



Chapitre E1. Transferts thermiques et énergie interne

A- L'énergie interne

A1. Définition

L'énergie interne, notée U , est l'**énergie non mécanique stockée par un système**. C'est l'énergie d'un système qui n'est ni l'énergie cinétique macroscopique ni l'énergie potentielle macroscopique (énergie potentielle de pesanteur, énergie potentielle élastique...). Elle provient elle-même de l'énergie cinétique ou potentielle des constituants microscopiques du système.

| | Cinétique | Potentielle |
|------------------------|-----------|-------------|
| Énergie macro | | |
| Énergie micro | | |
| Énergie interne | | |

L'énergie totale d'un système macroscopique est la somme de son énergie interne et de son énergie mécanique.

$$E_{tot} = E_c + E_p + U$$

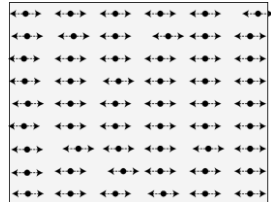
On ne peut pas mesurer la valeur de l'énergie interne d'un système mais seulement ses variations.

Aspect microscopique (échelle des entités qui composent la matière : noyaux, atomes, ions, molécules...)

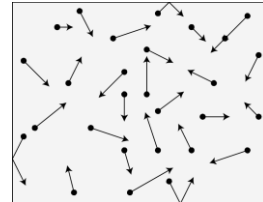
Les entités sont :

- ▶ en **mouvement**, appelé agitation thermique. Ce mouvement est une vibration dans le cas d'un solide ou un mouvement désordonné dans le cas d'un gaz ou un liquide : chaque entité possède donc **une énergie cinétique microscopique**. Cette énergie par particule est indépendante de l'état physique mais proportionnelle à la température.

→ **Remarque** : le fait que les entités aient un *mouvement désordonné* explique que les entités constituant un objet puissent posséder de l'énergie cinétique alors que l'objet lui-même n'en possède pas.



représentation microscopique d'un solide



représentation microscopique d'un gaz

- ▶ en **interaction** (électrostatique pour l'essentiel...): chaque entité possède donc **une énergie potentielle microscopique** (négative) d'autant plus grande, pour un état physique donné, que les entités sont éloignées les unes des autres. En valeur absolue, elle est bien plus faible dans le cas d'un gaz que dans le cas d'un solide ou d'un liquide.

L'énergie interne d'un système macroscopique est la somme des **énergies cinétiques et potentielles microscopiques** des entités qui le constituent.

Lien entre état microscopique et état macroscopique

La constante d'Avogadro ($N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$), nombre d'entités dans une mole d'entités, fait le lien entre les échelles macroscopique et microscopique.

A2. Variation de l'énergie interne d'un système dans un état condensé

On n'étudie ici uniquement les systèmes dans un état dit "condensé" : solide ou liquide.

- **La capacité thermique** d'un objet est l'énergie qu'il faut lui céder pour que sa température augmente de 1K (ou 1°C). Elle est notée C et s'exprime en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$.
- **La capacité thermique massique** d'un matériau est sa capacité thermique par unité de masse : elle correspond donc à l'énergie qu'il faut fournir à un kilogramme de matériau pour augmenter uniformément sa température de 1K ou 1°C. Elle est notée c et s'exprime en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

La variation de l'énergie interne d'un système s'exprime par $\Delta U = C(T_f - T_i) = mc(T_f - T_i)$

- ▷ ΔU : variation de l'énergie interne en J
- ▷ T_f : température finale atteinte en K ou °C
- ▷ T_i : température initiale en K ou °C
- ▷ m : masse du système en kg
- ▷ C : capacité thermique du système en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
- ▷ c : capacité thermique *massique* du système en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.



B- Une nouvelle formulation de la conservation de l'énergie

B1. Principe de conservation de l'énergie

L'énergie totale d'un système est la somme des énergies cinétique, potentielle et interne : $E_{tot} = E_c + E_p + U$
Cette énergie totale est constante pour un système dit isolé (pas d'échanges avec l'extérieur) : $\Delta E_{tot} = 0$

B2. Transferts d'énergie

On distingue deux modes de transfert d'énergie entre deux systèmes :

- **Le travail W** : c'est le mode de transfert entre deux systèmes qui interagissent mécaniquement
- **Le transfert thermique Q** , étudié en 1^{ère} S et développé au paragraphe C ci-dessous.

B3. Bilan énergétique

Un transfert d'énergie est représentée par une flèche au-dessus de laquelle on indique le type de transfert.

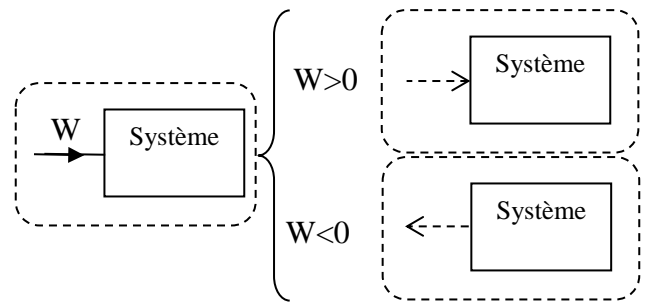
Le sens de la flèche indique le transfert "vers" le système mais le transfert est une valeur algébrique :

- si $W > 0$, le transfert est effectivement reçu
- si $W < 0$, le transfert est effectivement fourni.

Le principe de conservation de l'énergie implique que si un système gagne de l'énergie, elle lui a été cédée par un autre système.

La variation de l'énergie totale d'un système est égale à la somme des énergies qui lui ont été transférées, que ces transferts soient reçus ou fournis effectivement : $\Delta E_{tot} = W + Q$

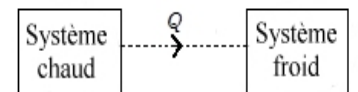
Si le **système est au repos**, seule son énergie interne est susceptible de varier : $\Delta U = W + Q$



C- Approfondissement sur le transfert thermique

C1. Propriété fondamentale du transfert thermique

Sans apport extérieur d'énergie ni aucune contrainte, un transfert thermique entre deux systèmes à températures différentes a toujours lieu **du système le plus chaud vers le système le plus froid**.



→ Remarque : Des dispositifs permettent des transferts thermiques dans le sens froid → chaud mais le transfert n'est alors pas spontané (ex : le réfrigérateur).

C2. Les trois modes de transferts thermiques

① La conduction thermique

Si le transfert thermique a lieu par conduction thermique, **l'énergie cinétique microscopique des entités se propage de proche en proche** dans un milieu.

② La convection

Si le transfert thermique a lieu par convection, c'est **un mouvement macroscopique de matière** qui assure le transport de l'énergie. Ce mode de transfert nécessite un milieu fluide (liquide ou gazeux).

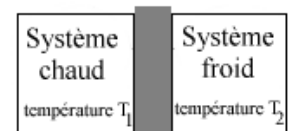
③ Le rayonnement

Si le transfert thermique a lieu par rayonnement, ce sont **des ondes électromagnétiques** qui assurent le transport de l'énergie. Le rayonnement est le seul transfert thermique qui peut se produire dans le vide.

C3. Flux et résistance thermique

Soient deux systèmes (1) et (2) dont les températures sont notées T_1 et T_2 . On considère ici le cas où les deux systèmes sont séparés par un milieu solide (paroi de séparation).

Le flux thermique est une grandeur qui traduit la rapidité à laquelle a lieu un transfert thermique.



Pour un transfert thermique Q entre les deux systèmes pendant une durée Δt , le flux thermique est défini par :

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

▷ Q : transfert thermique en J Δt : durée du transfert en s Φ : flux (ou puissance) en $J \cdot s^{-1}$ ou watt (W)

La résistance thermique R_{th} d'un objet traduit sa capacité à assurer un transfert thermique. S'il sépare deux

systèmes de températures T_1 et T_2 , R_{th} est donc tel que : $\Phi = \frac{|T_2 - T_1|}{R_{th}}$

R_{th} dépend du matériau qui constitue l'objet considéré mais aussi de sa géométrie (épaisseur, forme, etc.), de la surface de contact entre les deux systèmes...