

ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE D'UN SYSTÈME THERMODYNAMIQUE

La thermodynamique est la partie de la physique qui traite des échanges et conversions d'énergie entre systèmes.

Un système thermodynamique est un ensemble constitué d'un nombre élevé de particules microscopiques séparé du milieu extérieur par une interface (frontière) au niveau de laquelle peuvent avoir lieu des transferts d'énergie. Une fois bien défini, un système se note entre accolade { }.

Exemple : Une casserole d'eau sur le feu est un système délimité par la surface de la casserole et la surface de l'eau qui se note {casserole+eau}. Ce système est le siège de transferts d'énergie avec son milieu extérieur (flamme et air).



1) Un exemple de système : le gaz parfait

Pour étudier un système à l'état gazeux, on peut se placer dans le cadre du modèle du gaz parfait, qui assimile les molécules du gaz à des points matériels et qui suppose qu'il n'y a aucune interaction entre ces molécules. Ce modèle permet d'établir une équation reliant différentes caractéristiques du gaz (équation d'état du gaz parfait) :

Équation des gaz parfaits :

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

p : pression du gaz parfait (Pa)

V : volume du gaz parfait (m^3)

n : quantité de matière de gaz parfait (mol)

R : constante des gaz parfaits égale à $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T : température du gaz parfait (K) avec $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$

Limites de validité du modèle :

À haute pression, on ne peut plus négliger le volume occupé par les molécules devant le volume occupé par le gaz.

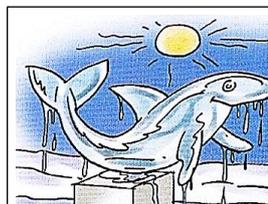
À basse température, l'énergie cinétique devient trop faible : on ne peut plus négliger l'énergie d'interaction.

Exercices : n°25,36,38 p446/447

2) Les différentes énergies d'un système thermodynamique :

L'énergie totale d'un système se décompose en :

- **énergies macroscopiques :**
 - énergie cinétique du système ($E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$)
 - énergies potentielles du système ($E_{pp} = m \cdot g \cdot z$; $E_{pe} = \frac{1}{2} k \cdot \Delta l^2$)
- **énergies microscopiques :**
 - énergies cinétiques des entités du système
 - énergies potentielles d'interaction entre les entités



L'énergie interne du système {dauphin} varie sous l'effet du rayonnement solaire.



L'énergie interne du système {arc} varie sous l'effet des forces exercées par l'archet.

L'énergie interne U d'un système est la somme de toutes les énergies microscopiques (liées à l'agitation et aux interactions des entités qui le composent) : $U = \sum E_{c,\text{micro}} + \sum E_{p,\text{micro}}$

L'énergie totale d'un système est la somme de ses énergies macroscopiques et de son énergie interne microscopique : $E_{\text{totale}} = E_p + E_c + U$ (unité de l'énergie : le joule J)

3) Capacité thermique d'un système :

Lorsque la température d'un système augmente, l'énergie cinétique microscopique de ses entités augmente donc son énergie interne augmente elle aussi. Un système peut donc stocker de l'énergie sans se déplacer ni se déformer.

Dans le cas d'un système incompressible, la variation d'énergie interne ΔU liée à une augmentation de température est proportionnelle à ΔT :

$$\Delta U = C \cdot \Delta T$$

ΔU : variation d'énergie interne du système (J)

ΔT : variation de température du système (K)

C : capacité thermique ($J \cdot K^{-1}$) du système

La **capacité thermique C** correspond à l'énergie à fournir au système pour élever sa température d'un degré.

Remarque : La capacité thermique dépend de la structure microscopique mais aussi de la masse m du système. Ainsi, on exprime souvent ΔU en fonction de la **capacité thermique massique c** du système :

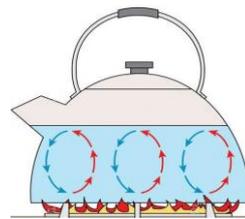
$$\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T \quad \text{avec} \quad c = C/m \quad (\text{unité de } c : J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$$

4) Bilan d'énergie avec le 1^{er} principe de la thermodynamique :

a - Énoncé du 1^{er} principe :

Lors d'un changement (déplacement, transformation physique ou chimique), un système peut échanger de l'énergie avec le milieu extérieur de deux manières différentes :

- par **transfert mécanique W** (travail d'une force macroscopique)
ex : travail de la force de frottement lors d'un déplacement
- par **transfert thermique Q** (agitation à l'échelle microscopique)
ex : transfert d'énergie cinétique des particules d'une source chaude vers les particules d'une source froide



Le système {eau} échange de l'énergie avec flamme par transfert thermique



Le système {météorite} échange de l'énergie avec l'atmosphère par transfert mécanique

Le premier principe de la thermodynamique stipule que l'énergie de l'Univers se conserve (elle ne peut être ni créée ni détruite). En conséquence, **lorsqu'un système fermé subit une transformation**, sa variation d'énergie totale est égale à la quantité d'énergie échangée avec le milieu extérieur par transfert thermique (chaleur) et/ou transfert mécanique (travail) : $\Delta E_{\text{totale}} = W + Q$

Dans le cas d'un système fermé et immobile, les énergies macroscopiques sont nulles ou constantes donc la variation d'énergie totale est égale à la variation d'énergie interne ($\Delta E_{\text{totale}} = \Delta U$). Ainsi :

Premier principe de la thermodynamique dans le cas d'un système fermé et immobile :

$$\Delta U = W + Q$$

ΔU : variation d'énergie interne du système (en J)

W : transfert d'énergie mécanique (travail) avec l'extérieur (en J)

Q : transfert d'énergie thermique avec l'extérieur (en J)

Un **système fermé** est un système qui ne peut pas échanger de la matière avec l'extérieur.

Exemples : une cocotte-minute (soupape fermée) ne peut pas échanger de matière avec l'extérieur : système fermé
une casserole d'eau sur le feu peut échanger des molécules d'eau avec l'air environnant : système ouvert

b - Bilan énergétique d'un système :

Le premier principe de la thermodynamique permet de faire le bilan énergétique d'un système, c'est-à-dire qu'il met en relation les différentes énergies qu'il échange avec l'extérieur avec la variation de son énergie interne :

Méthode pour faire le bilan d'énergie d'un système :

- 1) Définir le système
- 2) Identifier tous les transferts d'énergie ayant lieu entre le système et l'extérieur (**les énergies reçues sont comptées positivement, les énergies cédées sont comptées négativement**).
- 3) Écrire le premier principe de la thermodynamique : $\Delta U = W + Q$
(on peut également utiliser la relation $\Delta U = C \times \Delta T$ si le système est incompressible)

Exemple : bilan énergétique d'un thermoplongeur



Le système étudié est le **conducteur ohmique**.

Il est alimenté par une source de tension donc il reçoit de l'énergie sous forme de travail électrique compté positivement. Il cède de l'énergie au milieu extérieur sous forme de transfert thermique compté négativement. On peut illustrer ces transferts par une chaîne énergétique :



Le 1^{er} principe de la thermodynamique s'écrit : $\Delta U = W + Q$

Exercices : 50,53 p 449/450 + exercices photocopiés