

Les transferts thermiques et bilans d'énergie d'un systè...

Cours

Sommaire

I Les transferts thermiques

- (A) Le sens d'un transfert et l'équilibre thermique
- (B) Les différents types de transferts thermiques
- (C) Le calcul de la chaleur échangée
- (D) Le flux thermique et la résistance thermique

II Le bilan d'énergie d'un système thermodynamique

- (A) La description microscopique d'un système thermodynamique
- (B) L'énergie interne et le premier principe de la thermodynamique
- (C) Les différentes contributions microscopiques à l'énergie interne
- (D) La loi de refroidissement de Newton

III Le système Terre-atmosphère

- (A) Le rayonnement solaire reçu par la Terre
- (B) L'albédo terrestre
- (C) L'effet de serre
- (D) La température terrestre moyenne

I Les transferts thermiques

Lorsque deux corps ne sont pas à la même température, un transfert thermique se produit pour retrouver un équilibre thermique. Entre les deux corps, la chaleur peut être échangée de différentes façons. On peut calculer la quantité d'énergie échangée. Le flux thermique est une puissance qui traduit la vitesse du transfert énergétique à travers une paroi. Ce flux thermique dépend de la résistance thermique de la paroi.

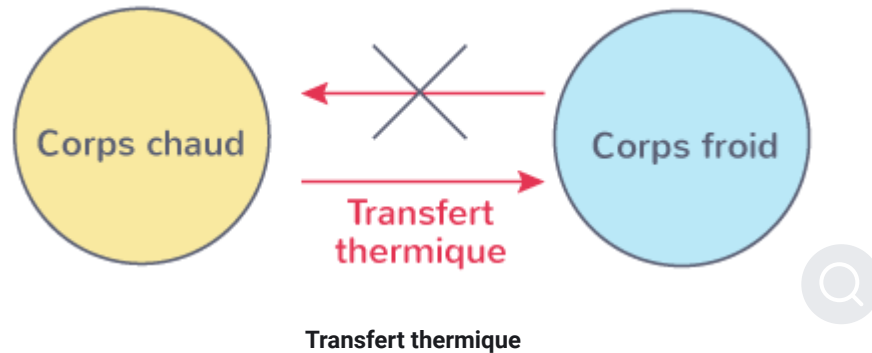
(A) Le sens d'un transfert et l'équilibre thermique

Lorsque deux corps ne sont pas à la même température, un transfert thermique a lieu du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. Ce transfert thermique cesse lorsque les deux corps ont atteint la même température. Ils sont alors en équilibre thermique.

DÉFINITION

Transfert thermique

Un **transfert thermique** est un échange d'énergie thermique (ou chaleur) qui a lieu d'un corps chaud vers un corps froid.



EXEMPLE

- Si l'on considère un café chaud sortant d'une cafetière, ce café se refroidira au contact de l'air ambiant : il y a un transfert thermique du café chaud vers l'air ambiant plus froid.
- Si l'on considère un verre d'eau à 0 °C laissé à l'air libre à température ambiante, l'eau du verre va se réchauffer au contact de l'air ambiant : il y a un transfert thermique de l'air, plus chaud, vers l'eau du verre.

DÉFINITION

Équilibre thermique

L'**équilibre thermique** est l'état atteint lorsque deux corps ont atteint la même température et n'échangent donc plus d'énergie thermique entre eux.

EXEMPLE

Le transfert thermique entre le café initialement plus chaud et l'air cesse quand le café, en se refroidissant, a atteint la même température que celle de l'air.

B Les différents types de transferts thermiques

Entre deux corps, la chaleur peut être échangée de différentes façons : par conduction, par convection et par rayonnement. Dans un milieu matériel, la conduction thermique se fait par propagation de l'énergie thermique de proche en proche. La convection thermique se fait par le mouvement d'un fluide. Le rayonnement thermique s'effectue par diffusion d'une onde électromagnétique.

DÉFINITION

Les trois types de transferts thermiques

Il existe trois **types de transferts thermiques** :

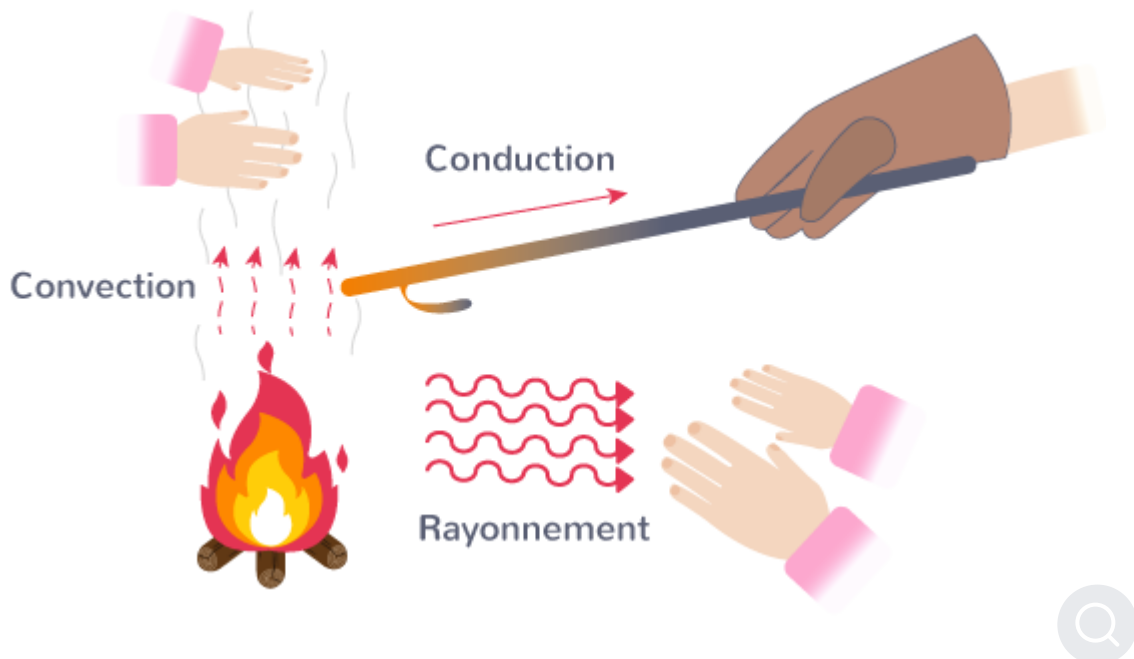
| Type de transfert | Transferts par conduction | Transferts par convection | Transferts par rayonnement |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | | |

| | | | |
|---|--|--|---|
| Mécanisme du transfert | Énergie transmise par les particules de proche en proche | Énergie transmise par mouvement d'ensemble d'un fluide | Énergie transmise par la propagation d'onde électromagnétique |
| Milieu où le transfert est majoritaire | Milieu solide | Milieu fluide | Milieu non matériel |

EXEMPLE

Un feu de bois met à contribution les trois types de transfert thermique :

- La convection : La température de l'air le plus proche du feu augmente, il s'élève et il est remplacé par de l'air plus froid puis le cycle recommence.
- La conduction : Si la pointe d'une tige métallique est placée près du feu, la chaleur va être conduite par le mouvement des particules qui la composent vers l'autre bout de la tige qui est tenu par notre main.
- Le rayonnement : Le feu émet des ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'air jusqu'aux mains de la personne.



Les différents type de transferts thermiques

C Le calcul de la chaleur échangée

La quantité de chaleur Q , libérée ou absorbée par un corps, est une énergie. La quantité de chaleur est égale au produit de la masse, de la capacité thermique et de la variation de température du corps.

FORMULE

Température exprimée en kelvins

Le kelvin (K) est l'unité légale des températures. La règle de conversion avec l'unité degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) est la suivante :

$$T_{(K)} = T_{(^{\circ}C)} + 273,15$$

EXEMPLE

Une température de $20^{\circ}C$ correspond à $293 K$, car :

$$T_{(K)} = T_{(^{\circ}C)} + 273,15$$

$$T = 20 + 273,15$$

$$T = 293 K$$



ASTUCE

Lorsqu'un calcul fait intervenir une variation de température, exprimée en kelvins (K), on peut conserver l'unité degré Celsius ($^{\circ}C$) car les variations exprimées dans ces deux unités sont égales :

$$\Delta T_{(K)} = \Delta T_{(^{\circ}C)}$$

EXEMPLE

Lorsque l'air passe de $T_{i(^{\circ}C)} = 15^{\circ}C$ à $T_{f(^{\circ}C)} = 20^{\circ}C$, sa variation de température, exprimée en degrés Celsius ($^{\circ}C$) est :

$$\Delta T_{(^{\circ}C)} = T_{f(^{\circ}C)} - T_{i(^{\circ}C)}$$

$$\Delta T_{(^{\circ}C)} = 20 - 15$$

$$\Delta T_{(^{\circ}C)} = 20 - 15^{\circ}C$$

Ces deux températures, exprimées en kelvins (K), donne :

- $T_{i(K)} = T_{i(^{\circ}C)} + 273,15 = 15 + 273,15 = 288 K$

- $T_{f(K)} = T_{f(^{\circ}C)} + 273,15 = 20 + 273,15 = 293 K$

D'où la variation de température de l'air, exprimée en kelvins (K) :

$$\Delta T_{(K)} = T_{f(K)} - T_{i(K)}$$

$$\Delta T_{(K)} = 293 - 288$$

$$\Delta T_{(K)} = 5 K$$

On a bien :

$$\Delta T_{(K)} = \Delta T_{(^{\circ}C)}$$

FORMULE

Chaleur échangée

La chaleur échangée que reçoit ou libère un corps lors d'un transfert thermique dépend de sa masse m , de sa capacité calorifique c et de la variation de température ΔT :

$$Q_{(J)} = m_{(kg)} \times c_{(J.kg^{-1}K^{-1})} \times \Delta T_{(K)}$$

$$Q_{(J)} = m_{(kg)} \times c_{(J.kg^{-1}K^{-1})} \times (T_{f(K)} - T_{i(K)})$$

Où $T_{f(K)}$ est la température finale du système et $T_{i(K)}$ est la température initiale du système.

EXEMPLE

Lorsque la température de 250 g d'eau, dont la capacité calorifique est $c = 4,18 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, passe de 20 °C à 100 °C, la chaleur reçue est :

$$Q_{\text{(J)}} = m_{\text{(kg)}} \times c_{\text{(J.kg}^{-1}\text{K}^{-1})} \times \Delta T_{\text{(K)}}$$

$$Q = 250 \times 10^{-3} \times 4,18 \times 10^3 \times (100 - 20)$$

$$Q = 8,4 \times 10^4 \text{ J}$$

PROPRIÉTÉ

Le signe de la chaleur échangée Q dépend de la nature du transfert thermique :

- Si le système étudié reçoit de la chaleur, sa température augmente. On a donc $T_f > T_i \Leftrightarrow \Delta T > 0 \text{ K} \Leftrightarrow Q > 0 \text{ J}$.
- Si le système étudié libère de la chaleur, sa température diminue. On a donc $T_f < T_i \Leftrightarrow \Delta T < 0 \text{ K} \Leftrightarrow Q < 0 \text{ J}$.

EXEMPLE

Lorsqu'on chauffe une masse de 250 g d'eau et que sa température passe de 20 °C à 100 °C, la chaleur reçue par l'eau est $Q = 8,4 \times 10^4 \text{ J}$. Mais si lorsque la même masse d'eau se refroidit et que sa température passe de 100 °C à 20 °C, la chaleur échangée par l'eau est $Q = -8,4 \times 10^4 \text{ J}$.

D Le flux thermique et la résistance thermique

Le flux thermique est une puissance qui traduit la vitesse du transfert énergétique à travers une paroi. La valeur de ce flux thermique dépend des températures de part et d'autre de la paroi et de la résistance thermique de la paroi.

FORMULE

Relation entre le flux et le transfert thermiques

Le flux thermique, noté Φ , caractérise la vitesse d'un transfert thermique. Il correspond donc à une puissance et s'exprime en watts (W) :

$$\Phi_{\text{(W)}} = \frac{Q_{\text{(J)}}}{\Delta t_{\text{(s)}}}$$

Avec :

- Q : transfert thermique, en joules (J) ;
- Δt : durée du transfert, en secondes (s).

EXEMPLE

S'il faut une durée de 5,0 minutes pour faire chauffer 250 g d'eau initialement à 20 °C jusqu'à une température de 100 °C, sachant que l'énergie thermique apportée vaut $Q = 8,4 \times 10^4 \text{ J}$, le flux thermique est de :

$$\Phi_{\text{(W)}} = \frac{Q_{\text{(J)}}}{\Delta t_{\text{(s)}}}$$

$$\Phi = \frac{8,4 \times 10^4}{5,0 \times 60}$$

$$\Phi = 2,8 \times 10^2 \text{ W}$$

FORMULE

Relation entre le flux thermique et la différence de température de part et d'autre d'une paroi

À travers une paroi, le flux thermique Φ est proportionnel à l'écart de température ΔT entre ses deux faces et inversement proportionnel à sa résistance thermique R_{th} :

$$\Phi_{(W)} = \frac{\Delta T_{(K)}}{R_{th} (K.W^{-1})}$$

EXEMPLE

Une paroi de résistance thermique $1,00 \times 10^{-2} \text{ K.W}^{-1}$ sépare une habitation où la température est 20°C de l'air extérieur à $5,0^\circ\text{C}$. Le flux thermique traversant cette paroi est :

$$\Phi_{(W)} = \frac{\Delta T_{(K)}}{R_{th} (K.W^{-1})}$$

$$\Phi = \frac{20 - 5,0}{1,00 \times 10^{-2}}$$

$$\Phi = 1,5 \times 10^3 \text{ W}$$

FORMULE

Expression de la résistance thermique d'une paroi

La résistance thermique R_{th} d'une paroi augmente avec son épaisseur e et diminue avec la sa surface S et la conductivité thermique du matériau qui la compose λ :

$$R_{th} (K.W^{-1}) = \frac{e_{(m)}}{\lambda_{(W.m^{-1}.K^{-1})} \times S_{(m^2)}}$$

EXEMPLE

La conductivité thermique du bois de pin est $\lambda = 0,36 \text{ W.m}^{-1}.K^{-1}$. La résistance thermique d'une porte en pin, de surface $1,8 \text{ m}^2$ et d'épaisseur $6,0 \text{ cm}$ est donc :

$$R_{th} (K.W^{-1}) = \frac{e_{(m)}}{\lambda_{(W.m^{-1}.K^{-1})} \times S_{(m^2)}}$$

$$R_{th} = \frac{6,0 \times 10^{-2}}{0,36 \times 1,8}$$

$$R_{th} = 9,3 \times 10^{-2} \text{ K.W}^{-1}$$

II Le bilan d'énergie d'un système thermodynamique

Le premier principe de la thermodynamique énonce l'existence d'une énergie interne. Les particules microscopiques qui composent un système thermodynamique possèdent de l'énergie cinétique et de

l'énergie potentielle d'interaction. Ces énergies constituent l'énergie interne du système. La loi de refroidissement de Newton permet d'établir l'expression de la température d'un système qui cède de la chaleur en fonction du temps.

A La description microscopique d'un système thermodynamique

En thermodynamique, le système est un ensemble macroscopique composé de N particules microscopiques et délimité par des frontières.

DÉFINITION

Système thermodynamique

Un **système thermodynamique** est un ensemble composé de N particules microscopiques, que l'on distingue du milieu extérieur dans le but d'étudier, le plus souvent, des échanges d'énergie.

EXEMPLE

L'eau contenue dans un verre constituée de N molécules d' H_2O est un système thermodynamique.

DÉFINITION

Système fermé

Un **système thermodynamique fermé** est un système qui peut échanger uniquement de la chaleur et du travail avec le milieu extérieur.

EXEMPLE

L'eau contenue dans une bouteille d'eau fermée est un système fermé. En effet, l'eau ne peut pas s'échapper de la bouteille mais elle peut être réchauffée ou refroidie par le milieu extérieur.

En thermodynamique, on distingue trois types de systèmes :

| Type de système | Peut échanger de la matière | Peut échanger de la chaleur et du travail | Exemple |
|-----------------|-----------------------------|---|--|
| Système ouvert | Oui | Oui | Système contenu dans un réacteur (avec entrée des réactifs et sortie des produits) |
| Système fermé | Non | Oui | Système contenu dans un récipient fermé |
| Système isolé | Non | Non | Système contenu dans un calorimètre (ou un Thermos) |

B L'énergie interne et le premier principe de la thermodynamique

Tout système possède une énergie, appelée énergie interne, qui varie lors du travail mécanique de forces extérieures et d'échanges de chaleur.

DÉFINITION

Énergie interne

L'énergie interne, généralement notée U , est l'énergie qu'un système fermé possède et qui est différente de son énergie cinétique ou de n'importe quelle énergie potentielle.

EXEMPLE

Un système fermé, même immobile, possède une énergie interne. C'est le cas de l'eau contenue dans une bouteille.

LOI

Premier principe de la thermodynamique

Au cours d'une transformation quelconque d'un système fermé, la variation de son énergie interne ΔU est égale à la somme des énergies échangées par travail d'une force W et par transfert de chaleur échangée Q :

$$\Delta U_{(J)} = W_{(J)} + Q_{(J)}$$

EXEMPLE

L'énergie interne d'un système fermé qui n'échange pas d'énergie, ni sous forme de travail mécanique W ni sous forme de chaleur Q est constante :

$$\Delta U_{(J)} = W_{(J)} + Q_{(J)}$$

Donc, si $W = 0 \text{ J}$ et $Q = 0 \text{ J}$, la variation d'énergie interne du système est nulle :

$$\Delta U = 0 \text{ J}$$

C Les différentes contributions microscopiques à l'énergie interne

L'énergie interne d'un système U est la somme de toutes les énergies microscopiques des particules qui le composent. Ces énergies microscopiques sont l'énergie cinétique et l'énergie potentielle d'interaction.

FORMULE

Énergie interne

L'énergie interne U d'un système est la somme des énergies dues aux mouvements et aux interactions au niveau microscopique des N particules composant le système macroscopique :

$$U = \sum_i^N (E_{p_i}^{\text{micro}} + E_{c_i}^{\text{micro}})$$

EXEMPLE

On sait que si on augmente la température d'un système en lui transférant de la chaleur, l'agitation thermique des particules qui le composent augmente et donc aussi leur énergie cinétique et donc

aussi son énergie interne U , puisque son expression est :

$$U = \sum_i^N (E_{p_i}^{\text{micro}} + E_{c_i}^{\text{micro}})$$

Ce résultat est cohérent avec le premier principe de la thermodynamique. Si on transfère de la chaleur au système sans lui transmettre de travail mécanique, on a :

$$\Delta U_{(J)} = Q_{(J)} \text{ et } Q > 0 \text{ J, donc } \Delta U > 0 \text{ J}$$

On augmente effectivement l'énergie interne du système.

D La loi de refroidissement de Newton

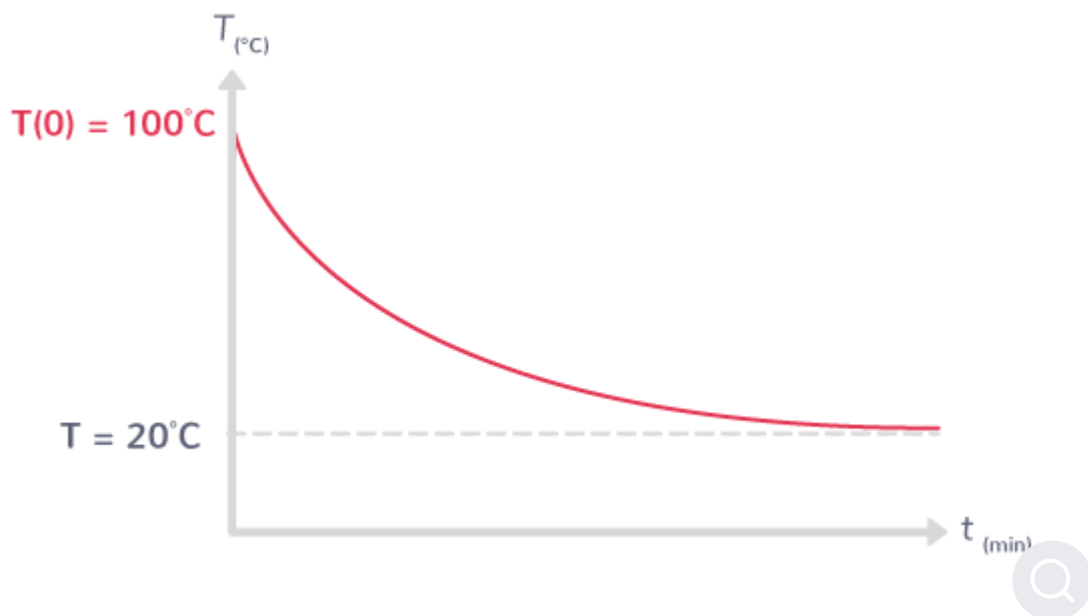
La loi de refroidissement de Newton permet d'effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible. Cette loi permet d'établir l'expression de la température du système en fonction du temps.

PROPRIÉTÉ

Lorsque la température d'un système est supérieure à celle du milieu extérieur, et en l'absence d'autres échanges de chaleur, le système va se refroidir et sa température diminue de manière exponentielle.

EXEMPLE

Si un corps initialement à la température de 100 °C est plongé dans l'air ambiant qui est à la température de 20 °C, sa température diminuera de manière exponentielle jusqu'à ce qu'elle atteigne 20 °C.



LOI

Loi de refroidissement de Newton

La loi de refroidissement de Newton indique que la vitesse de refroidissement d'un corps est proportionnelle à la différence entre la température T de ce corps à l'instant t et la température extérieure T_{ext} , supposée constante (les températures devant être exprimées avec les mêmes unités) :

$$\frac{dT(t)}{dt} = -k_{(s^{-1})} \times (T - T_{\text{ext}})$$

Où k est un coefficient de proportionnalité qui dépend notamment de la surface S de contact entre le corps et le milieu extérieur.

On peut en déduire la température à un instant t , après refroidissement du corps :

$$T(t) = T_{\text{ext}} + (T(0) - T_{\text{ext}}) \times e^{-k_{(s^{-1})} \times t_{(s)}}$$

EXEMPLE

Soit un corps initialement à la température de 100 °C qui se refroidit dans l'air ambiant qui est à la température de 20 °C. Si dans cette situation la constante de proportionnalité est

$k = 2,6 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, la température atteinte par le corps au bout de 10 minutes est :

$$T(t) = T_{\text{ext}} + (T(0) - T_{\text{ext}}) \times e^{-k_{(s^{-1})} \times t_{(s)}}$$

$$T(10 \text{ min}) = 20 + (100 - 20) \times e^{-2,6 \times 10^{-3} \times 10 \times 60}$$

$$T(10 \text{ min}) = 37 \text{ °C}$$

III Le système Terre-atmosphère

Selon l'albédo terrestre et l'effet de serre, le rayonnement solaire que la Terre reçoit permet d'établir un bilan d'énergie. Ce bilan d'énergie du système Terre-atmosphère et la loi de Stefan-Boltzmann permettent de calculer la température terrestre moyenne.

A Le rayonnement solaire reçu par la Terre

La puissance émise par le Soleil et atteignant la Terre est déterminée par le rayon terrestre et la distance Terre-Soleil.

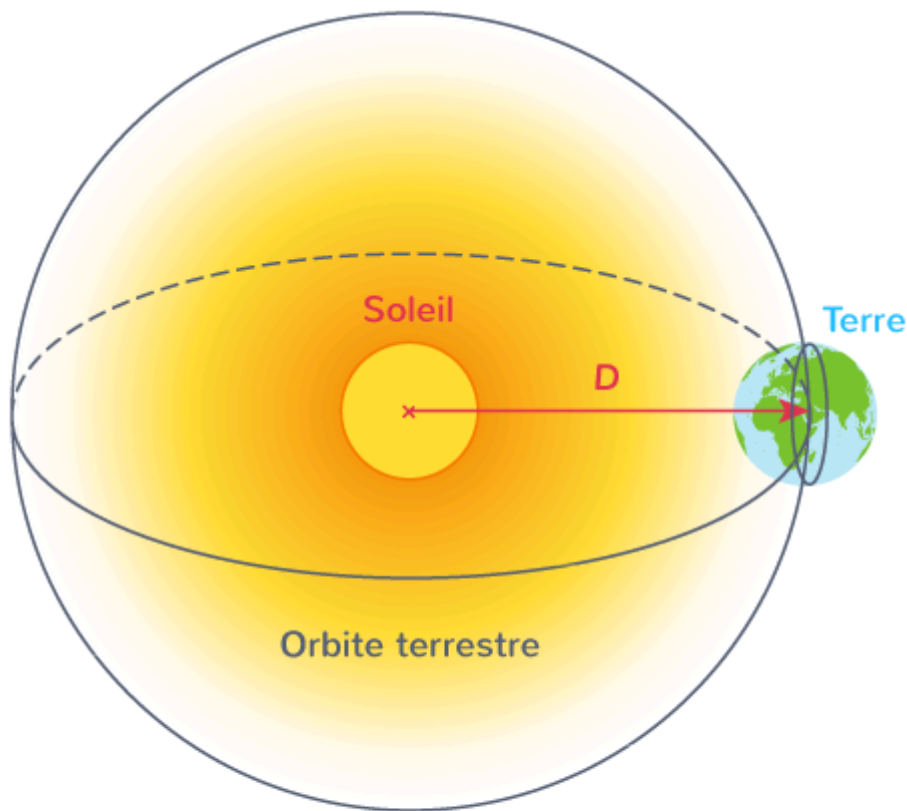
PROPRIÉTÉ

La proportion de la puissance totale émise par le Soleil et atteignant la Terre est déterminée par le rayon de celle-ci et sa distance au Soleil. En tenant compte de ces paramètres, on peut montrer que la puissance surfacique du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre est en moyenne de 341 W.m^{-2} .

EXEMPLE

On exprime la puissance solaire par unité de surface $P_{\text{surfacique}}$ sur une sphère de rayon D , sachant que :

- le Soleil émet sa puissance P_{totale} dans toutes les directions de l'espace ;
- à une distance D , cette puissance est uniformément répartie sur la sphère (fictive) de rayon D ;
- la surface de cette sphère est $S_{\text{sphère}} = 4 \times \pi \times D^2$;
- la puissance surfacique est égale au rapport de la puissance totale émise par le Soleil par la surface de cette sphère.



Sphère sur laquelle la puissance
solaire est répartie

$$S_{\text{sphère}} = 4 \times \pi \times D^2$$

Puissance solaire atteignant la surface terrestre

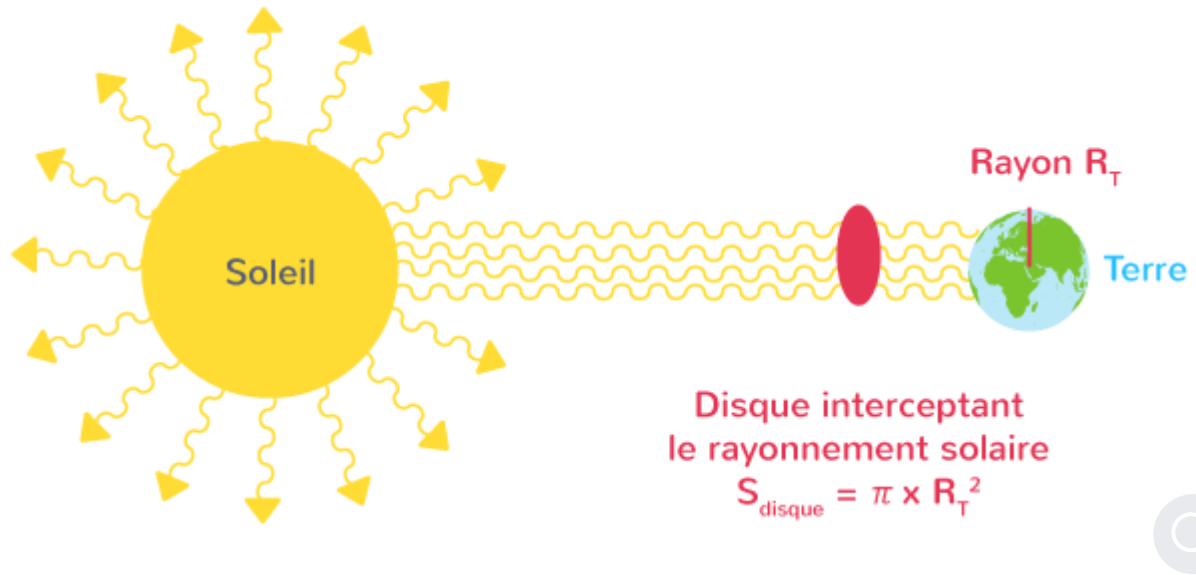
L'expression de la puissance solaire par unité de surface au niveau de la Terre est donc :

$$P_{\text{solaire surfacique}} = \frac{P_{\text{totale}}}{S_{\text{sphère}}} = \frac{P_{\text{totale}}}{4 \times \pi \times D^2}$$

Où P_{totale} désigne la puissance totale dégagée par le Soleil.

Ensuite, on exprime la puissance reçue par la Terre $P_{\text{reçue}}$ sachant que :

- Le rayonnement solaire qui atteint la surface terrestre traverse un disque (fictif) de rayon égal au rayon de la terre R_T .
- La surface de ce disque est $S_{\text{disque}} = \pi \times R_T^2$.
- La puissance reçue est égale au produit de la puissance solaire surfacique et de la surface de ce disque.



La puissance solaire reçue est égale à la puissance reçue par un disque de rayon R_T

L'expression de la puissance reçue par la Terre est donc :

$$P_{\text{reçue}} = P_{\text{solaire surfacique}} \times S_{\text{disque}} = P_{\text{solaire surfacique}} \times \pi \times R_T^2$$

D'où :

$$P_{\text{reçue}} = \frac{P_{\text{totale}}}{4 \times D^2} \times R_T^2$$

Ce qui peut aussi s'écrire :

$$P_{\text{reçue}} = \frac{R_T^2}{4 \times D^2} \times P_{\text{totale}}$$

On effectue l'application numérique, sachant que :

- le rayon de la Terre est $R_T = 6\,370 \text{ km} = 6\,370 \times 10^3 \text{ m}$;
- la distance moyenne Soleil-Terre est $D = 150 \text{ millions de km} = 150 \times 10^9 \text{ m}$;
- la puissance totale émise par le soleil est $P_{\text{totale}} = 3,86 \times 10^{26} \text{ W}$.

Soit :

$$P_{\text{reçue}} = \frac{(6\,370 \times 10^3)^2}{4 \times (150 \times 10^9)^2} \times 3,86 \times 10^{26}$$

$$P_{\text{reçue}} = 1,74 \times 10^{17} \text{ W}$$

Cette puissance reçue par la Terre se répartit sur l'ensemble de sa surface qui est donnée par la relation :

$$S = 4 \times \pi \times R_T^2$$

La puissance surfacique moyenne atteignant le sol terrestre est donc :

$$P_{\text{surfacique}} = \frac{P_{\text{reçue}}}{S}$$

$$P_{\text{surfacique}} = \frac{P_{\text{reçue}}}{4 \times \pi \times R_T^2}$$

$$P_{\text{surfacique}} = \frac{1,74 \times 10^{17}}{4 \times \pi \times (6370 \times 10^3)^2}$$

$$P_{\text{surfacique}} = 341 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



REMARQUE

Dans la relation $P_{\text{reçue}} = \frac{R_T^2}{4 \times D^2} \times P_{\text{totale}}$, le rapport $\frac{R_T^2}{4 \times D^2}$ est égal à

$\frac{(6\,370 \times 10^3)^2}{4 \times (150 \times 10^9)^2} = 4,5 \times 10^{-10}$: la Terre reçoit donc moins de 0,00000005 % du rayonnement qu'émet le Soleil.

B L'albédo terrestre

L'albédo moyen de la surface terrestre permet de déterminer la puissance solaire que la Terre réfléchit.

Lorsque la surface d'un corps reçoit un rayonnement, une partie de celui-ci est réfléchie et l'autre partie est absorbée. Ainsi, lorsque la Terre reçoit la puissance solaire :

- une fraction est absorbée par l'atmosphère, les continents et les océans.
- une fraction est réfléchie et diffusée vers l'espace.

L'albédo désigne ce phénomène de réflexion du rayonnement solaire.

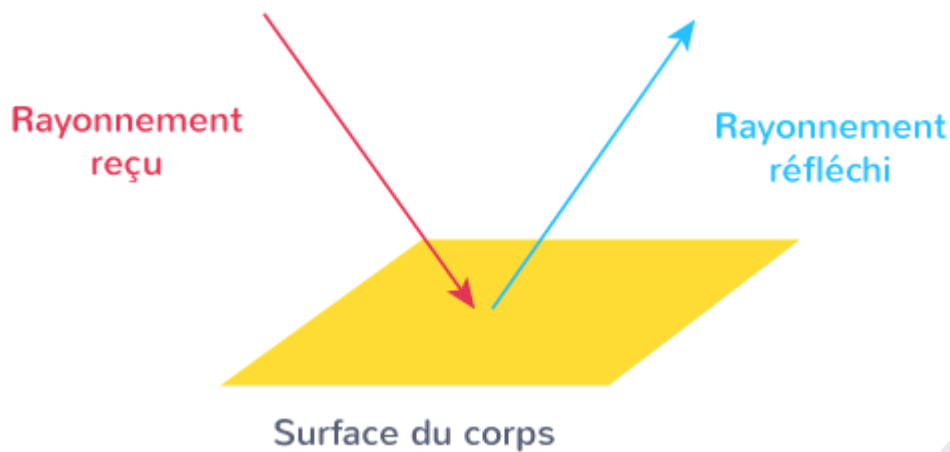
DÉFINITION

Albédo

L'albédo A est le rapport de la puissance de rayonnement réfléchie $P_{\text{réfléchi}}$ par une surface par la puissance de rayonnement reçue $P_{\text{reçue}}$:

$$A = \frac{P_{\text{réfléchi}}(\text{W})}{P_{\text{reçue}}(\text{W})}$$

L'albédo est un nombre sans unité, compris entre 0 et 1, qui peut être exprimé en pourcentage.

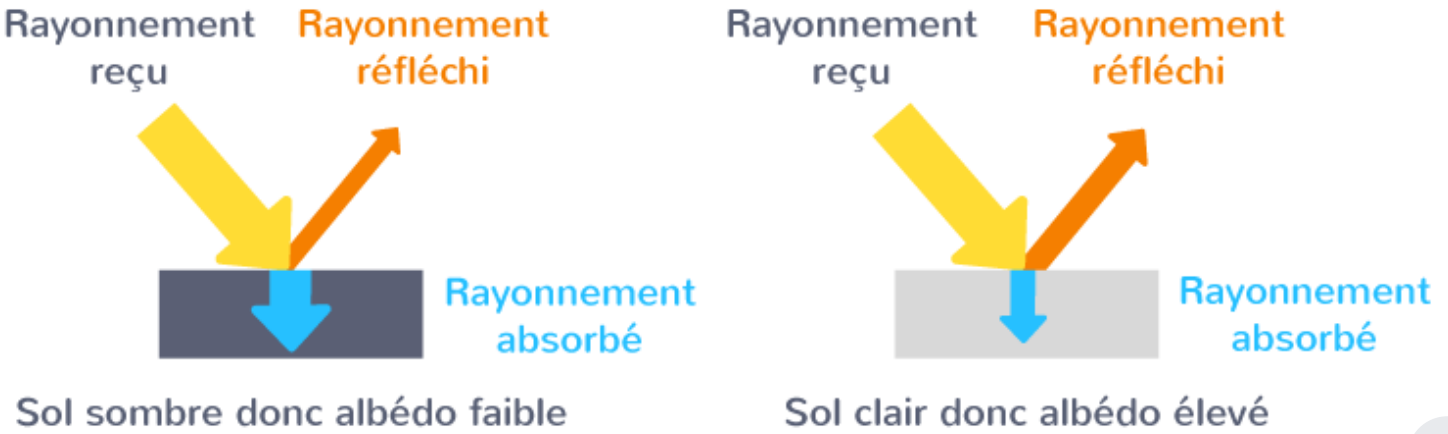


EXEMPLE

- Un corps qui serait d'un blanc absolu aurait un albédo de 100 % (toute l'énergie reçue serait diffusée).
- Inversement, un corps d'un noir absolu aurait un albédo de 0 % (toute l'énergie serait absorbée et rien ne serait diffusé).

PROPRIÉTÉ

L'albédo terrestre dépend de la nature de la surface qui réfléchit le rayonnement (océan, glace, forêt, roches, etc.) et de la couverture nuageuse. L'albédo terrestre moyen est $A = 30 \%$.



Influence du sol sur l'albédo

EXEMPLE

| Nature du sol | Albédo |
|-----------------------------|--------|
| Neige fraîche | 0,87 |
| Glace | 0,4 |
| Sol cultivé avec végétation | 0,2 |
| Surface de l'océan | 0,1 |
| Forêt dense | 0,1 |

La puissance totale du rayonnement solaire reçu par le sol est la différence entre la puissance du rayonnement reçu et la puissance de rayonnement réfléchi. Elle peut être déterminée à partir de l'albédo terrestre moyen et de la puissance solaire qui atteint la Terre.

FORMULE

Puissance solaire reçue par le sol compte tenu de l'albédo

La puissance solaire reçue par le sol compte tenu de l'albédo A est donnée par la relation :

$$P_{\text{sol}} = P_{\text{reçue}} - P_{\text{réfléchi}}$$

Avec :

$$P_{\text{réfléchi}} = A \times P_{\text{reçue}}$$

Soit :

$$P_{\text{sol}} = P_{\text{reçue}} - A \times P_{\text{reçue}}$$

$$P_{\text{sol}} = (1 - A) \times P_{\text{reçue}}$$

EXEMPLE

En moyenne, la puissance solaire atteignant le sol, compte tenu de l'albédo, est :

$$P_{\text{sol}} = (1 - A) \times P_{\text{reçue}}$$

$$P_{\text{sol}} = (1 - 0,30) \times 1,74 \times 10^{17}$$

$$P_{\text{sol}} = 1,22 \times 10^{17} \text{ W}$$

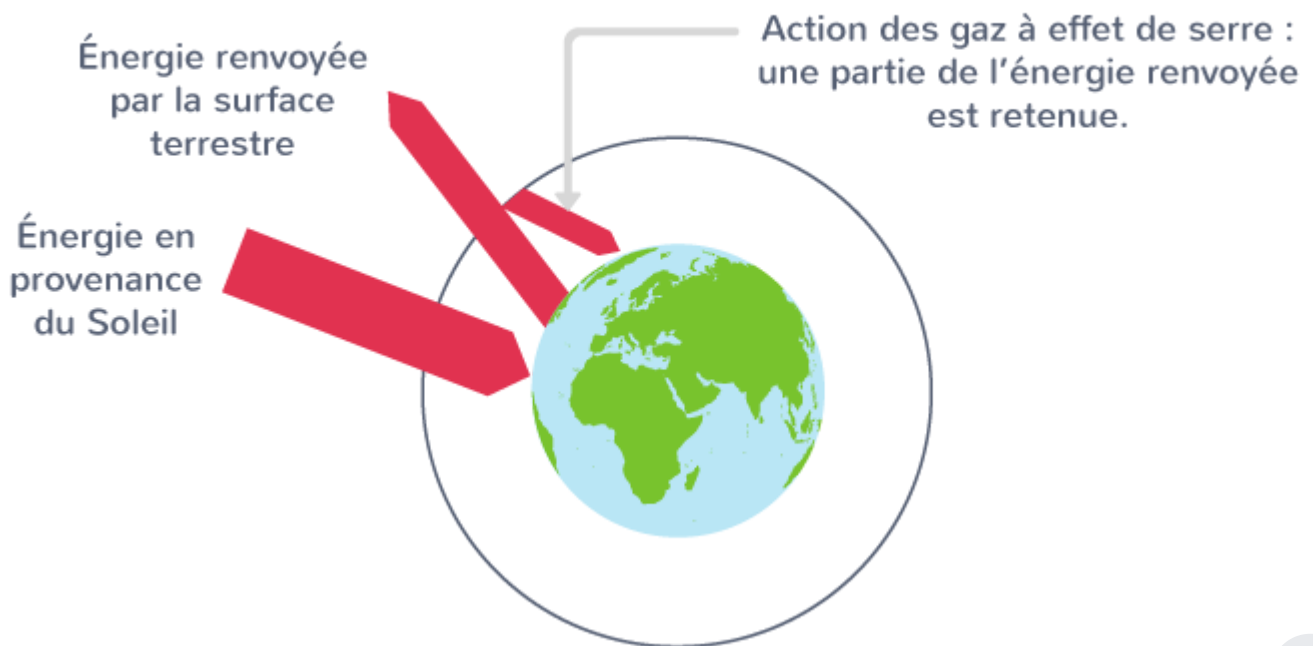
C L'effet de serre

Seule une faible partie du rayonnement solaire quitte le système Terre-atmosphère. L'essentiel du rayonnement est piégé dans l'atmosphère à cause de l'effet de serre.

DÉFINITION

Effet de serre

L'**effet de serre** est un phénomène naturel de réchauffement de la surface terrestre. Des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, vapeur d'eau, etc.) se trouvent dans l'atmosphère et capturent les rayons infrarouges : le sol terrestre et l'atmosphère échangent continuellement de l'énergie sous forme de rayonnement infrarouge.

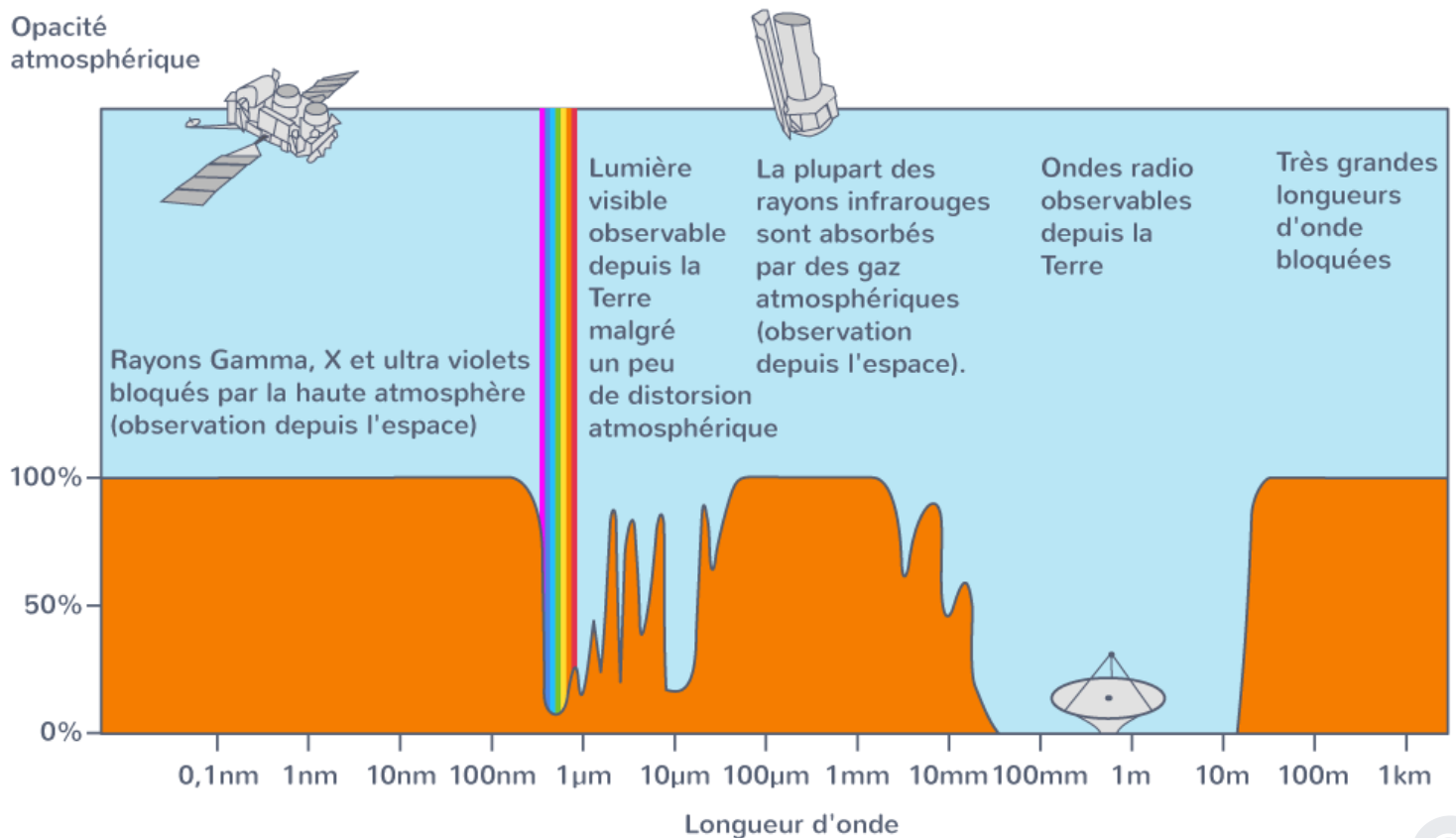


Effet de serre



PROPRIÉTÉ

La courbe d'absorption de l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde montre que l'atmosphère absorbe une faible proportion du rayonnement infrarouge émis par le sol.



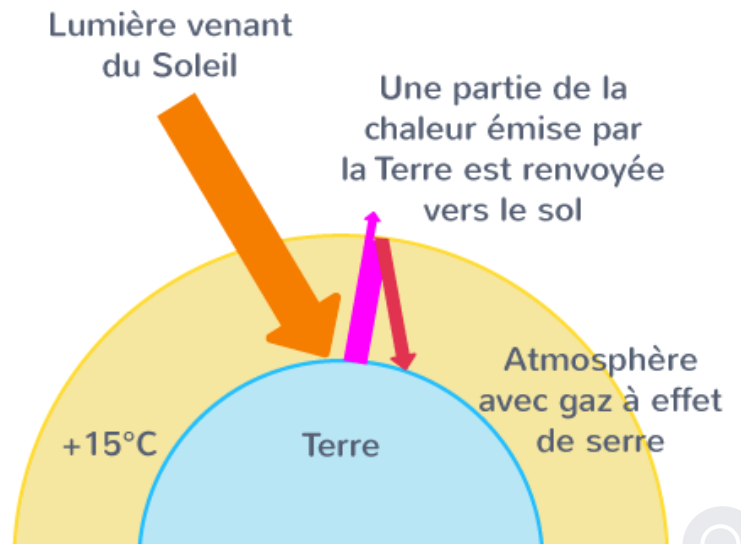
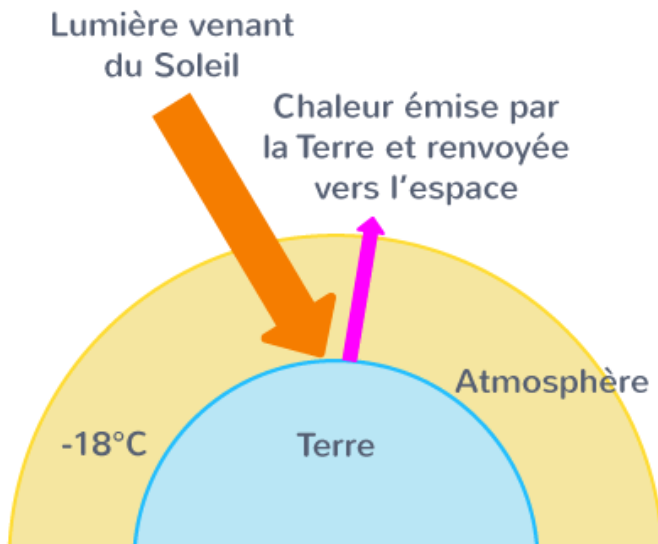
Courbe d'absorption de l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde

PROPRIÉTÉ

Sans l'effet de serre, la température moyenne à la surface de la Terre serait de -18 °C au lieu des $+15\text{ °C}$ actuels. La température moyenne du sol est constante, car la puissance totale qu'il reçoit, provenant du Soleil et de l'atmosphère, est égale à la puissance moyenne qu'il émet. On parle alors **d'équilibre dynamique**.

Sans gaz à effet de serre

Avec gaz à effet de serre



Impact de l'effet de serre sur la température terrestre

La Terre reçoit sensiblement autant d'énergie qu'elle en perd, le bilan est équilibré, et la température sur Terre est théoriquement stable. Cependant, l'intensification de l'effet de serre due aux activités humaines entraîne un déplacement de cet équilibre et une augmentation de cette température moyenne.

D La température terrestre moyenne

La loi de Stefan-Boltzmann permet de déterminer la température terrestre moyenne.

DÉFINITION

Modèle du corps noir

Le corps noir est un objet physique idéal qui absorbe tout le rayonnement électromagnétique qu'il reçoit. C'est le modèle utilisé dans les lois sur les rayonnements.

EXEMPLE

Certains objets réels sont de bonnes approximations du corps noir idéal, du moins sur certains intervalles de longueur d'onde et à condition que le rayonnement réfléchi soit négligeable devant le rayonnement émis.

LOI

Loi de Stefan-Boltzmann

La loi de Stefan-Boltzmann relie le flux thermique Φ émis par un corps noir en fonction de sa température T :

$$\Phi_{(\text{W.m}^{-2})} = \sigma_{(\text{J.K}^{-4}\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1})} \times T_{(\text{K})}^4 \Leftrightarrow T_{(\text{K})} = \sqrt[4]{\frac{\Phi_{(\text{W.m}^{-2})}}{\sigma_{(\text{J.K}^{-4}\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1})}}}$$

Où $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ J.K}^{-4}\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ est la constante de Stefan-Boltzmann.

EXEMPLE

Sachant que le flux thermique émis par le sol terrestre est $\Phi = 341 \text{ W.m}^{-2}$, la loi de Stefan-Boltzmann permet d'estimer sa température moyenne :

$$T_{(K)} = \sqrt[4]{\frac{\Phi_{(W.m^{-2})}}{\sigma_{(J.K^{-4}m^{-2}.s^{-1})}}}$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{341}{5,67 \times 10^{-8}}}$$

$$T = 278 \text{ K}$$

Soit, en degrés Celsius :

$$T = 278 - 273,15 = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

La valeur de la température de la surface terrestre déterminée par la loi de Stefan-Boltzmann (5 °C) est donc inférieure à la valeur réelle qui est de 15 °C : la Terre ne se comporte pas vraiment comme un corps noir. Pour obtenir une température plus proche de la réalité, il faudrait notamment tenir compte de l'albédo de la surface terrestre, de l'effet de serre, et pour une étude de la température locale, des mouvements des masses d'air et des mouvements des masses d'eau.