

# Les transferts macroscopiques d'énergie

Par suite des échanges avec l'extérieur, comment varie l'énergie d'un système ?

## 1) Comment passer du macroscopique au microscopique ?

→ activité : Du macroscopique au microscopique

Au début du XX<sup>e</sup>, des scientifiques comme le français Jean PERRIN, cherchent à relier les échelles humaine et atomique. Ils déterminent expérimentalement la constante d'Avogadro  $N_A$  qui représente le nombre d'entités contenues dans une mole. Le mouvement brownien a permis, par des observations et des mesures à notre échelle, c'est-à-dire macroscopique, de prouver l'existence de particules infiniment petites appartenant au domaine microscopique.

La constante d'Avogadro fait le lien entre les échelles microscopique et macroscopique,  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

## 2) Comment varie l'énergie interne d'un système ?

### 1) Énergie interne

Les particules d'un système, quel que soit son état physique, sont en mouvement désordonné. Ce mouvement appelé agitation thermique est mesuré à l'échelle macroscopique par la température.

Plus la température d'un corps est élevée, plus l'agitation thermique de ces particules est importante et plus leur énergie cinétique microscopique est grande.

L'énergie potentielle microscopique est due aux interactions gravitationnelle, électromagnétique, forte et faible entre les particules qui constituent le système. On distingue les énergies potentielles microscopiques chimique, électrique, magnétique et nucléaire.

Pour définir l'énergie cinétique microscopique d'une particule, il faut préciser qu'en plus d'un mouvement d'ensemble (qualifié de mouvement macroscopique), les particules peuvent avoir un mouvement par rapport au centre d'inertie du système et donc une vitesse dans le référentiel d'inertie. On associe à cette vitesse une énergie cinétique microscopique. De plus, les particules peuvent interagir entre elles. À ces interactions, on associe une énergie potentielle microscopique. L'énergie interne est définie comme la somme de toutes ces contributions microscopiques. On note que, dans le modèle du gaz parfait, les interactions entre les molécules de gaz sont négligées, de telle sorte qu'au niveau microscopique le système ne possède qu'une énergie cinétique. On montre, en théorie cinétique des gaz, que l'énergie interne d'un gaz parfait n'est fonction que de sa température. Lorsque les interactions entre particules ne sont plus négligeables, on utilise d'autres modèles de gaz : le modèle de Van der Waals par exemple.

**L'énergie interne  $U$  d'un système macroscopique résulte de contributions microscopiques : l'énergie cinétique microscopique et l'énergie potentielle microscopique.**

L'énergie totale d'un système est la somme de son énergie interne et de son énergie mécanique :  $E_{\text{tot}} = U + E_m$ .

## 2) Variation d'énergie d'un système

La variation d'énergie totale d'un système est la somme de la variation de son énergie interne et de la variation de son énergie mécanique.

Lorsque l'énergie mécanique du système est constante, la variation d'énergie totale est uniquement due à la variation d'énergie interne.

La **variation d'énergie interne  $\Delta U$**  d'un système est la conséquence des échanges d'énergie avec l'extérieur par travail  $W$  ou par transfert thermique  $Q$ . Si l'énergie mécanique du système est constante :

$$\Delta U = W + Q$$

Par convention, le travail et le transfert thermique sont comptés positivement s'ils sont reçus par le système et négativement s'ils sont cédés par le système.

Par exemple, un radiateur électrique convertit de l'énergie électrique en énergie thermique. Pour cela, il reçoit un travail électrique  $W > 0$  et cède un transfert thermique  $Q < 0$ .

### 3) Capacité thermique

La capacité thermique C d'un corps est l'énergie thermique que doit recevoir ce corps pour élever sa température de 1 degré Celsius (°C) ou d'1 Kelvin (K). Elle dépend du corps, de son état physique, de sa masse m. On utilise souvent la capacité thermique massique c, avec  $c = C / m$  qui s'exprime en J/K/kg ou en J/°C/kg.

Lorsque la température d'un corps de masse m dans un état condensé, c'est-à-dire à l'état solide ou liquide, passe de  $T_i$  à  $T_f$ , la variation d'énergie interne  $\Delta U$  a pour expression :

$$\Delta U = m \cdot c \cdot (T_f - T_i) = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Avec  $\Delta U$  en J, m en kg,  $\Delta T$  en K ou en °C et c en J/K/kg ou en J/°C/kg.

Cette variation d'énergie interne est positive ou négative selon le signe de  $\Delta T$ .

# 3) Comment s'effectuent les transferts thermiques ?

## 1) Différents modes de transferts

Un transfert thermique s'effectue suivant plusieurs modes :

- Par conduction : l'agitation thermique se transmet de proche en proche dans la matière, mais sans déplacement d'ensemble de celle-ci. Elle se produit principalement dans les solides.
- Par convection : l'agitation thermique se transmet de proche en proche dans la matière avec déplacement d'ensemble de celle-ci, elle se produit dans les fluides.
- Par rayonnement : l'absorption ou l'émission de rayonnement modifie l'agitation thermique. Ce mode de transfert s'effectue même dans le vide.

## 2) Flux et résistance thermique

Une paroi plane, dont deux faces sont à des températures différentes  $T_1$  et  $T_2$ , est le siège d'un transfert thermique par conduction

Si l'énergie thermique  $Q$  est transférée à travers cette paroi pendant la durée  $\Delta t$ , on définit le flux thermique  $\varphi$  à travers cette paroi par :

$$\varphi = \frac{Q}{\Delta t}$$

avec  $\varphi$  en watt (W),  $Q$  en joule (J) et  $\Delta t$  en seconde (s).

Le **flux thermique** est l'énergie transférée à travers une paroi par unité de temps. Ce transfert se fait spontanément de la source chaude vers la source froide; il est naturellement **irréversible\***.

Lorsque les températures  $T_1$  et  $T_2$  sont constantes au cours du temps, le flux s'exprime aussi par :

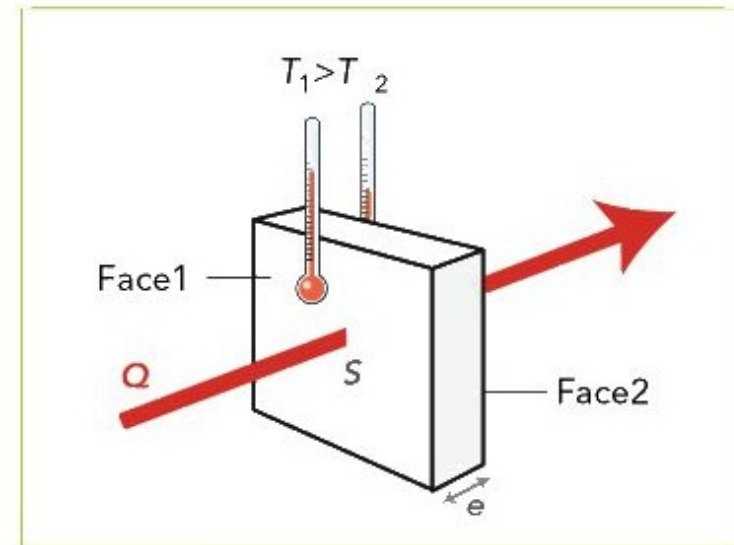
$$\varphi = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}}$$

avec  $T_1$  et  $T_2$  en kelvin (K) ou en degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) et  $T_1 > T_2$ .

$R_{th}$  est appelée la résistance thermique de la paroi et s'exprime en  $\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$  ou  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{W}^{-1}$ .

Afin de travailler avec des flux positifs, on écrira dans la suite :

$$\varphi = \frac{|T_1 - T_2|}{R_{th}}$$



Transfert thermique par conduction à travers une paroi d'épaisseur  $e$  et de surface  $S$ .

Pour un même écart de température entre les deux faces d'une paroi, plus la résistance thermique de la paroi est grande et plus le flux thermique est faible. Une paroi de grande résistance thermique est un bon isolant thermique.

- La résistance thermique  $R_{th}$  d'une paroi plane dépend de la conductivité thermique  $\lambda$  du matériau, de son épaisseur  $e$  et de la surface  $S$  traversée par le flux  
Elle est proportionnelle à  $e$  et inversement proportionnelle à  $\lambda$  et à  $S$  :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$$

avec  $e$  en m,  $S$  en  $m^2$ ,  $\lambda$  en  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$  et  $R_{th}$  en  $K \cdot W^{-1}$  (ou en  $^{\circ}C \cdot W^{-1}$ ).

- La conductivité thermique caractérise un matériau
- Lorsque plusieurs parois sont accolées, la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques de chaque paroi.

On peut écrire :

$$\varphi = \frac{|T_1 - T_2|}{R_{th\_tot}}$$

avec  $R_{th\_tot} = R_{th1} + R_{th2} + R_{th3} + \dots$



## 4) Comment établir un bilan d'énergie ?

Pour établir un bilan énergétique, il faut :

- définir le système macroscopique étudié
- relever la nature des transferts énergétiques (par travail ou par transfert thermique) entre ces systèmes et l'extérieur
- repérer le sens de ces transferts et leur attribuer un signe positif si le système reçoit de l'énergie et négative s'il en perd.