



Modéliser les transferts d'énergie

Premier principe de la thermodynamique

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 :

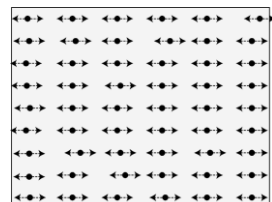
$$E_{tot} = E_c + E_p + U$$

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

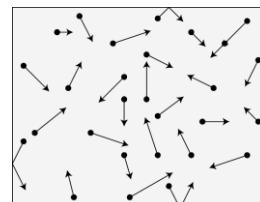
Aspect microscopique (échelle des entités qui composent la matière : noyaux, atomes, ions, molécules...)

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.



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. Cette interaction est considérée nulle dans le cas du modèle du gaz parfait.

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

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

On 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 $J \cdot K^{-1}$.
- **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 $J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$.

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 $J \cdot K^{-1}$
- ▷ c : capacité thermique *massique* du système en $J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$.



B- Principe de conservation de l'énergie : le premier principe

B1. Les 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** (puisque l'énergie potentielle est intégrée à l'énergie mécanique, seuls les travaux des forces non conservatives sont pris en compte dans les transferts).
Le transfert électrique est un travail particulier noté $W_{\text{élec}}$.
- **Le transfert thermique noté Q** , parfois appelé « chaleur ». Il regroupe tous les transferts qui ne sont pas du travail : conduction, convection, rayonnement...

B2. Principe de conservation de l'énergie ou premier principe de la thermodynamique

L'énergie totale d'un système est la somme des énergies cinétique, potentielle et interne :

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

Cette énergie totale est constante pour un système dit isolé (pas d'échanges avec l'extérieur) : $\Delta E_{\text{tot}} = 0$

Plus généralement, on peut énoncer le principe de conservation de la façon suivante :

l'énergie ne peut être ni créée ni détruite mais seulement changer de forme et être transférée d'un système à un autre.

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.

Une autre façon d'énoncer le principe de conservation est d'écrire la relation suivante :

$$\Delta E_{\text{stockée}} = \sum \text{transferts}$$

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U = \sum W + \sum Q$$

Avec

$\Delta E_{\text{stockée}}$: variation de l'énergie totale stockée par le système ;

$\sum W$: Somme des travaux des forces non conservatives exercées sur le système
C'est l'énergie reçue (algébriquement) par travail.

$\sum Q$: Somme des transferts thermiques.

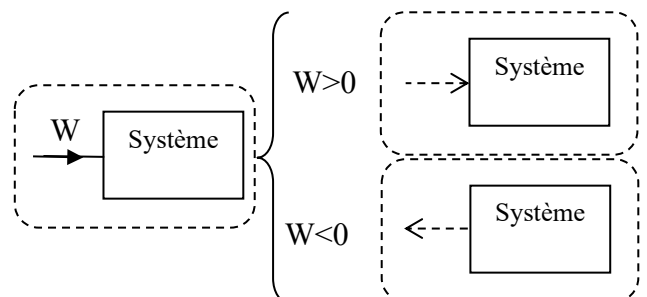
C'est l'énergie reçue (algébriquement) par travail.

Algébrisation des transferts dans un schéma énergétique

Un transfert d'énergie est représenté 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.



- La **mécanique** se limite aux cas de systèmes dont l'énergie interne ne varie pas et qui n'échangent pas d'énergie par transfert thermique, on retrouve alors le théorème de l'énergie mécanique qui apparaît comme un cas particulier du principe de conservation avec $\Delta U = 0$ et $\sum Q = 0$:

$$\Delta E_c + \Delta E_p = \sum W$$

- La branche de la physique qui étudie les transferts d'énergie sans se limiter à ce cas particulier s'appelle la **thermodynamique**. Si le système est au repos, seule son énergie interne est susceptible de varier :

$$\Delta U = W + Q$$