

CHAPITRE 18 : TRANSFERTS D'ÉNERGIE ENTRE SYSTÈMES MACROSCOPIQUES

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers

Avril 2020

I. Du macroscopique au microscopique

1. La constante d'Avogadro

- À notre échelle, dite échelle macroscopique, les dimensions des atomes sont si petites qu'un échantillon de matière contient un nombre considérable de particules : un morceau de sucre, par exemple, contient environ 10^{22} molécules de saccharose !
- Ce nombre d'entités renfermées dans un échantillon macroscopique de matière ne permet pas l'application simple des lois de la mécanique à l'échelle microscopique.
- Si le comportement individuel de chaque molécule n'est pas accessible, leur comportement collectif peut être décrit grâce à des grandeurs physiques macroscopiques telles que la température, le volume ou la pression.

I. Du macroscopique au microscopique

1. La constante d'Avogadro

- Afin d'établir le lien entre le monde macroscopique et le monde microscopique, les scientifiques du début du XX^e siècle ont établi et déterminé expérimentalement la constante d'Avogadro N_A qui correspond à une mole d'entités élémentaires.
- **Définition** : une mole d'entités contient autant d'entités qu'il y a d'atomes de carbone dans 12,00 g de carbone $^{12}_6\text{C}$, soit un nombre d'entités égal à $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

I. Du macroscopique au microscopique

2. Système macroscopique

- **Définition** : un système macroscopique est une portion de l'espace limitée par une surface qui contient la matière étudiée. Un tel système est constitué d'un grand nombre de particules, atomes ou molécules, assimilées à des points matériels.
- Tout ce qui n'appartient pas au système macroscopique défini comme système d'étude est dit "milieu extérieur".

I. Du macroscopique au microscopique

3. Visualiser des atomes ou des molécules

➡ Activité n°1 P386

- Les microscopes à effet tunnel (STM) et les microscopes à force atomique (AFM) permettent d'obtenir des images de synthèse à l'échelle des atomes ou des molécules et permettent également de travailler sur la matière à cette même échelle, ouvrant ainsi la porte aux nanotechnologies.

II. Énergie d'un système

1. Énergie interne

- **Définition** : on appelle énergie interne l'ensemble des formes d'énergie microscopiques présentes au sein d'un système. On la note U.
- L'énergie interne est due, en particulier, aux interactions existant entre les particules qui constituent le système (énergies potentielles microscopiques) et à l'énergie cinétique des particules qui constituent le système.

II. Énergie d'un système

1. Énergie interne

- La température est la mesure de l'énergie cinétique moyenne des particules qui constituent un système (agitation thermique). Si la température d'un système augmente, alors l'énergie cinétique microscopique des particules augmente et par conséquent, l'énergie interne U augmente elle aussi.
- Les énergies potentielles microscopiques sont dues aux interactions gravitationnelle, électromagnétique, forte et faible entre les particules constituant le système. On distingue les énergies potentielles microscopiques chimique, électrique, magnétique et nucléaire notamment.

II. Énergie d'un système

2. Énergie mécanique

- **Définition** : l'énergie mécanique E_M d'un système macroscopique est la somme de l'énergie cinétique macroscopique E_C et des énergies potentielles macroscopiques E_P (comme E_{PP} par exemple).
- L'énergie totale d'un système est la somme de son énergie interne et de son énergie mécanique :
$$E_{tot} = E_M + U$$

II. Énergie d'un système

3. 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 :
$$\Delta E_{tot} = \Delta U + \Delta E_M$$
- Lorsque l'énergie mécanique d'un système est constante, la variation d'énergie totale se résume à la variation de son énergie interne : si $\Delta E_M = 0$, alors $\Delta E_{tot} = \Delta U$

II. Énergie d'un système

4. Modes de transfert d'énergie

- Le travail W et le transfert thermique Q sont deux modes de transfert d'énergie : leur signe dépend du sens du transfert entre le système et l'extérieur.
- La variation d'énergie interne ΔU d'un système est la conséquence d'échange d'énergie avec le milieu extérieur par travail W et/ou transfert thermique Q .
- Si l'énergie mécanique du système est constante, alors :
$$\boxed{\Delta U = Q + W}$$
- Si $\Delta U > 0$, alors le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur.
- Si $\Delta U < 0$, alors le système fournit de l'énergie au milieu extérieur.

III. Transferts thermiques

1. Variation d'énergie interne

- Lorsqu'un système condensé (liquide ou solide) évolue d'un état initial vers un état final, la variation de son énergie interne ΔU est proportionnelle à sa variation de température ΔT

- On a alors :
$$\Delta U = C \times \Delta T = C \times (T_f - T_i)$$
 où

C : capacité thermique du système en $J \cdot K^{-1}$

ΔT : variation de température en K

ΔU : variation d'énergie interne en J

- Parfois on écrit aussi
$$\Delta U = m \times c \times (T_f - T_i)$$
 où

c : capacité thermique massique du système en $J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$

III. Transferts thermiques

2. Mécanisme du transfert thermique

- Lors d'un transfert thermique, la température du corps chaud diminue et la température du corps froid augmente.
- Lorsque $T_{\text{corps chaud}} = T_{\text{corps froid}}$, on dit que les deux objets sont à l'équilibre thermique.
- Le transfert spontané d'énergie thermique (chaleur) s'effectue toujours du corps chaud vers le corps froid.
- Les transferts thermiques sont une cause d'irréversibilité : il arrive qu'un système évoluant par transfert thermique vers un état final ne puisse pas spontanément revenir à son état initial.

III. Transferts thermiques

3. Trois modes de transfert thermique

a. Conduction

- **Définition** : le transfert thermique par conduction est produit au niveau microscopique par des interactions entre des entités en contact direct. Il s'opère de proche en proche.
- **Exemple** : le manche d'une casserole sur le feu finit par devenir chaud au bout d'un certain temps ; l'agitation thermique se propage de proche en proche dans le métal.

III. Transferts thermiques

3. Trois modes de transfert thermique

b. Convection

- **Définition** : le transfert thermique par convection est généré par un mouvement **global** des entités microscopiques à l'intérieur d'un système. Ce mode de transfert thermique est spécifique des systèmes fluides (gaz ou liquides).
- **Exemple** : dans une pièce équipée d'un chauffage au sol, l'air chaud, moins dense que l'air froid, monte dans la pièce alors que l'air froid descend vers le sol pour s'y réchauffer, ce qui permet de chauffer l'ensemble de la pièce.

III. Transferts thermiques

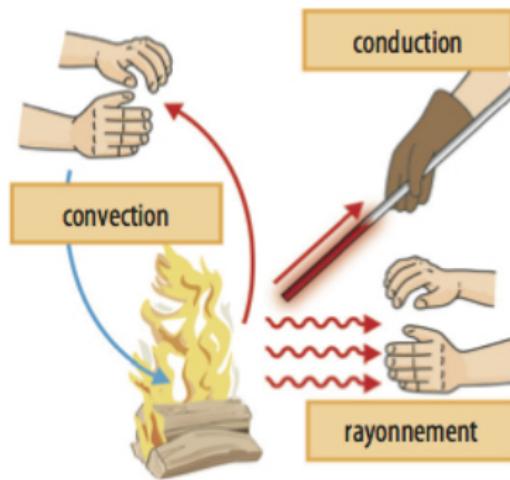
3. Trois modes de transfert thermique

c. Rayonnement

- Définition : le transfert thermique par rayonnement est généré par émission ou absorption d'un rayonnement électromagnétique.
- Exemple : les lampes à infrarouges que l'on trouve sur les quais de gare ou sur les terrasses chauffées ou encore dans certains panneaux rayonnants.

III. Transferts thermiques

3. Trois modes de transfert thermique



IV. Flux thermique

1. Définition

- Le flux thermique Φ caractérise la vitesse du transfert thermique Q , pendant une durée Δt , au sein d'un système ou entre différents systèmes.

- Il est donné par la relation :
$$\boxed{\Phi = \frac{Q}{\Delta t}}$$
 où

Q : énergie thermique échangée en J

Δt : durée du transfert thermique en s

Φ : flux thermique en W

IV. Flux thermique

2. Cas d'une paroi plane

- À travers une paroi plane de surface S et d'épaisseur e , constituée d'un matériau de conductivité thermique λ , le flux thermique est proportionnel à l'écart de température entre les deux faces A et B de la paroi.
- On a alors la relation :
$$\Phi = \frac{\lambda \times S}{e} \cdot (T_A - T_B)$$
 où

Φ : flux thermique en W

S : surface de la paroi en m^2

e : épaisseur de la paroi en m

T_A et T_B : températures de chaque côté de la paroi en K

λ : conductivité thermique de la paroi en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

IV. Flux thermique

3. Résistance thermique

- Définition : on appelle résistance thermique, notée R_{th} , la grandeur

définie par :
$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$
 où

R_{th} : résistance thermique en $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

e : épaisseur de la paroi en m

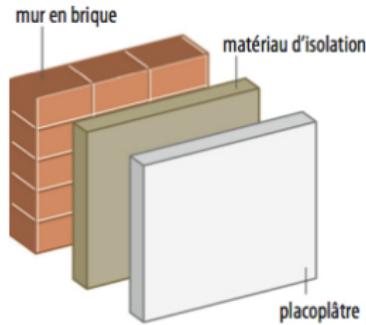
S : surface de la paroi en m^2

λ : conductivité thermique de la paroi en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

IV. Flux thermique

3. Résistance thermique

- On obtient alors la relation suivante : $(T_A - T_B) = R_{th} \times \Phi$
- La résistance thermique de plusieurs parois planes accolées (en série) est égale à la somme des résistances thermiques de chaque paroi.



$$R_{th}^{\text{total}} = R_{th}^{\text{mur}} + R_{th}^{\text{isolant}} + R_{th}^{\text{placo}}$$

EXERCICES

EXERCICES D'APPLICATION : PP397-405 n°16, 20, 22

EXERCICES D'ENTRAÎNEMENT : PP397-405 n°28, 29, 33, 35