

# Transferts macroscopiques d'énergie

B.O.

## Énergie, matière et rayonnement

| Notions et contenus                                                                                                                 | Compétences exigibles                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Du macroscopique au microscopique</b>                                                                                            | Extraire et exploiter des informations sur un dispositif expérimental permettant de visualiser les atomes et les molécules.                                                                                 |
| Constante d'Avogadro.                                                                                                               | Évaluer des ordres de grandeurs relatifs aux domaines microscopique et macroscopique.                                                                                                                       |
| <b>Transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques</b><br>Notions de système et d'énergie interne. Interprétation microscopique. | Savoir que l'énergie interne d'un système macroscopique résulte de contributions microscopiques.                                                                                                            |
| Capacité thermique.                                                                                                                 | Connaître et exploiter la relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température pour un corps dans un état condensé.                                                                 |
| Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement.<br>Flux thermique. Résistance thermique.<br>Notion d'irréversibilité.  | Interpréter les transferts thermiques dans la matière à l'échelle microscopique.<br>Exploiter la relation entre le flux thermique à travers une paroi plane et l'écart de température entre ses deux faces. |
| Bilans d'énergie.                                                                                                                   | Établir un bilan énergétique faisant intervenir transfert thermique et travail.                                                                                                                             |

## I. Passage du macroscopique au microscopique

Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, des scientifiques comme 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.

La **constante d'Avogadro** fait le lien entre les échelles microscopique et macroscopique.

Réponses de l'activité sur les travaux de Jean Perrin (vidéo canal-u.tv) :

**1** Des particules macroscopiques sont percutées par des particules microscopiques et, de ce fait, sont animées d'un mouvement aléatoire nommé mouvement brownien.

**2**  $\overline{x^2}$  est le carré moyen du déplacement selon l'axe x. Il est calculé en faisant la moyenne des carrés des déplacements d'un grain suivant un axe horizontal pendant un intervalle de temps donné. Dans cette relation, l'intervalle de temps est noté t.

**3** On déduit de la formule  $\frac{\overline{x^2}}{t} = \frac{R \cdot T}{N_A \cdot 4\pi r^3 \eta}$  que l'activité du mouvement brownien est inversement proportionnelle au nombre d'Avogadro.

Cette activité dépend aussi de la température, de la taille du grain, de la viscosité du liquide et d'une constante R, la constante molaire des gaz parfaits.

**4** Lors de la première expérience, J. PERRIN a modifié la taille des grains et la viscosité du liquide pour

prouver que la constante d'Avogadro ne dépend pas des conditions de mesure.

**5** J. PERRIN a déterminé le rayon moyen des grains en évaporant l'eau et en alignant les grains selon un axe horizontal.

**6** D'après les données de l'énoncé, l'encadrement actuel de la valeur de la constante d'Avogadro est :

$$6,022\,141\,02 \times 10^{23} < N_A < 6,022\,144\,56 \times 10^{23}$$

L'encadrement de J PERRIN était de :

$$5,5 \times 10^{23} < N_A < 8,0 \times 10^{23}.$$

Il est bien compatible avec l'encadrement actuel.

**7** 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.

## II. Variation de l'énergie interne d'un système

### 1. Energie interne

Les particules d'un système sont en mouvement désordonné. Ce mouvement, appelé agitation thermique, est mesurée à l'échelle macroscopique par la température.

Plus la température d'un corps est élevée, plus l'agitation thermique des particules qui le constituent est importante et plus leur énergie cinétique microscopique est grande.

L'énergie potentielle microscopique est due aux interactions gravitationnelle, électromagnétique entre les particules qui constituent le système.

# Transferts macroscopiques d'énergie

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 interne  $\Delta U$  d'un système est la conséquence d'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.

## 3. Capacité thermique

La capacité thermique  $C$  d'un corps est l'énergie thermique que doit recevoir ce corps pour élever sa température d'un degré Celsius ou d'un kelvin. Elle dépend du corps, de son état physique, de sa masse  $m$ .

On utilise souvent la capacité thermique massique  $c$ , avec  $c = \frac{C}{m}$ .

Lorsque la température d'un corps de masse  $m$  dans un état condensé (solide ou liquide) passe de  $T_i$  à  $T_f$  sa variation d'énergie interne a pour expression :

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

Avec  $\Delta U$  en Joule (J),  $m$  en kg,  $\Delta T$  en kelvin (K) ou en °C.

$c$  est appelée la capacité thermique massique du corps et s'exprime en joule par kg et par K ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) ou ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ).

| Matériau  | $C (\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1})$ |
|-----------|--------------------------------------|
| Aluminium | 897                                  |
| Plomb     | 130                                  |
| Ethanol   | 2430                                 |
| Eau       | 4180                                 |

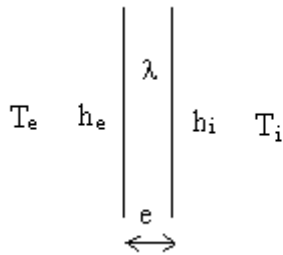
## III. Transferts thermiques

### 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 et avec déplacement d'ensemble, elle se produit dans les fluides (eau chauffée...).
- par rayonnement : l'absorption ou l'émission de rayonnement modifie l'agitation thermique. Ce mode de transfert s'effectue même dans le vide (plaques vitrocéramiques, induction... ;).

## 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.

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

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.

Le flux s'exprime aussi par :  $\varphi = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}}$

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

Une paroi de grande résistance thermique est un bon isolant thermique.

La résistance thermique dépend de la conductivité thermique  $\lambda$  du matériau, de son épaisseur  $e$  et de la surface  $S$  traversée par le flux :  $R_{th} = \frac{e}{\lambda.S}$ .

$\lambda$  en  $W.m^{-1}.K^{-1}$ .

La conductivité thermique caractérise un matériau.

| Matériau  | $\lambda$ en $W.m^{-1}.K^{-1}$ |
|-----------|--------------------------------|
| Cuivre    | 400                            |
| Aluminium | 250                            |
| Verre     | 1                              |
| Béton     | 1                              |
| Bois      | 0.1                            |