

Transferts thermiques

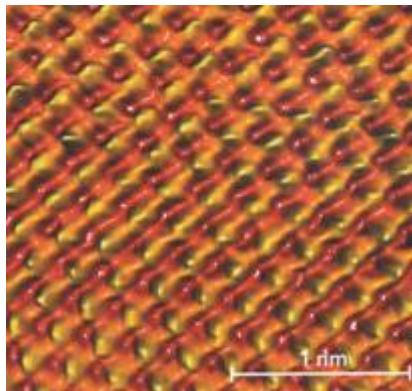
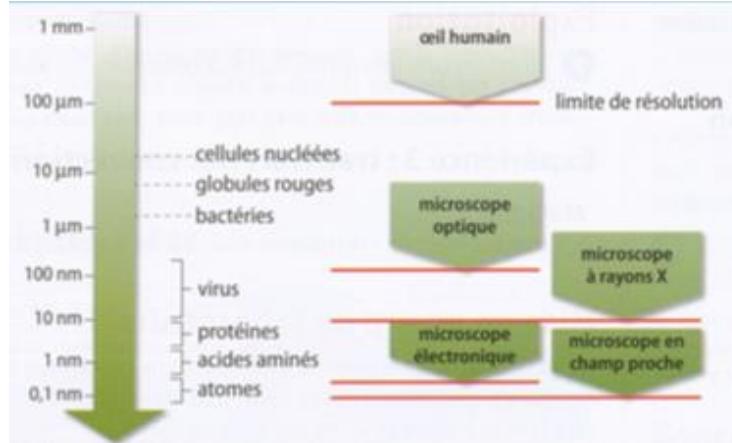
I. Du microscopique au macroscopique

I.1. Observations à l'échelle microscopique

A l'heure actuelle, les microscopes qui permettent d'explorer la matière à l'échelle de « l'infiniment petit » sont les microscopes dits « *en champ proche* », comme le *microscope à effet tunnel* (1981).

Ce dernier est constitué d'une pointe très fine, constituée de quelques atomes, placée très près de l'échantillon à analyser (quelques dixièmes de nanomètres). L'échantillon est obligatoirement conducteur. Un très faible courant électrique, fonction de la distance entre l'échantillon et la pointe, traverse cette dernière.

On fait défiler latéralement l'échantillon sous la pointe. Afin de maintenir la valeur du courant, il faut sans cesse ajuster la position de la pointe pour qu'elle se trouve toujours à la même distance de l'échantillon. On mesure précisément la position de la pointe à chaque instant.



Grâce à un ordinateur qui traite ces données, on peut alors dessiner le relief de l'échantillon (voir image ci-dessous).

Le *microscope à force atomique* reprend à peu près le même principe, sauf qu'il ne nécessite pas que l'échantillon soit un conducteur électrique : il utilise le fait qu'à ces distances, les atomes exercent des interactions d'attraction et de répulsion. En maintenant toujours la pointe à la même distance, on maintient constantes ces interactions.

I.2. Changement d'échelle ...

La matière est constituée d'un nombre trop grand d'entités (atomes, molécules, ions) pour que l'on puisse appliquer les lois physiques à l'échelle microscopique. On est donc **obligé de décrire le comportement collectif d'un grand nombre** d'espèces chimiques à l'aide de grandeurs physiques macroscopiques, mesurables à l'échelle humaine telles que la pression P, le volume V ou la température T.

La constante d'Avogadro, notée N_A , permet de faire le lien entre le réel à l'échelle microscopique et le réel tel qu'on l'appréhende, à l'échelle macroscopique.

Ainsi, on a défini (en 2^{nde}) la **mole comme l'une unité de quantité de matière** qui contient autant d'entités qu'il y a d'atomes dans 12 g de carbone 12, soit :

$$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Un **système macroscopique** est une portion d'espace limitée par une surface, contenant un grand nombre d'entités assimilées à des points matériels.

II. Energie totale d'un système

L'énergie totale E_{TOT} d'un système physique 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 ;
 - Les énergies potentielles (de pesanteur, électrique, élastique).

II.1. Energie interne U

Définition : l'énergie interne U d'un système notée 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 :

$$E_{TOT} = E_m + U \quad \left| \begin{array}{l} E_m : \text{énergie mécanique, en J} \\ U : \text{énergie interne, en J} \end{array} \right.$$

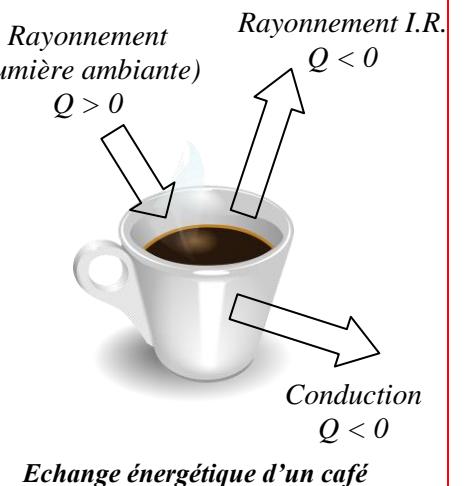
II.2. Variation de l'énergie interne U

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 .
S'il y a conservation de l'énergie du système : $\Delta U = W + Q$
(On appelle cette égalité le *1^{er} principe de la thermodynamique*)

Dans le cas où le système étudié n'interagit pas avec son environnement (système isolé), son énergie interne reste constante : $\Delta U = 0$

Par convention, W et Q sont POSITIFS s'ils sont reçus par le système et NEGATIFS s'ils sont cédés par le système.



III. Transferts thermiques

L'existence d'une différence de température entre deux systèmes ou au sein d'un système engendre un transfert spontané d'énergie, sous forme thermique (chaleur) de la partie la plus chaude vers la partie la plus froide.

Le (ou les) système(s) tend(ent) vers l'équilibre thermique.

Les transferts thermiques induisent de l'irréversibilité : le système évolue vers un état final sans pouvoir revenir à son état initial.

Ex : encre diffusée dans l'eau



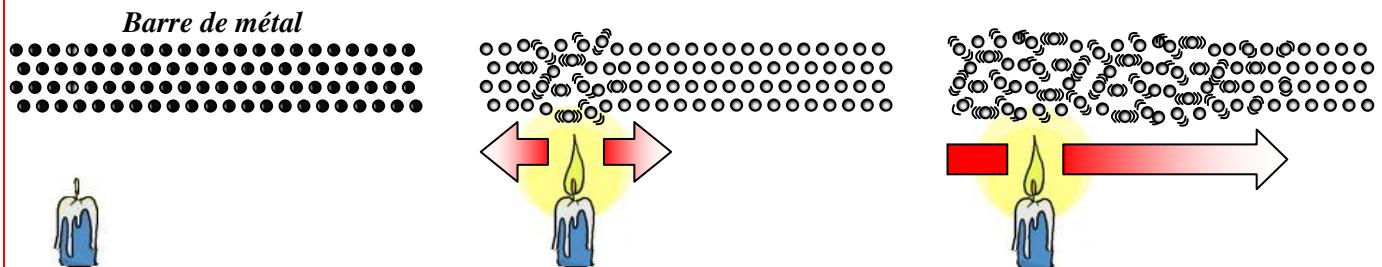
III.1. Modes de transfert thermique

Il existe 3 modes d'échange d'énergie, pour un système, avec l'extérieur par transfert thermique :

1^{er} mode : par conduction

Le transfert thermique se fait de **proche en proche, sans déplacement de matière**.
Au niveau microscopique, il y a transmission d'énergie lors du contact direct entre atomes ou molécules.

C'est le seul mode de transfert thermique dans les solides.



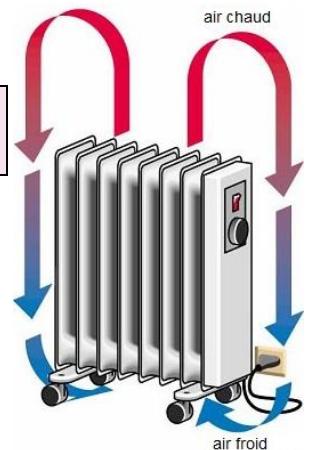
L'agitation des atomes est diffusée à partir de la partie chauffée du métal.

2^{ème} mode : par convection

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

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.



3^{ème} mode : par 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.

III.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.

Lorsqu'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 :

$$\Delta U = m \cdot c \cdot (T_F - T_I)$$

$$\Leftrightarrow \boxed{\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T}$$

ΔU en J
 ΔT en kelvins (K) ou $^{\circ}C$
 m en kg
 c en $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ou en $J \cdot kg^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$

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.

Exemples de valeurs :

Matériaux	Eau	Cuivre	Ethanol	Brique	Verre	Aluminium
$c (J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$	4180	385	2430	840	720	897

III.3. Flux thermique – résistance thermique

Définition du flux thermique :

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 :

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

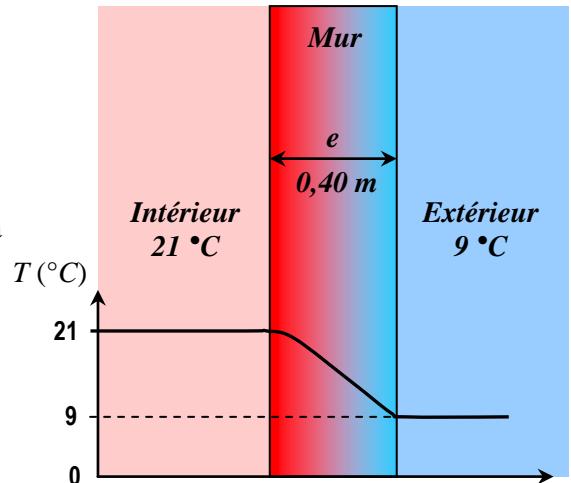
Φ en watt (W)
 Δt en seconde (s)
 Q en joule (J)

Exemple : le mur (ci-contre) laisse passer, en 1h, une énergie de $1,73 \cdot 10^5$ J. Le flux thermique correspondant est :

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

Définition de la résistance thermique :

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



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 :

$$\boxed{\Phi = \frac{\Delta T}{R_{th}}}$$

Φ en W
 T en K ou $^{\circ}C$
 R_{th} en $K \cdot W^{-1}$

Pour une paroi plane, la résistance thermique dépend de :

- son épaisseur e
- sa surface S
- sa conductivité thermique λ (qui est associée à la nature du matériau)

Ainsi, la résistance thermique R est aussi définie par :

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

e en m	λ en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
S en m^2	
R_{th} en $K \cdot W^{-1}$	

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

Applications possibles :

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

- 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 (schéma précédent) de surface 10 m^2 .
- Déterminer la nouvelle résistance thermique de ce mur si l'on y accolé 10 cm de polystyrène.
- En déduire la nouvelle valeur Φ' du flux thermique de ce mur isolé. Conclure.

IV. Bilans énergétiques

Pour établir un bilan énergétique, on doit :

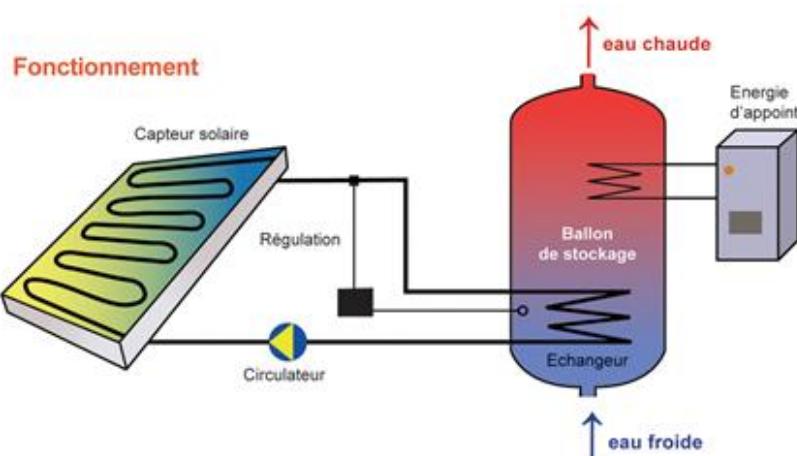
- Définir le **système macroscopique étudié**.
- Déterminer la **nature des transferts énergétiques** (Travail W ou chaleur Q) entre le système et l'extérieur.
- Déterminer le **sens de ces transferts** : l'énergie reçue par le système est comptée positivement, et celle cédée, négativement.
- Représenter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

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

Exemple :

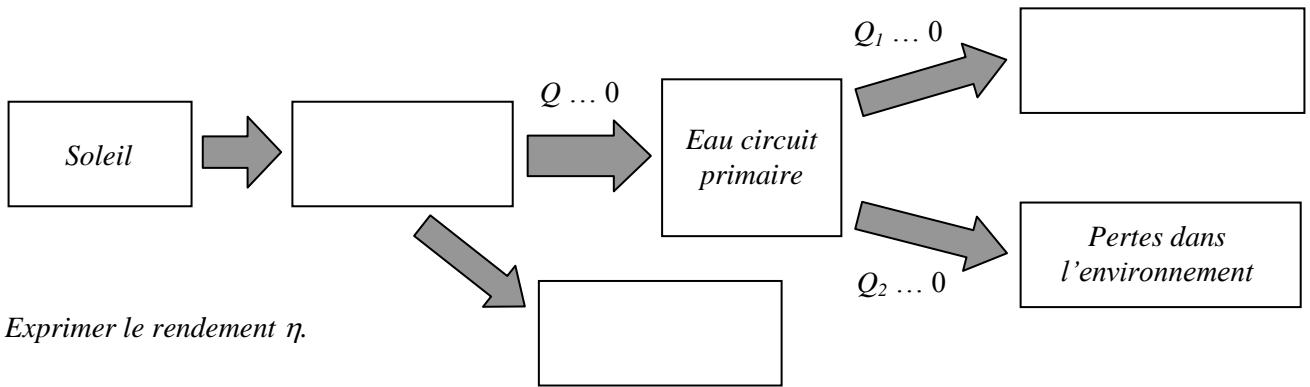
L'eau circulant dans le circuit primaire d'un chauffe-eau solaire utilise la puissance solaire reçue, valant $P = 2200 \text{ W}$, pour chauffer 200 L d'eau.

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 $c_{eau} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- On considère le système {eau du circuit primaire}. Compléter le diagramme énergétique suivant :



Exprimer le rendement η .