

**I. Du microscopique au macroscopique****1. Microscopie**

- Les microscopes classiques (optiques) permettent d'accéder à des dimensions très petites : on peut ainsi observer des êtres vivants dont la taille est de l'ordre de quelques dixièmes de micromètres. Mais si l'on veut aller au-delà, on est confronté à un problème : la diffraction des ondes lumineuses ne permet plus d'obtenir une image nette. L'objet observé au microscope doit avoir une dimension supérieure à la longueur d'onde de la lumière permettant l'observation (la limite est donc de quelques centaines de nanomètres).
- D'autres types de microscopies permettent néanmoins d'accéder à des dimensions plus petites.
- Les microscopes qui permettent actuellement d'explorer au plus loin la matière sont les microscopes dits « en champ proche », comme le microscope à effet tunnel (1981). Ce dernier est constitué d'une pointe très fine 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 arrêt 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.
- 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

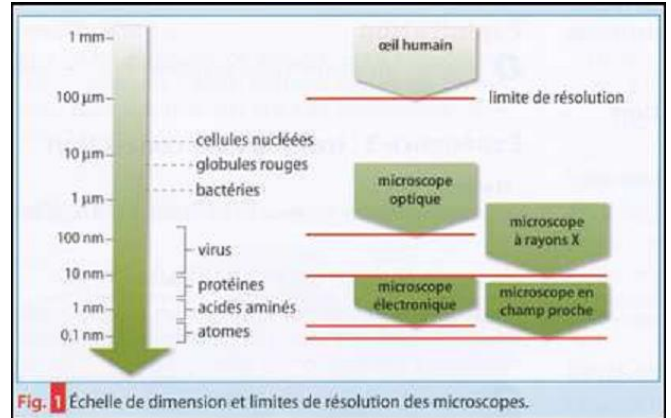


Fig. 1 Échelle de dimension et limites de résolution des microscopes.

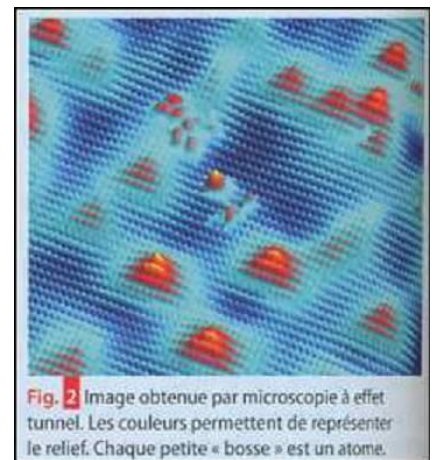


Fig. 2 Image obtenue par microscopie à effet tunnel. Les couleurs permettent de représenter le relief. Chaque petite « bosse » est un atome.

**2. Questions**

- 2.1. Rappeler le domaine des longueurs d'onde du visible.
- 2.2. En déduire la limite de résolution des microscopes optiques.
- 2.3. Donner les deux noms des microscopes en champ proche cités dans le texte.
- 2.4. Leur mode de fonctionnement est-il comparable à celui d'un microscope « classique » ?
- 2.5. Les couleurs observées sur les images obtenues correspondent-elles aux couleurs des atomes ?
- 2.6. Quel est le rapport de grandeur entre les dimensions accessibles par l'œil humain et celles accessibles par un microscope en champ proche ?
- 2.7. Les microscopes en champ proche permettent-ils de « voir » au sens propre les atomes ?
- 2.8. Quelle est la surface, en  $m^2$ , de l'image sur la figure 3 ?
- 2.9. Quel est l'ordre de grandeur du nombre d'atomes de tungstène par  $m^2$  ?
- 2.10. Quel est l'ordre de grandeur du rayon atomique d'un atome de tungstène ?

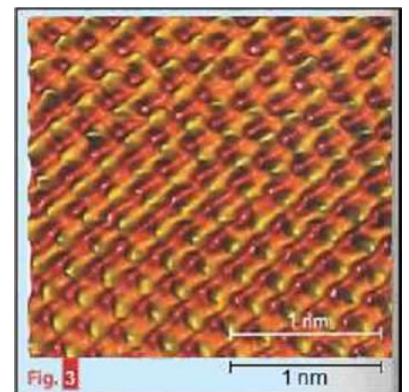


Fig. 3

**3. Du microscopique au macroscopique**

- 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'entités à l'aide de grandeurs physiques MACROSCOPIQUES, mesurables à l'échelle humaine telles que la pression, le volume ou la température.

- La constante d'Avogadro, notée  $N_A$ , permet de faire le lien entre le MICROSCOPIQUE et le MACROSCOPIQUE. La mole est une unité de quantité de matière qui contient autant d'entités qu'il y a d'atomes dans 12 g de carbone 12, soit  $N_A = 6,022 \times 10^{23}$  atomes.
- 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 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)

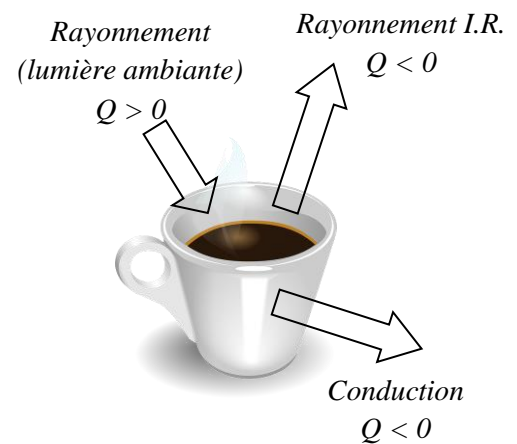
### 1. Définition

- L'ENERGIE INTERNE d'un système notée  $U$  est la grandeur macroscopique définie comme la somme des énergies cinétiques et potentielles MICROSCOPIQUES de l'entité constituante le système
- Ainsi, l'énergie totale d'un système physique est égale à :

$$E_{TOT} = E_M + U \quad \text{où } E_M \text{ énergie mécanique en J et } U \text{ énergie interne en J}$$

- A noter :

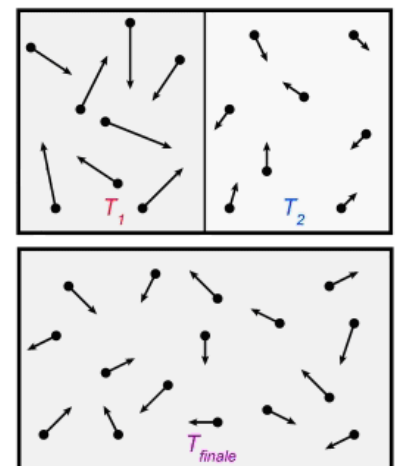
- On ne mesure que la variation  $\Delta U$  de l'énergie interne, entre un état initial et un état final.
- Cette variation est la conséquence d'échanges d'énergies du système avec l'extérieur, sous forme de travail  $W$  ou par transfert thermique  $Q$ . Si l'énergie mécanique du système est constante,  $\Delta U = W + Q$
- Dans le cas où le système étudié n'interagit pas avec son environnement (système isolé), son énergie interne reste constante :  $\Delta U = 0 J$
- Par convention,  $W$  et  $Q$  sont POSITIFS s'ils sont reçus par le système et NEGATIFS s'ils sont cédés par le système



### 2. Questions

- On dispose de deux enceintes immobiles et posées à terre contenant chacune un gaz, l'un à la température  $T_1$ , l'autre à la température  $T_2$ . Ces deux enceintes peuvent fusionner en retirant la paroi centrale (figure ci-contre)

- 2.1. Que représentent les flèches partant des particules formant ces gaz ?
- 2.2. Quel type d'énergie interne est représenté ainsi ?
- 2.3. D'après le schéma ci-contre, quelle est, de  $T_1$  ou de  $T_2$ , la température la plus élevée ? Justifier.
- 2.4. Quelle est, de ces deux enceintes, celle qui possède l'énergie totale la plus grande ? Justifier.
- 2.5. Que peut-on dire de la température finale  $T_{finale}$  observée après le retrait de la paroi ?
- 2.6. Proposer une explication, d'un point de vu microscopique, à cette dernière observation.

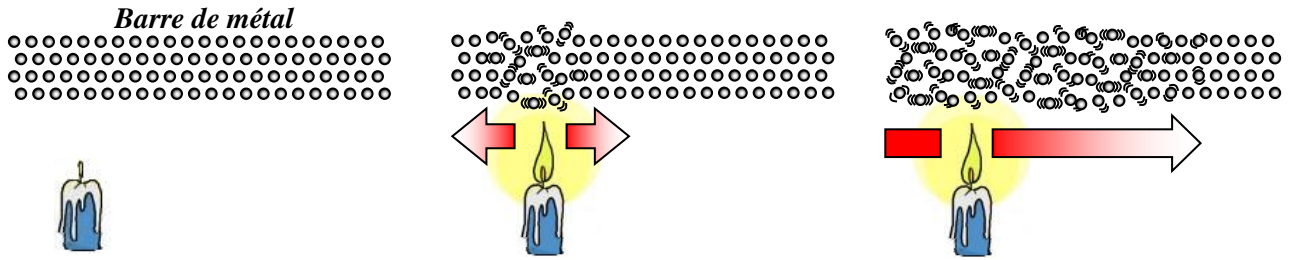


### III. Transferts thermiques

#### 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 trois :

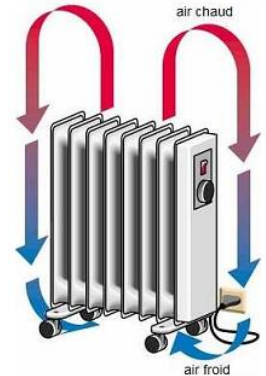
##### 1.1. La conduction



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

##### 1.2. 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.



##### 1.3. 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.

#### 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  $\Delta U$  a pour expression :**

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

avec  $\Delta U$  en J,  $\Delta T$  en kelvins (K) ou  $^{\circ}\text{C}$ ,  $m$  en kg et  $c$  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.
- Exemples :

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

#### 3. Questions

- Quelle énergie faut-il fournir à 1 kg d'eau pour élever sa température de  $2^{\circ}\text{C}$  ?
- Calculer la variation d'énergie interne de 150 L d'eau chauffés de  $15^{\circ}\text{C}$  à  $65^{\circ}\text{C}$ .
- Calculer la température finale  $T_F$  d'un morceau de cuivre  $m' = 500 \text{ g}$  à  $T_I = 312 \text{ K}$  recevant une énergie de  $\Delta U' = 10\,000 \text{ J}$ .

#### 4. Flux thermique et résistance thermique

##### Flux thermique

- Définition** : Le flux thermique  $\Phi$  à travers une surface est la puissance thermique qui la traverse. Ce flux évalue la vitesse du transfert thermique  $Q$  pendant une durée  $\Delta t$ . Il va spontanément de la source chaude vers la source froide et est **IRREVERSIBLE** :

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} \text{ avec } \phi \text{ en watts (W), } \Delta t \text{ en s et } Q \text{ en J}$$

- Exemple : Le mur de la figure page suivante laisse passer en une heure une

énergie de  $9,72 \cdot 10^5 \text{ J}$ . Le flux thermique correspondant est :  $\phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{9,72 \times 10^5}{3600} = 270 \text{ W}$

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



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

### Résistance 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  $\phi$ , la résistance thermique  $R$  est définie par :

$$R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{\phi} \text{ avec } \phi \text{ en W, T en K ou } ^\circ\text{C} \text{ et } R_{th} \text{ en K}\cdot\text{W}^{-1}$$

- Pour une paroi plane, la résistance dépend de :
  - son épaisseur  $e$  ; sa surface  $S$  ; sa constitution caractérisée par une conductivité thermique notée  $\lambda$

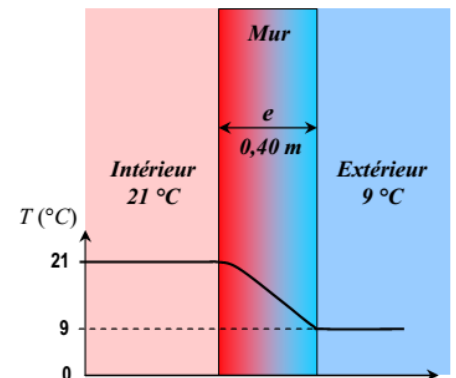
- Ainsi, la résistance thermique  $R$  est aussi définie par :  $R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$

avec  $e$  en m,  $S$  en  $m^2$ ,  $\lambda$  en  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$  et  $R_{th}$  en  $K \cdot W^{-1}$

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

### Questions

- 4.1. Retrouver la dimension de la conductivité thermique  $\lambda$ .
- 4.2. Déterminer l'expression de la conductivité thermique  $\lambda$  en fonction de  $\phi$ ,  $e$ ,  $S$ ,  $T_1$  et  $T_2$ .
- 4.3. En déduire la nature de la matière composant le mur de la figure ci-contre de surface  $10 m^2$ . Rappel :  $\phi = 270 W$
- 4.4. Déterminer la nouvelle résistance thermique de ce mur si l'on y accole  $10 cm$  de polystyrène.
- 4.5. En déduire la nouvelle valeur  $\phi'$  du flux thermique de ce mur isolé. Conclure.

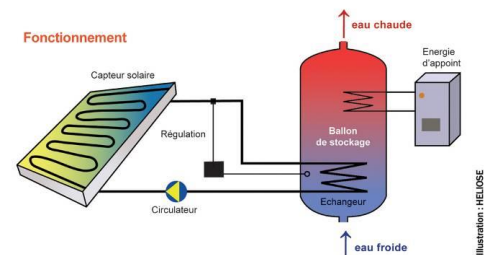


## IV. Bilans énergétiques

- 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  $\eta$  (êta)

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

- **Exemple** : L'eau circulant dans le circuit primaire d'un chauffe-eau solaire utilise la puissance solaire reçue, valant  $P = 2200 W$ , pour chauffer  $200 L$  d'eau. En une heure la température de l'eau passe de  $15^\circ C$  à  $22^\circ C$



- 1) Déterminer le rendement de ce chauffe-eau sachant que  $c_{eau} = 4180 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ .
- 2) On considère le système {eau du circuit primaire}. Compléter le diagramme énergétique suivant :
- 3) Exprimer le rendement  $\eta$  en fonction des énergies  $Q$ ,  $Q_1$  ou  $Q_2$ .

