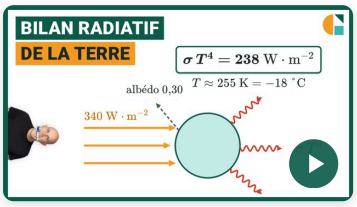
Faire le bilan radiatif de la Terre : loi de Stefan-Boltzmann et albédo

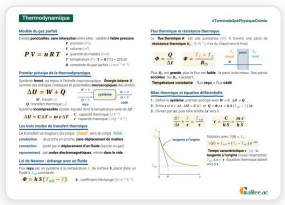
Thermodynamique • Compétence 10 • Terminale spécialité physique-chimie



Vidéo du cours et deux exercices gratuits supplémentaires !

Exercices corrigés pas à pas, sur la page de la compétence.

galilee.ac/V/T14-10



La fiche de cours

Tout le chapitre sur une page.

galilee.ac/F/thermodynamique

Exercice 1 — La Terre sans atmosphère

La Terre reçoit du Soleil, en moyenne sur toute sa surface, $340\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$. Son albédo est $A = 0{,}32$. On cherche sa température moyenne d'équilibre en l'absence d'atmosphère. Loi de Stefan-Boltzmann : puissance rayonnée par mètre carré $p = \sigma\, T^4$, avec $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}}$ et T en kelvins.

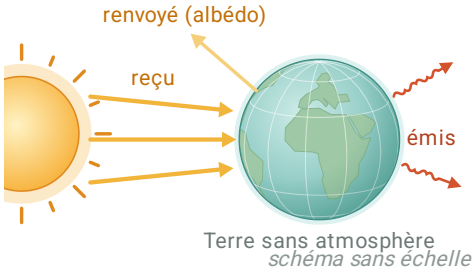


schéma sans échelle

1) Calculer la puissance absorbée par mètre carré de surface.

2) La température moyenne de la Terre étant constante, que vaut la puissance qu'elle émet par mètre carré ? Justifier.

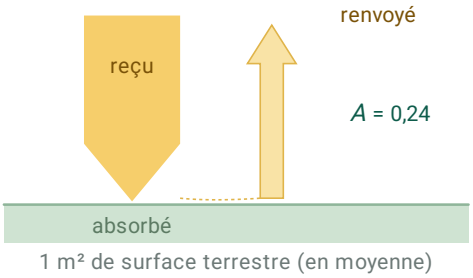
3) Calculer la température d'équilibre de la surface, en kelvins.

4) Convertir cette température en degrés Celsius.

Exercice 2

Et si l'albédo changeait ?

Avec un albédo de 0,30 et une puissance solaire moyenne reçue de $340\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$, le modèle sans atmosphère donne pour la Terre une température d'équilibre de $255\ \mathrm{K}$. On suppose que l'albédo devient $0{,}24$, sans autre changement. Loi de Stefan-Boltzmann : puissance rayonnée par mètre carré $p = \sigma T^4$, avec $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}}$ et T en kelvins.



1 m² de surface terrestre (en moyenne)

1) Calculer la nouvelle puissance absorbée par mètre carré.

2) Calculer la nouvelle température d'équilibre.

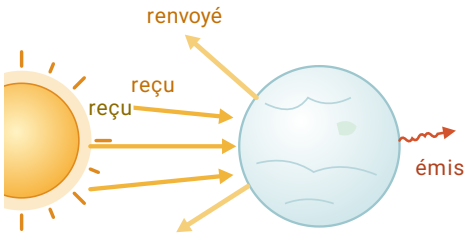
3) Comment la température d'équilibre a-t-elle varié ? Expliquer.

4) Parmi la neige fraîche, l'océan, la forêt et le goudron, quelle surface a l'albédo le plus grand ?

Exercice 3

Type bac : la Terre « boule de neige »

Il y a environ 700 millions d'années, la Terre aurait été presque entièrement couverte de glace. On estime qu'à cette époque la constante solaire valait $1\,300\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$ et l'albédo de la Terre $0{,}60$. On néglige l'effet de serre. En moyenne sur toute la surface de la Terre, la puissance reçue par mètre carré est le quart de la constante solaire. Loi de Stefan-Boltzmann : puissance rayonnée par mètre carré $p = \sigma T^4$, avec $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}}$ et T en kelvins.



Terre couverte de glace
schéma sans échelle

1) Calculer la puissance solaire moyenne reçue par mètre carré de surface terrestre.

2) Calculer la température d'équilibre de la surface, en kelvins.

3) Convertir cette température en degrés Celsius.

4) Expliquer pourquoi, une fois installée, cette glaciation s'entretient d'elle-même.

Faire le bilan radiatif de la Terre : loi de Stefan-Boltzmann et albédo

Thermodynamique • Compétence 10 • Terminale spécialité physique-chimie

Exercice 1 La Terre sans atmosphère

1) La fraction A est renvoyée ; la fraction $1 - A$ est absorbée :

$$p_{abs} = (1 - 0{,}32) \times 340 \approx 231 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

2) Si la température ne varie pas, l'énergie interne de la Terre ne varie pas : elle émet autant qu'elle absorbe.

égale à la puissance absorbée

3) $\sigma\, T^4 = p_{abs}$, donc $T = \left(\dfrac{p_{abs}}{\sigma}\right)^{1/4}$ (racine quatrième, ou puissance 0,25) :

$$T = \left(\frac{231}{5{,}67 \times 10^{-8}}\right)^{0{,}25} \approx 253 \text{ K}$$

4) On retranche 273 :

$$\theta \approx 253 - 273 = -20\ ^\circ\text{C}$$

Cette valeur est bien plus basse que la température moyenne réelle ($15\ ^\circ\text{C}$) : le modèle ne tient pas compte de l'effet de serre.

Exercice 2 Et si l'albédo changeait ?

1) $p_{abs} = (1 - 0{,}24) \times 340 \approx 258 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$p_{abs} \approx 258 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

2) À l'équilibre, $\sigma\, T^4 = p_{abs}$:

$$T = \left(\frac{258}{5{,}67 \times 10^{-8}}\right)^{0{,}25} \approx 260 \text{ K}$$

3) On compare 260 K à 255 K : la température augmente. Un albédo plus faible signifie plus d'énergie absorbée, donc une température d'équilibre plus haute ; un albédo plus fort, l'inverse.

elle augmente

4) Une surface claire renvoie une grande part du rayonnement : la neige fraîche a un albédo proche de 0,9, alors que l'océan, les forêts et le goudron, sombres, absorbent presque tout.

la neige fraîche

Exercice 3 Type bac : la Terre « boule de neige »

1) La Terre intercepte le rayonnement comme un disque et le répartit sur une sphère, de surface quatre fois plus grande :

$$\frac{1\,300}{4} = 325 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Exercice 3 (suite) Type bac : la Terre « boule de neige »

2) Puissance absorbée : $(1-0{,}60)\times 325 = 130\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. À l'équilibre, $\sigma\,T^4$ lui est égale :

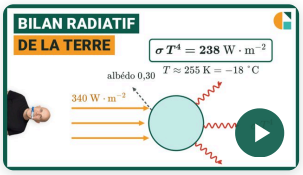
$$T = \left(\frac{130}{5{,}67\times 10^{-8}}\right)^{0{,}25} \approx 219\ \text{K}$$

3) $\theta \approx 219 - 273 = -54\ ^\circ\text{C}$

$$\theta \approx -54\ ^\circ\text{C}$$

4) La glace a un albédo élevé : elle renvoie une grande part du rayonnement, la Terre absorbe moins d'énergie, sa température baisse, ce qui favorise encore la glace.

la glace renvoie le rayonnement : la Terre se refroidit encore



Vidéo du cours et deux exercices gratuits supplémentaires !

Exercices corrigés pas à pas, sur la page de la compétence.

galilee.ac/V/T14-10

Bilan radiatif de la Terre, albédo : exercices corrigés PDF (Terminale spécialité physique-chimie). Faire le bilan radiatif de la Terre : puissance absorbée par mètre carré (1 − A) × puissance reçue, loi de Stefan-Boltzmann p = σ T⁴, température d'équilibre sans atmosphère, effet d'un changement d'albédo, facteur un quart, glaciation de la Terre boule de neige. Méthode en vidéo et exercices interactifs corrigés sur galilee.ac.