$        $F_{\text{Soleil}} = 6\,000^4 \times 5,67 \times 10^{-8} = 7,35 \times 10^7\text{ W/m}^2$        $F_{\text{Terre}} = 288^4 \times 5,67 \times 10^{-8} = 390\text{ W/m}^2$

La formule de Stefan est d'une importance capitale et rappelle que les flux ne sont fonction que de la température. On note la forte dépendance en  $T$  puisqu'il s'agit d'une puissance quatrième. Alors que la température du Soleil n'est que 20 fois plus élevée que celle de la Terre, son flux partant est 188 000 fois plus élevé.

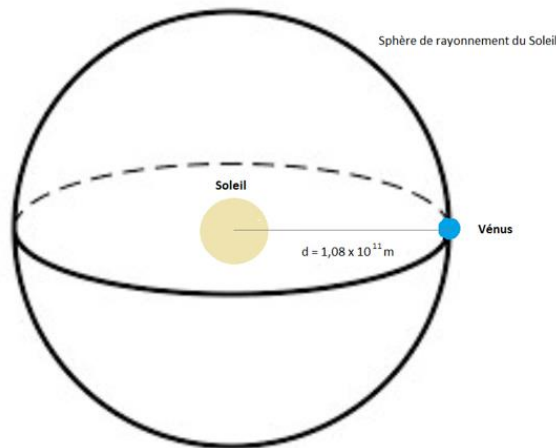
Questions sur le Soleil et Vénus : L'albédo de Vénus

Source : Belin Terminale (adapté).

L'albédo n'est pas identique pour toutes les planètes du système solaire. Alors que celui de la Terre vaut 0,3, celui de Mercure vaut 0,12. On cherche à déterminer l'albédo de Vénus.

La distance entre le Soleil et Vénus est égale à  $d = 1,08 \times 10^{11}\text{ m}$   
 Le rayon de la planète Vénus est égal à  $R_v = 6\,052\text{ km}$ .

Expression de l'albédo :  $\frac{\text{Puissance diffusée}}{\text{Puissance totale reçue}}$   
 Sa valeur est comprise entre 0 et 1.



Formules géométriques du cercle et de la sphère

$2\pi r$	$\pi r^2$	$4\pi r^2$	$\frac{4}{3}\pi r^3$
Périmètre du cercle	Aire du disque	Aire d'une sphère	Volume d'une sphère

Rappels mathématiques :

1. Sachant que la puissance totale émise par le Soleil vaut  $3,86 \times 10^{26}$  W, calculez la puissance solaire par unité de surface ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) reçue par Vénus.

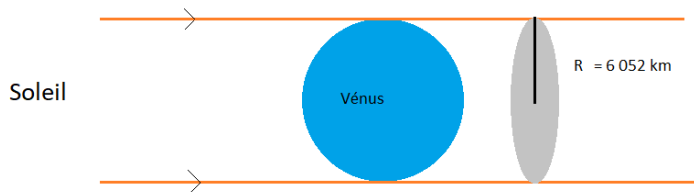
La puissance rayonnée par le Soleil se répartit sur une surface sphérique centrée sur le Soleil.

La puissance reçue par unité de surface correspond à la puissance reçue pour un mètre carré soit :

$$P_{(S)} = \frac{P_{\text{solaire}}}{4\pi d^2} = \frac{3,86 \times 10^{26}}{4\pi \times (1,08 \times 10^{11})^2} = 2\,600 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

2. Calculer la puissance solaire totale reçue par Vénus.

La puissance reçue par la planète Vénus correspond à l'aire du disque que forme son ombre quand elle intercepte les rayons solaires.



La puissance solaire reçue par Vénus est égale à :

$$P_{\text{reçue}} = P_{\text{solaire}} \cdot S$$

$$P_{\text{reçue}} = P_{\text{solaire}} \cdot \pi \cdot R_V^2 = 2\,600 \times \pi \times (6\,052\,000)^2 = 2,99 \times 10^{17} \text{ W}$$

3. Sachant que la puissance diffusée par Vénus est égale à  $2,27 \times 10^{17}$  W, calculer son albédo.

1. Albédo de Vénus =  $\frac{\text{Puissance diffusée}}{\text{Puissance totale reçue}} = \frac{2,27 \times 10^{17}}{2,99 \times 10^{17}} = 0,75$

4. Analyser en détail les valeurs du tableau suivant et comparer la valeur de l'albédo de Vénus aux valeurs d'albédo de la Terre (0,3) et de de Mercure (0,12). Interpréter ces valeurs.

On constate que la puissance solaire reçue par unité de surface et la température moyenne calculée diminuent quand la distance de la planète au soleil augmente.

Toutefois, on constate que la température moyenne mesurée ne suit pas ce modèle. Elle diffère de manière significative lorsque la planète possède une atmosphère.

La Terre possède une atmosphère épaisse et transparente, tandis que la Lune qui est à la même distance du Soleil, n'en possède pas. La température moyenne sur Terre est égale à  $15^\circ\text{C}$  tandis que celle sur la Lune est de  $-17^\circ\text{C}$ .

L'atmosphère a un rôle d'effet de serre, ce qui permet la conservation d'une partie du rayonnement solaire reçu.

L'albédo de Vénus est supérieure à celle de la Terre. ( $0,75 > 0,3$ )

Ce phénomène est due à la nature de l'atmosphère de Vénus qui est épaisse et opaque, c'est-à-dire une partie importante du rayonnement solaire reçu est réfléchi.

L'atmosphère de la Terre étant plus transparente, la valeur de l'albédo est plus faible. Toutefois la surface terrestre réfléchit une partie du rayonnement solaire.

On constate que l'albédo de la planète Mercure est faible. Elle ne possède pas d'atmosphère réfléchissante et sa surface est sans doute peu réfléchissante.