

22.1 EXERCICE ENERGIE ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Exercice 22.1 : L'effet de serre

Le mécanisme naturel de l'effet serre s'explique par l'influence de la composition chimique de l'atmosphère sur les différents flux thermiques. L'objectif de l'exercice est de comprendre quel rôle joue l'atmosphère sur la température de la terre et pourquoi les fameux gaz à effet de serre sont dangereux vis-à-vis du réchauffement climatique.

Actuellement, la constante solaire, soit l'énergie que contient le rayonnement solaire, est de $G_s = 1\,367\text{ W/m}^2$. Cependant, la puissance unitaire du rayonnement reçu et réparti sur l'ensemble du globe à un instant donné est d'environ $G = 342\text{ W/m}^2$. En lien avec la page 11 de 7.1.2, en moyenne (toutes les valeurs citées sont des valeurs moyennes) 77 W/m^2 sont réfléchis par les nuages et 30 W/m^2 par le sol, 67 W/m^2 sont absorbés par l'atmosphère et le reste (168 W/m^2) est absorbé par la surface du sol. C'est la partie de gauche de la Figure 1.

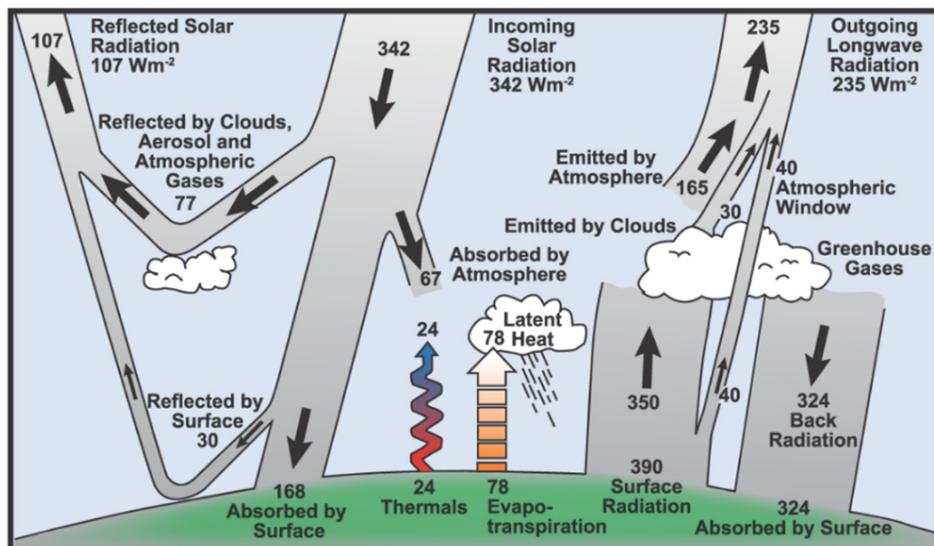


Figure 1: Bilan énergétique moyen sur terre

La surface de la terre perd de l'énergie de trois façons : 24 W/m^2 en transfert convectif, 78 W/m^2 en évapotranspiration et 390 W/m^2 en rayonnement vers le ciel. C'est la portion centrale au bas de la Figure 1. De toute l'énergie émise par la terre par les trois modes, 40 W/m^2 de rayonnement de longue longueur d'ondes s'ajoutent aux 30 W/m^2 émis par les nuages, aux 165 W/m^2 émis par l'atmosphère pour une perte totale à l'espace de 235 W/m^2 . C'est la portion en haut à droite de la Figure 1.

Pour compléter ce bilan, 324 W/m^2 sont emprisonnés par les gaz à effets de serre et retournent à la terre.

Donc, 342 W/m^2 (au centre en haute) entrent en provenance de l'atmosphère et 107 W/m^2 (à gauche en haut) + 235 W/m^2 (à droite en haut) en sortent pour un bilan nul à l'équilibre.

Au sol, 168 W/m^2 (à gauche) et 324 W/m^2 (à droite) sont absorbés pour un total de 492 W/m^2 . Simultanément, $24+78+390\text{ W/m}^2$ quittent la surface pour un bilan nul à l'équilibre.

Données : Veuillez trouver les données dont vous avez besoin pour fournir des réponses aux questions de la page suivante. Notez que le schéma de la Figure 1 comporte des variantes sur les valeurs des flux de 1 à 8 W/m^2 . (voir notes de cours)



QUESTIONS

Question 1 : Expliquer la différence entre la constante solaire et la puissance reçue par la Terre.

Question 2 : Si on considère un modèle SANS couche mince, c'est-à-dire sans atmosphère quel serait le bilan d'énergie, schéma et équation, de la Terre ? Quel serait alors la température de surface de la Terre ? (en K et en °C, arrondir à l'entier)

Question 3 : Si on considère un modèle AVEC couche mince, c'est-à-dire avec atmosphère quel serait le bilan d'énergie, schéma et équation, de la Terre et de l'atmosphère ? Quel serait alors la température de surface de la Terre ? (en K et en °C, arrondir à l'entier)

Question 4 : Sur quel(s) flux thermique(s) les gaz à effet de serre ont-ils une influence ? Pourquoi est-il impératif de diminuer les émissions de gaz comme le CO₂ ou le méthane (CH₄) qui sont rejetés par l'activité humaine ?



RÉPONSES

Question 1 : Expliquer la différence entre la constante solaire et la puissance reçue par la Terre.

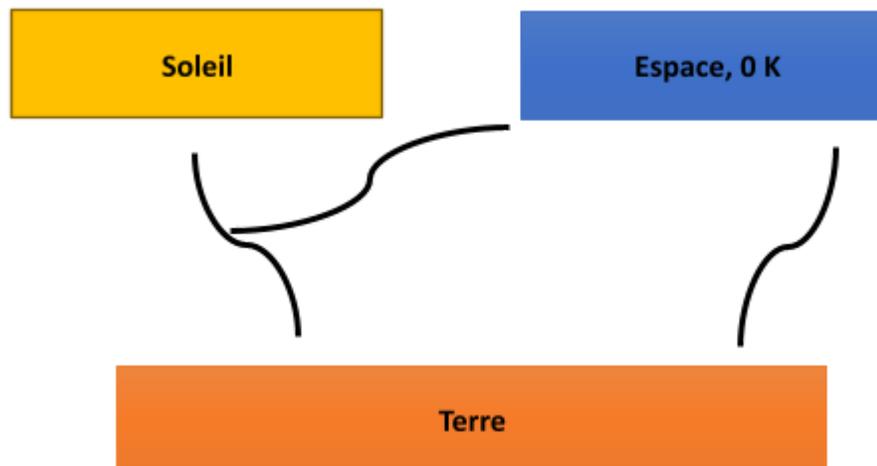
Soit R , le rayon de la Terre, le rayonnement solaire tombe perpendiculairement sur la Terre, perçue comme étant un disque dont l'aire est : $A_{\text{disque}} = \pi R^2$. Cependant, la surface totale de la Terre, soit d'une sphère est : $A_{\text{Terre}} = 4\pi R^2$. La puissance solaire instantanée est absorbée seulement sur un quart de la planète. Le rayonnement solaire équivalent par m^2 sur la surface totale est donné par :

$$G A_{\text{Terre}} = G_s A_{\text{disque}} \Rightarrow G = G_s \frac{A_{\text{disque}}}{A_{\text{Terre}}} = 1367 * \frac{\pi R^2}{4\pi R^2} = 342 \frac{W}{m^2}$$

Tout point de la surface ne reçoit pas donc le rayonnement de 1367 W/m^2 simultanément : la nuit, l'heure du jour (matin, midi, soir) et la déclinaison solaire font en sorte que le flux moyen est beaucoup moindre en moyenne, par un facteur 4.

Question 2 : Si on considère un modèle SANS couche mince, c'est-à-dire sans atmosphère quel serait le bilan d'énergie, schéma et équation, de la Terre ? Quel serait alors la température de surface de la Terre ? (en K et en °C, arrondir à l'entier)

Schéma :



Bilan d'énergie sur la Terre :

$$\begin{aligned} E_{in} &= E_{out} \\ G_{abs} &= E_{\text{émi}} \\ G_s(1 - \rho) &= E_{\text{émi}} \end{aligned}$$

Quel est donc la valeur de l'albedo, ρ ?

Il y a essentiellement deux types d'albedo (obswww.unige.ch):

1. L'**albédo de Bond**, qui est le rapport entre l'énergie radiante qui tombe sur une planète, et la totalité de l'énergie radiante réfléchie par la planète. Cette énergie peut être intégrée sur tout le spectre ou n'être comptée que sur un domaine spectral restreint (par exemple visuel). Dans ce type d'albédo, on tient donc compte de la manière dont la lumière est réfléchie **dans toutes les directions**.

2. L'**albédo géométrique** est le rapport de l'intensité lumineuse réfléchie vers l'observateur à celle reçue par la planète, pour un angle de phase nul, c'est-à-dire lorsque la planète est en opposition (soleil, observateur et planète alignés, donc phase pleine). On le définit aussi comme le rapport de la brillance du disque planétaire à l'angle de phase nul, à la brillance d'un disque parfaitement diffusant (agissant donc comme un écran blanc) et de même taille. On peut aussi le définir dans une bande passante restreinte ou au contraire sur tout le spectre.

L'albédo géométrique visuel de la terre 0.367 et l'albédo de Bond de 0.306 (voir <http://www.studyweb.com/>). C'est ce type d'albédo qui convient à ce problème.

$$G_s(1 - 0,306) = E_{\text{émi}}$$

De la figure de la page précédente, on observe que des 342 W/m^2 , 107 W/m^2 sont réfléchis vers l'espace (les réflexions atmosphérique et surfacique). On calcule alors $\rho = 107/342 = 0,312$ ce qui est consistant avec la référence. Mais des 342 W/m^2 , les 77 W/m^2 et 67 W/m^2 qui étaient perturbés par l'atmosphère ne le seront plus en absence de l'atmosphère. Donc, si 198 W/m^2 percutent la terre avec atmosphère, 342 W/m^2 y parviendraient en moyenne sans celle-ci. Et si 30 des 198 W/m^2 étaient réfléchis, il y en aurait alors 52 (pour un albédo de 0,1515 environ) réfléchis et 290 W/m^2 seraient absorbés.

Cependant, l'albédo de la terre seulement, 0,15 (sans la réflexion atmosphérique de 107 W/m^2) devrait augmenter car les forêts et autres zones végétales céderaient la place à de zones inertes donc la réflectivité augmenterait énormément. Par contre, la surface des pôles, où la calotte glaciaire serait absente, réfléchirait moins. Enfin, pour 70% de la surface terrestre couverte par les océans on pourrait penser que rien ne varierait mais cette eau aussi serait évaporée rendant la terre inerte et morte et la réflectivité (albédo) y augmenterait aussi.

Globalement, l'albédo de la terre passerait de 0,15 à 0,33 environ.



Type de surface	Albédo (0 à 1)
Surface de lac	0,02 à 0,04
Forêt de conifères	0,05 à 0,15
Surface de la mer	0,05 à 0,15
Sol sombre	0,05 à 0,15
Cultures	0,15 à 0,25
Sable léger et sec	0,25 à 0,45
Glace	0,30 à 0,40
Neige tassée	0,40 à 0,70
Neige fraîche	0,75 à 0,90

Valeurs type de l'albedo des surfaces (emse.fr)

Sans eau, sans forêts, sans culture, sans glace, sans neige, sans matière organique. La terre ne serait qu'un vaste champ de sable (peut-être par léger mais certainement sec).

En considérant la Terre comme un corps gris pour lequel $\varepsilon = 0,95$ (elle varie de 0,90 à 0,98 pour des surfaces de terre ou de sable) et que l'espace infini est à 0K, il est possible de déterminer la température de la Terre grâce à la loi de Stephan-Boltzmann :

$$G_s(1 - \rho) = \varepsilon \sigma T^4$$

$$\Rightarrow T = \left[\frac{G_s(1-\rho)}{\sigma \times \varepsilon} \right]^{\frac{1}{4}} = \left[\frac{342(1-0,33)}{0,95 \times 5,67 \cdot 10^{-8}} \right]^{\frac{1}{4}} = 255 \text{ K} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$$

En fait, on considère généralement que cette température est de -18°C . Ici, les valeurs sont approximatives et une variation de l'albédo ou de l'émissivité change la donne et ferait une grande différence sur la valeur de la température moyenne de la terre.

Question 3 : Si on considère un modèle AVEC couche mince, c'est-à-dire avec atmosphère quel serait le bilan d'énergie, schéma et équation, de la Terre et de l'atmosphère ? Quel serait alors la température de surface de la Terre ? (en K et en $^\circ\text{C}$, arrondir à l'entier)

Cette fois-ci on réalise le bilan d'énergie sur la Terre et l'atmosphère à l'aide de la Figure 1.

$E_{\text{émi}} = 390 \text{ W/m}^2$ sont émis de la surface terrestre. Et ici, on considère que l'émissivité est de 0,95.

$$E_{\text{émi}} = \varepsilon \sigma T^4$$

$$\Rightarrow T = \left[\frac{E_{\text{émi}}}{\sigma \times \varepsilon} \right]^{\frac{1}{4}} = \left[\frac{390}{0,95 \times 5,67 \cdot 10^{-8}} \right]^{\frac{1}{4}} = 291 \text{ K} = 18^\circ\text{C}$$

« Si la Terre était par exemple recouverte d'eau (albédo faible d'à peu près 0,08), sa température moyenne serait de 32°C environ (contre 13 en réalité)! Par ailleurs, si elle était totalement recouverte de glace (albédo 0,6), cette température atteint les -52°C . Ainsi lors de la glaciation de Würm (il y a 20000 ans), l'albédo était de 0,38 contre 0,32 environ aujourd'hui (notez la différence entre les valeurs unigé et emse),



et la température moyenne du globe avait alors chuté de 5,5°C, dans des conditions atmosphériques similaires (même part de l'albédo dû à la réflexion du flux solaire par l'atmosphère). L'effet de l'albédo est donc loin d'être négligeable ». emse.fr

Reprenant le calcul avec une valeur plus élevée de l'émissivité, corps noir, on obtient 15°C. Ce qui est calculé par de nombreuses sources.

En fait, dans le cours, on dira que la température d'équilibre de la terre (la température moyennée sur tous les points de sa surface) est de 15°C (pour le moment!).

Question 4 : Sur quel(s) flux thermique(s) les gaz à effet de serre ont-ils une influence ? Pourquoi est-il impératif de diminuer les émissions de gaz comme le CO₂ ou le méthane (CH₄) qui sont rejetés par l'activité humaine ?

Les gaz à effet de serre rejetés par l'activité humaine et viennent s'accumuler dans l'atmosphère et augmentent le flux de retour de l'atmosphère illustré en bas à droite sur la Figure 1. Ce flux, dans l'état d'équilibre présenté, est de 324 W/m². Il correspond à 95% du moteur de l'équilibre terrestre qui est de 342 W/m². Donc, si modifier quelque peu le flux convectif (24 W/m²) peut avoir un certain impact, modifier le rayonnement de longue longueur d'onde qui est réfléchi vers la terre a des conséquences plus de 10 fois plus importantes.

Les GES ont la particularité d'absorber le rayonnement infrarouge émit naturellement par la Terre. L'énergie émise par la Terre vers l'atmosphère, 390 W/m², sera de plus en plus absorbée par les GES – ne sera donc pas transmise vers l'espace – avec une plus grande quantité présente dans l'atmosphère. Cela aura pour conséquence d'augmenter également le rayonnement de l'atmosphère vers la Terre et son absorption subséquente résultant en un accroissement de température.

Quelques références

Educnet : Observation de la Terre "Les effets de l'albédo sur la température d'équilibre de la Terre" : <http://eduscol.education.fr/obter/principe/albedo/albedo1.htm>

Article de Wikipédia "Albédo" : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Alb%C3%A9do>

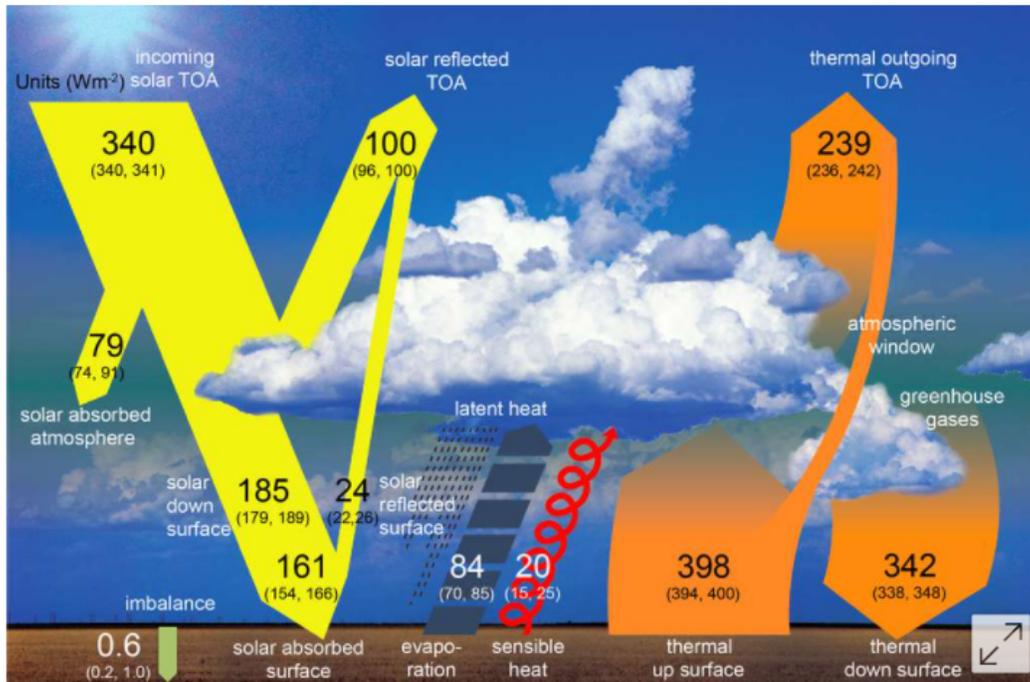
ESPERE Climate Encyclopedia : Nuages et Particules "L'albédo" : <http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1rc.html>

http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/univers-1/d/albedo_1023/

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3573>

http://comprendre.meteofrance.com/pedagogique/publications/documentation/glossaire/a/a_detail?page_id=2820&document_id=744&portlet_id=19544

Autre type de bilan



Bilan énergétique et échanges d'énergie à l'échelle globale dans les conditions actuelles. Les flux d'énergie sont indiqués en W/m², tout en restant dans les limites de leur marge d'incertitude, ils sont ajustés de façon à clore les bilans individuels. Les marges d'incertitude déduites des observations sont précisées entre parenthèses. (Figure adaptée de Wild et al (2013) Wild, M., D. Folini, C. Schär, N. Loeb, E. G. Dutton, and G. König-Langlo, 2013: The global energy balance from a surface perspective. Clim. Dyn., 40, 3107-3134). © IPCC Report Graphics - DR