

Chap11- Transferts macroscopiques d'énergie

I. Energie d'un système macroscopique

L'énergie totale E_{TOT} d'un système physique (par exemple une pomme) se décompose en :

- **Energies microscopiques (U)**

- Les énergies cinétiques des particules composant le système, qui sont en mouvement du fait de leur agitation thermique liée à la température.
- Les énergies potentielles d'interaction entre atomes, ions, molécules...

- **Energies macroscopiques (E_m)**

- L'énergie cinétique du système s'il est en mouvement (la pomme tombe par exemple)
- Les énergies potentielles (de pesanteur, électrique, élastique)

Définition :

L'ENERGIE INTERNE d'un système notée U est la grandeur macroscopique définie comme la somme des énergies cinétiques et potentielles MICROSCOPIQUES des entités constituant le système.

Ainsi, l'énergie totale d'un système physique est égale à :

$$E_{TOT} = E_m + U$$

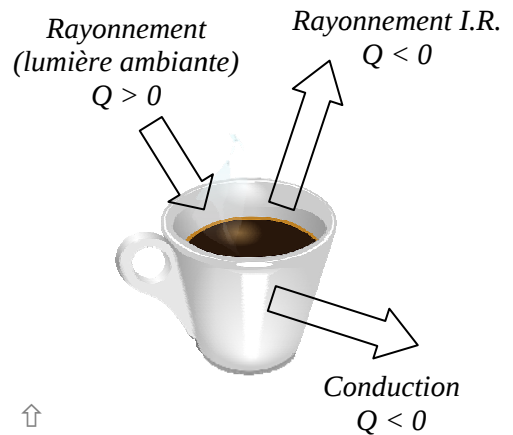
E_m ou énergie mécanique en J
 U ou énergie interne en J

A noter :

- On ne mesure que la variation ΔU de l'énergie interne, entre un état initial et un état final.
- Cette variation est la conséquence d'échanges d'énergies du système avec l'extérieur, sous forme de travail W ou par transfert thermique Q .

Si l'énergie mécanique du système est constante,
 $\Delta U = W + Q$

- Dans le cas où le système étudié n'interagit pas avec son environnement (système isolé) ou si le système subit une transformation cyclique (machines thermiques : moteur ou PAC) son énergie interne reste constante : $\Delta U = 0 \text{ J}$
- Par convention, W et Q sont **POSITIFS** s'ils sont reçus par le système et **NEGATIFS** s'ils sont cédés par le système.



Echange énergétique d'un café

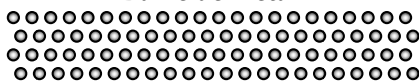
II. Transferts thermiques

II.1 Modes de transfert thermique

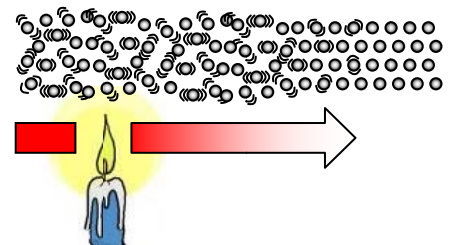
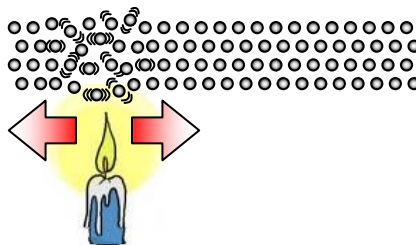
Les différentes possibilités pour un système d'échanger de l'énergie avec l'extérieur par transfert thermique sont au nombre de 3:

1. La CONDUCTION

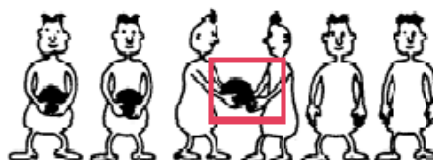
Barre de métal



La conduction thermique



L'agitation des atomes est diffusée à partir de la partie chauffée du métal.



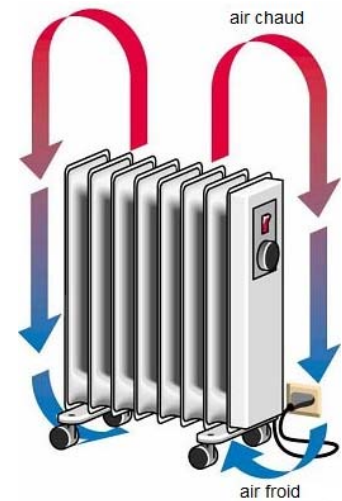
2. La **CONVECTION**

La convection est un transfert porté par un mouvement de matière. **Elle ne se produit que dans les fluides.**

Le fluide chauffé, et donc dilaté, s'élève à la verticale de la source entraînant un appel de fluide à la base de la source chaude. Le fluide est ainsi brassé.

Contrairement à la conduction, il y a un déplacement (macroscopique) de matière.

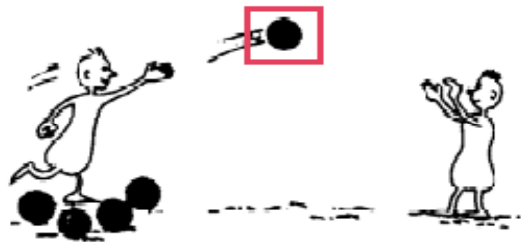
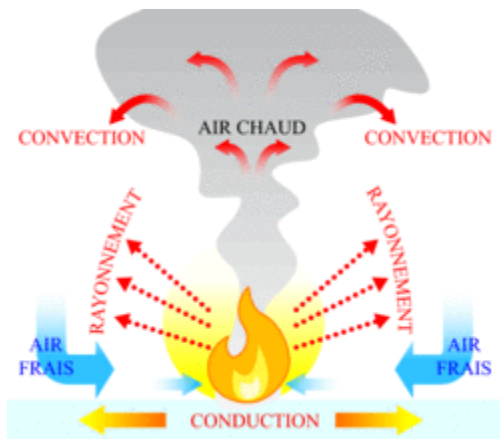
Mouvement de convection



3. Le **RAYONNEMENT**

Un transfert par rayonnement est généré par l'émission ou l'absorption d'un rayonnement électromagnétique.

Ce mode de transfert est le seul à pouvoir s'effectuer dans le vide.



II.2 Energie interne et température

On considère un système solide ou liquide qui n'échange de l'énergie que par transfert thermique sans changer d'état physique.

Lorsque un corps de masse m , liquide ou solide, passe d'une température initiale T_i à une température finale T_f , sa variation d'énergie interne ΔU a pour expression :

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

$\Leftrightarrow$

$$\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$$

ΔU en J

ΔT en kelvins (K) ou $^{\circ}\text{C}$

m en kg

c en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ou en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$

La grandeur c est appelée « **capacité thermique massique** » du solide ou du liquide en question.

Elle représente l'énergie qu'il faut fournir pour augmenter de 1 K la température d'un kilogramme de ce solide ou liquide.

II.3 Flux et résistance thermique

Définition :

Le flux thermique Φ à travers une surface est la puissance thermique qui la traverse. Ce flux évalue la vitesse du transfert thermique Q pendant une durée Δt . Il va spontanément de la source chaude vers la source froide et est **IRREVERSIBLE** :

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

Φ en watts (W)

Δt en s

Q en J

Exemple :

Le mur laisse passer en une heure une énergie de $1,73 \cdot 10^5 \text{ J}$.
Le flux thermique correspondant est :

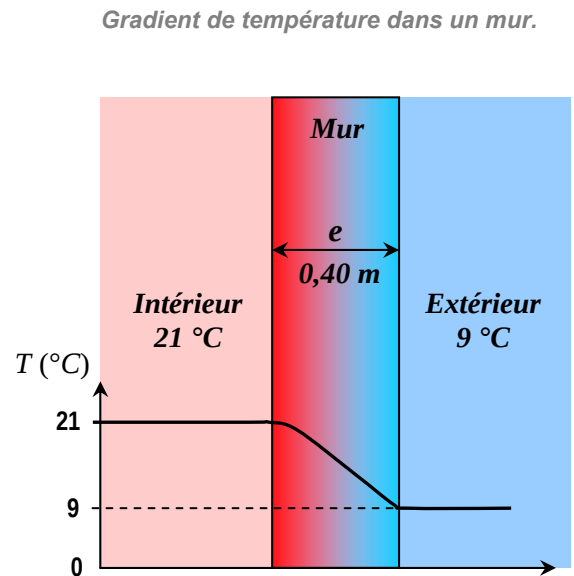
$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{1,73 \cdot 10^5}{3600} = 48,1 \text{ W}$$

La résistance thermique d'un corps traduit sa capacité à s'opposer au transfert thermique.

Définition :

Pour une paroi plane dont les deux faces sont à la température T_1 et T_2 avec $T_1 > T_2$, traversée par un flux thermique Φ , la résistance thermique R est définie par :

$$R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{\Phi} \quad \left| \begin{array}{l} \Phi \text{ en watts (W)} \\ T \text{ en K ou } ^\circ\text{C} \\ R_{th} \text{ en K} \cdot \text{W}^{-1} \end{array} \right.$$



Pour une paroi plane, la résistance dépend de :

- son épaisseur e
- sa surface S
- sa constitution caractérisée par une conductivité thermique notée λ

Ainsi, la résistance thermique R est aussi définie par :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S} \quad \left| \begin{array}{l} e \text{ en m} \\ S \text{ en m}^2 \\ \lambda \text{ en W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ R_{th} \text{ en K} \cdot \text{W}^{-1} \end{array} \right.$$

A noter : Lorsque plusieurs parois sont accolées, la résistance thermique équivalente est égale à la somme des résistances thermiques.

Matériau	λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
Air	0,026
Polystyrène	0,036
Bois	0,16
Béton	0,92
Verre	1,2
Acier	46
Aluminium	250
Cuivre	390

↑ Exemples de conductivités

Questions :

- Retrouver la dimension de la conductivité thermique.
- Déterminer l'expression de la conductivité thermique en fonction de Φ , e , S , T_1 et T_2 .
- En déduire la nature de la matière composant le mur de la figure 10 de surface 10 m^2 .
- Déterminer la nouvelle résistance thermique de ce mur si l'on y accole 10 cm de polystyrène.
- En déduire la nouvelle valeur Φ' du flux thermique de ce mur isolé. Conclure.

III. Bilans énergétiques

Pour établir un bilan énergétique, on doit :

- Définir le **système macroscopique étudié**.
- Déterminer la **nature des transferts énergétiques** (Travail W ou chaleur Q) entre le système et l'extérieur.
- Déterminer le **sens de ces transferts** : l'énergie reçue par le système est comptée positivement, et celle cédée, négativement.
- Représenter ces transferts par une chaîne énergétique et conclure sur l'efficacité de la transformation en déterminant généralement un rendement (en %) noté η (êta)

$$\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie reçue}}$$

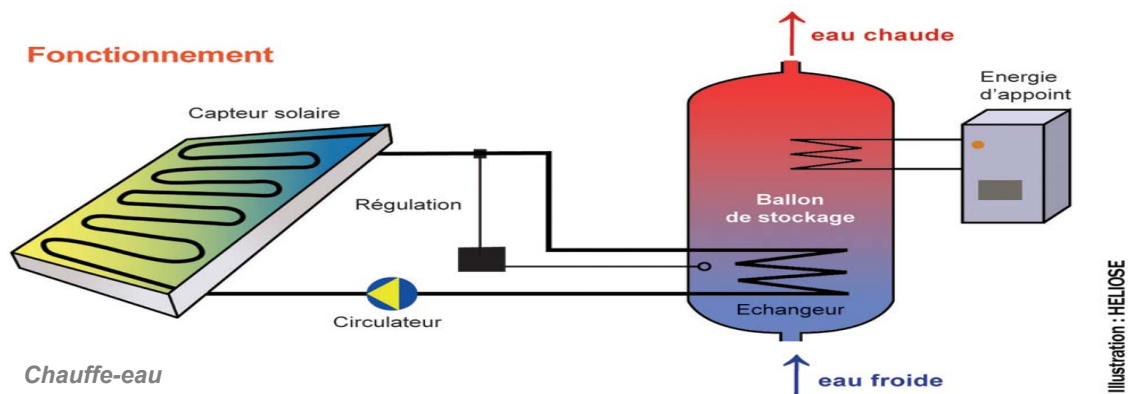
ou bien en se plaçant au niveau de l'utilisateur :

$$\eta = \frac{\text{énergie récupérée}}{\text{énergie fournie au système}}$$

Exemple :

L'eau circulant dans le circuit primaire d'un chauffe-eau solaire utilise la puissance solaire reçue, valant $P = 2200 \text{ W}$, pour chauffer 200 L d'eau.

En une heure la température de l'eau passe de 15°C à 22°C

**Questions :**

- Déterminer le rendement de ce chauffe-eau sachant que $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- On considère le système {eau du circuit primaire}. Compléter le diagramme énergétique suivant :
- Exprimer le rendement η en fonction des énergies transférées.

