

Chapitre

Principe de conservation de l'énergie

On étudie un système fermé Ω .

3.1 Énoncé et Conservation



Théorème 1.1 : Principe de conservation de Lavoisier

L'énergie est une grandeur conservative, elle ne peut être ni créée, ni détruite.



Principe de localité

Pour que la variation d'énergie soit instantanée, le transfert doit s'effectuer physiquement à la frontière $\partial\Omega$ sous forme de flux $\varphi_{\partial\Omega}$.



Théorème 1.2 : Bilan d'énergie

$$\frac{dE_{\Omega}}{dt} = \phi_{\partial\Omega}$$

3.2 Premier principe de la thermodynamique

3.2.1 Nature de l'énergie et des échanges

L'énergie totale se décompose en :

$$E_{\Omega} = E_C + E_p + U$$

- E_c : Énergie cinétique macroscopique.
- E_p : Énergie potentielle macroscopique.
- U : Énergie interne (microscopique).

Définition 2.1 : Flux d'énergie

On appelle flux d'énergie sous forme de chaleur (ϕ_Q) tous les flux d'énergie qui ne sont pas mécaniques (ϕ_W), c'est-à-dire non liés au mouvement de la frontière.

3.2.2 Énoncé du premier principe

Théorème 2.1 : Premier principe de la thermodynamique

Pour une transformation entre un état i et un état f :

$$\Delta_{if}(E_C + E_p + U) = W_{i \rightarrow f} + Q_{i \rightarrow f}$$

Utilité

En pratique, pour un système au repos macroscopique, on a $\Delta U = W + Q$. Ce principe est l'outil majeur pour calculer la chaleur Q échangée, souvent difficile à mesurer directement.

3.3 Capacités thermiques et Enthalpie



Définition 3.1 : Capacité thermique

Quantité d'énergie thermique nécessaire pour augmenter la température d'un corps de dT :

$$\delta Q = C dT$$

3.3.1 Capacité à volume constant (C_v)

À volume constant, $\delta W = 0$, donc $dU = \delta Q = C_v dT$.



Théorème 3.1 : Définition de C_v

$$C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V.$$

3.3.2 L'Enthalpie (H) et C_p

Pour une transformation monobare ($P_{ext} = Cst$), le travail est $W = -P_{ext}\Delta V$.

$$\begin{aligned} Q &= \Delta U - W = \Delta U + P_{ext}\Delta V \\ &= (U_f + P_{ext}V_f) - (U_i + P_{ext}V_i) \\ &= \Delta(U + PV) \end{aligned}$$



Théorème 3.2 : Enthalpie

On définit la fonction d'état extensive Enthalpie par : $H = U + PV$. Pour une transformation monobare, la chaleur échangée est égale à la variation d'enthalpie : $Q = \Delta H$.



Théorème 3.3 : Capacité thermique à pression constante

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P.$$

3.4 Lois de Joule et Gaz Parfaits



Théorème 4.1 : Première loi de Joule

Pour un Gaz Parfait (GP), l'énergie interne ne dépend que de la température : $U = U(T)$. Par extension, $H = H(T)$ (Seconde loi de Joule).

3.4.1 Relation de Mayer et Gamma



Théorème 4.2 : Relations fondamentales

$$C_p - C_v = nR \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$



Résolution de système

En combinant ces deux relations, on obtient les expressions indispensables :

$$C_v = \frac{nR}{\gamma - 1} \quad ; \quad C_p = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1}$$

3.5 Transformations Adiabatiques (Lois de Laplace)



Hypothèses de Laplace

Pour utiliser les relations suivantes, il faut impérativement :

- Un Gaz Parfait (GP).
- Une transformation Adiabatique ($Q = 0$).
- Une transformation Quasi-Statique (QS).



Théorème 5.1 : Lois de Laplace

$$PV^\gamma = Cst \quad ; \quad TV^{\gamma-1} = Cst \quad ; \quad P^{1-\gamma}T^\gamma = Cst$$

$$W_{i \rightarrow f} = \Delta U = C_v \Delta T = \frac{nR}{\gamma-1} (T_f - T_i) = \frac{P_f V_f - P_i V_i}{\gamma-1}$$

Le travail pour une adiabatique QS se calcule par ΔU ou par intégration de $-PdV$ en remplaçant P par Cst/V^γ .

3.6 Expériences de Détente

3.6.1 Détente de Joule et Gay-Lussac

Détente d'un gaz dans le vide (adiabatique et sans travail).



Résultat

Comme $W = 0$ et $Q = 0$, alors $\Delta U = 0$. Pour un GP, la température reste constante ($T_i = T_f$).

3.6.2 Détente de Joule-Thomson

Écoulement permanent à travers un corps poreux (ou étranglement).



Résultat

La transformation est isenthalpique : $\Delta H = 0$. Pour un GP, cela implique également $T_i = T_f$.

3.7 Difficultés

3.7.1 Confusion entre P , P_{ext} et P_{atm}

C'est l'erreur la plus fréquente dans le calcul du travail $W = \int -P_{ext} dV$.

- Transformation brutale : P_{ext} est la pression finale d'équilibre (P_f). Elle est constante.

- **Transformation quasi-statique** : On considère $P_{ext} = P_{gaz}$ à chaque instant. On peut alors utiliser la loi des gaz parfaits pour remplacer P dans l'intégrale.
- **Piston à l'équilibre** : P_{ext} peut inclure le poids du piston : $P_{ext} = P_{atm} + \frac{m_p g}{S_p}$.

3.7.2 Diagramme de Clapeyron

Le diagramme (P, V) permet de visualiser le travail comme l'aire sous la courbe.

- **Chemin** : Pour aller d'un point A à un point B, l'aire est plus grande pour une transformation monobare (rectangle) que pour une isotherme (arc d'hyperbole).
- **Cycle** : Si le cycle est parcouru dans le sens horaire, le travail total est négatif (moteur). S'il est anti-horaire, il est positif (récepteur).

3.7.3 Différencier ΔU et ΔH



Astuce de choix

- Utiliser $\Delta U = W + Q$ pour les transformations à **volume constant** (isochores).
- Utiliser $\Delta H = Q$ pour les transformations **monobares** (où W est déjà "absorbé" dans la définition de H).