

Partie Comprendre : Lois et modèles

CHAP 14-COURS Transferts macroscopiques d'énergie

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

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

1. COMMENT PASSER DU MACROSCOPIQUE AU MICROSCOPIQUE

- La matière est constituée d'un nombre d'entités (atomes, ions ou molécules) trop important pour permettre l'application simple des lois de la mécanique à l'échelle microscopique.

*- Si le comportement individuel de chaque entité est inaccessible, leur comportement collectif peut cependant être décrit grâce à des grandeurs physiques macroscopiques mesurables à l'échelle humaine, comme la **température**, le **volume** ou la **pression**.*

- On passe du microscopique au macroscopique grâce à la constante d'Avogadro
 $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

1 mol = $6,02 \cdot 10^{23}$ atome, molécules, ions

2. DEFINITION D'UN SYSTEME (MACROSCOPIQUE)

- Lorsqu'on effectue une étude énergétique dans le but de mettre en évidence des transferts d'énergie, il est nécessaire de définir le système que l'on étudie.

- Le système peut être un objet ou un ensemble d'objets matériel(s). Le plus souvent, il s'agit d'une modélisation de la réalité.

Un système est un ensemble macroscopique d'entités microscopiques (atomes, ions ou molécules). Il est séparé du milieu extérieur par une frontière : une interface où peuvent avoir lieu des transferts d'énergie.

Exemple

Une casserole remplie d'eau sur le feu est un système qui est le siège de transferts d'énergie avec son milieu extérieur (air et gaz en combustion). On le note {casserole + eau}.

Il est délimité par la surface de la **casserole** en contact avec l'air et le gaz et par la surface de **l'eau**.

3. ENERGIE INTERNE

3.1. Définition

L'énergie interne, notée U , est l'énergie qu'un système peut stocker sans qu'il y ait modification de son énergie *cinétique* ni de son énergie *potentielle* de pesanteur

3.2. contribution microscopique à l'énergie interne

L'énergie interne d'un système est la **somme** de toutes les énergies microscopiques liées à sa structure à l'échelle moléculaire, atomique et nucléaire.

L'énergie cinétique microscopique, qui est liée à l'agitation thermique désordonnée des entités du système. Cette énergie augmente avec la *température* du système.

Les énergies potentielles d'interaction, qui dépendent de la distance entre les entités. Plus les entités s'éloignent, plus la contribution de l'énergie potentielle d'interaction à l'énergie interne *diminue*.

3.3. Bilan énergétique d'un système ou variation d'énergie d'un système

a) Système au repos

Exemple : Comment augmenter l'énergie interne des molécules présentes dans un piston?

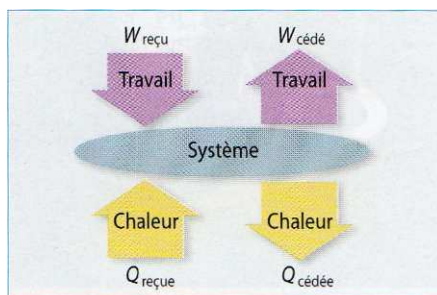
animation « [molécules dans un piston](#) »

Un système est soumis à des forces extérieures qui travaillent. L'énergie interne U de ce système *augmente* si ce dernier reçoit du *travail* ($W_{\text{reçu}}$) ou de la *chaleur* ($Q_{\text{reçue}}$). Inversement, U diminue si le système *cède* du travail ($W_{\text{cédé}}$) ou de la *chaleur* ($Q_{\text{cédée}}$).

Le système au repos voit son énergie interne varier de :

$$\Delta U = W_{\text{reçu}} + Q_{\text{reçue}} - W_{\text{cédé}} - Q_{\text{cédée}}$$

ΔU : Variation d'énergie interne en joules (J)
 W : Travail en joules (J)
 Q : Chaleur en joules (J)



Remarque :

La chaleur est un **échange d'énergie**, aucun système ne possède de la chaleur

b) Système en mouvement

Lorsque le système est en mouvement dans le référentiel d'étude, il faut également prendre en compte son énergie **cinétique** E_c et la relation devient :

Le système en mouvement voit son énergie interne varier de :

$$\Delta U + \Delta E_c = W_{\text{reçu}} + Q_{\text{reçue}} - W_{\text{cédé}} - Q_{\text{cédée}}$$

4. CAPACITE THERMIQUE

4.1. définition

Hors changement d'état, la variation de l'énergie interne ΔU d'un système est reliée à une variation ΔT de la température du système par :

$$\Delta U = C \cdot \Delta T$$

ΔU : En joules (J)
 ΔT : En Kelvin (K) ou en degrés (°C)
 C : La capacité thermique en $J.K^{-1}$ ou $^{\circ}C^{-1}$

Rq :

- Si la température du système augmente ($\Delta T > 0$), son énergie interne **aussi** : $\Delta U > 0$.
- Si à l'inverse la température du système **diminue** ($\Delta T < 0$), son énergie interne aussi : $\Delta U < 0$.
- Si le système n'échange que de la chaleur : $\Delta U = Q$

La capacité thermique C d'un corps dans un état condensé (solide ou liquide) est l'énergie thermique qui faut lui apporter pour élever sa température **d'un degré Kelvin ou Celsius**

Exemple: la capacité thermique de l'eau est $C = 4,18 \times 10^3 J.K^{-1}$. Calculer l'énergie thermique Q à apporter pour élever sa température de $t_i = 20^{\circ}C$ à $t_f = 100^{\circ}C$:

$$Q = C \cdot \Delta T = C \cdot (T_f - T_i)$$

$$Q = 4,18 \times 10^3 \times ((100 + 273) - (20 + 273))$$

$$Q = 3,34 \times 10^5 J$$

4.2. capacité thermique massique

La capacité thermique C d'un corps est proportionnelle à sa masse m :

$$C = m \cdot c$$

C : La capacité thermique en $J.K^{-1}$ ou $^{\circ}C^{-1}$
 m : masse du corps en kilogramme (kg)
 c : capacité thermique massique du corps, en joule par kilogramme et par degré Celsius ($J.kg^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$).

La capacité thermique massique correspond à l'énergie thermique qu'il faut fournir à **un kilogramme** de corps pour élever sa température de $1^{\circ}C$ ou 1 K.

Exemple: c (aluminium) = $897 J \cdot ^{\circ}C^{-1} \cdot kg^{-1}$; Calculer l'énergie thermique à fournir pour élever la température d'un bloc d'aluminium de 4,5 kg de $20^{\circ}C$ à $800^{\circ}C$:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 4,5 \times 897 \times (800 - 20) = 3,2 \cdot 10^6 J$$

5. TRANSFERTS THERMIQUES

5.1. chaleur et flux thermique

- Entre un corps chaud à la température T_c et un autre plus froid à la température T_f , il peut se produire un transfert thermique : le corps froid **reçoit** de la chaleur tandis que le corps **chaud** cède de la chaleur.

- La puissance thermique P_{th} (ou flux thermique : ϕ) est la chaleur échangée entre un corps chaud et un corps froid par **unité de temps**. C'est une grandeur positive qui s'exprime en **watt**, de symbole W

$$P_{th} = \frac{Q}{\Delta t}$$

P_{th} : puissance thermique (ou flux thermique φ) (Watt : W)
 Q : Chaleur échangée entre un corps chaud et un corps froid (**transfert thermique**) en joules (J)
 Δt : variation de temps (en s)

Remarques :

Lorsque les températures T_c et T_f sont constantes au cours du temps on a aussi

$$P_{th} = \frac{T_c - T_f}{R_{th}}$$

T_c et T_f en Celsius ($^{\circ}C$) ou en Kelvins (K)
 et $T_c > T_f$
 R_{th} : Résistance thermique en $K \cdot W^{-1}$ ou $^{\circ}C \cdot W^{-1}$

Pour avoir des flux positifs on met une barre de valeur absolue

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

Exemple: la résistance thermique d'une vitre est $R_{th} = 5,0 \times 10^{-3} K \cdot W^{-1}$; la température de la pièce est $T_c = 22^{\circ}C$, la température extérieure est $T_f = 2^{\circ}C$. Calculer le flux thermique et la chaleur perdue en 1h.

$$\varphi = \frac{T_c - T_f}{R_{th}} = \frac{22 - 2}{5,0 \times 10^{-3}} = 4,0 \times 10^3 J \cdot s^{-1}$$

$$Q = \varphi \cdot \Delta t = 4,0 \times 10^3 \times 1 \times 3600 = 1,4 \times 10^7 J$$

5.2. Résistance thermique

a) En fonction du flux thermique

- Soit un corps chaud à la température T_c et un corps froid à la température $T_f < T_c$, séparés par une paroi plane (doc. 10).
- Un transfert thermique s'opère du corps chaud vers le corps froid, qui reçoit la chaleur Q pendant la durée Δt .
- Le flux thermique est proportionnel à la différence des températures $T_c - T_f$:

$$T_c - T_f = R_{th} \cdot P_{th} = R_{th} \cdot \frac{Q}{\Delta t}$$

P_{th} : puissance thermique (ou flux thermique : φ) (Watt : W)
 Q : Chaleur échangée entre un corps chaud et un corps froid (**transfert thermique**) en joules (J)
 Δt : Variation de temps (en s)
 $T_c - T_f$ = différence de température en K ou $^{\circ}C$
 R_{th} : Résistance thermique en $K \cdot W^{-1}$ ou $^{\circ}C \cdot W^{-1}$

Remarque: plus la résistance thermique est importante plus le flux thermique est **faible** car $\varphi = \frac{T_c - T_f}{R_{th}}$. Or

$\varphi = \frac{Q}{\Delta t}$, donc plus la résistance thermique est importante plus la chaleur échangée entre la source chaude et la source froide est **faible**. Un matériau possédant une résistance thermique élevée est un **bon** isolant.

b) En fonction de la conductivité thermique

La résistance thermique R_{th} d'une paroi plane dépend de la **conductivité thermique** λ du matériau, de son **épaisseur** e et de la **surface** S traversée par le flux

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

R_{th} : Résistance thermique en $K \cdot W^{-1}$
 e : épaisseur du matériau (m)
 S : surface traversée par le flux (m^2)
 λ : conductivité thermique du matériau ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)

La conductivité thermique caractérise un matériau (doc. 11).

Matériau	$\lambda (W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$
Cuivre	400
Aluminium	250
Verre	1
Béton	1
Bois	0,1

Exemple: comparons la chaleur perdue par un mètre carré de laine de verre et de béton de même épaisseur $e = 0,24$ m. La température extérieure est $T_f = 5^\circ C$, la température à l'intérieur de la maison est $T_c = 20^\circ C$. $R_{th}(laine) = 6,85 K \cdot W^{-1}$, $R_{th}(béton) = 0,24 K \cdot W^{-1}$. La durée du transfert est $\Delta t = 1h$.

$$\frac{Q(laine)}{\Delta t} = \frac{T_c - T_f}{R_{th}(laine)}$$

$$\frac{Q(béton)}{\Delta t} = \frac{T_c - T_f}{R_{th}(béton)}$$

$$\frac{Q(béton)}{Q(laine)} = \frac{R_{th}(laine)}{R_{th}(béton)} = \frac{6,85}{0,24} = 28$$

Remarque :

Lorsque plusieurs parois sont accolées, la résistance thermique totale est égale à la **somme** des résistances thermiques de chaque paroi. On peut écrire :

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

Les fabricants d'isolant indiquent en général la valeur de la résistance thermique ramenée à une surface de $1 m^2$; elle est alors notée R et exprimée en $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ mais cette unité est souvent omise.

5.3. différents modes de transferts thermiques

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**.

Exemple: casserole chauffée sur une plaque

- **Par convection** : l'agitation thermique se transmet de proche en proche dans la matière et avec déplacement d'ensemble de celle-ci. Elle se produit dans les **fluides**.

Exemple : sèche cheveux (ou eau dans la casserole)

- **Par rayonnement** : l'absorption ou l'émission de rayonnement modifie l'agitation thermique. Ce mode de transfert s'effectue même dans le **vide**.



6. MACHINE THERMIQUE

3.1. Définition

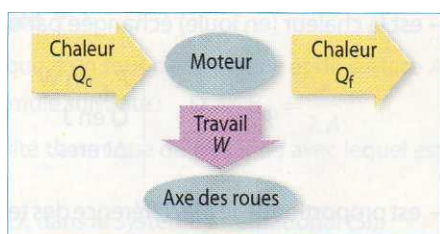
- Les machines thermiques assurent une transformation de chaleur en **travail**, ou l'inverse.
- En **régime permanent ou stationnaire**, l'énergie interne d'une machine thermique ne varie pas $\Delta U = 0$, car elle retrouve le même état.

Il existe deux types de machines thermiques :

- les moteurs thermiques qui cèdent du travail ;
- les récepteurs qui reçoivent du travail.

3.2. Moteurs

- Les moteurs thermiques **fournissent un travail W**. Pour cela, ils utilisent un corps **chaud** qui leur cède **la chaleur Q_c** .
- Cependant, la transformation de la chaleur en travail **ne peut pas se faire** intégralement : une partie est **cedée** à un corps froid sous forme de **chaleur Q_f** (doc. 15).



Le bilan énergétique d'un moteur peut s'écrire :

$$\Delta U = Q_c - Q_f - W$$

3.2. Récepteurs

Les récepteurs **reçoivent** un travail W.

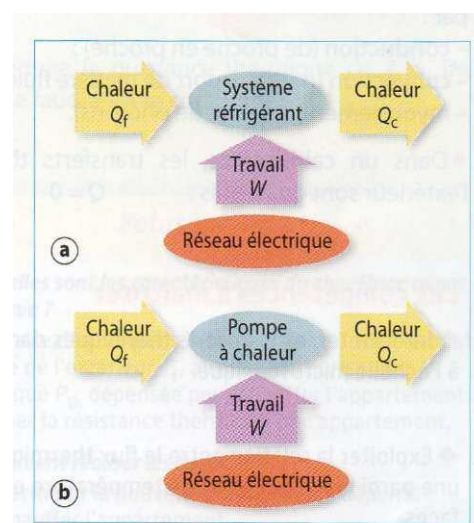
Le bilan énergétique d'un récepteur s'écrit :

$$\Delta U = Q_f - Q_c + W$$

$\Delta U = 0$ en régime permanent.

Rem :

Un récepteur peut être branché sur le réseau électrique, qui lui cède le travail électrique.



7. COMMENT ETABLIR UN BILAN D'ENERGIE?

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 ce système et l'extérieur;
- repérer le sens de ces transferts et leur attribuer un **signe positif** si le système reçoit de l'énergie **ou négatif** s'il en perd