

Chapitre 2 : Thermodynamique différentielle des systèmes fermés

I- Energie interne :

1) Energie totale E

2) Expressions de l'énergie interne

a) Proposer une interprétation physique à ce coefficient C_v ainsi qu'une unité.

- b) On définit la capacité thermique massique à volume constant par $c_v = \frac{C_v}{m}$, pour l'air on a $c_v \approx 700 J.K^{-1}.kg^{-1}$. Le transfert d'énergie mis en jeu lors de la vaporisation d'1kg d'eau à 100°C et à 1 bar est de l'ordre de $l \approx 2100 kJ.kg^{-1}$. Quelle serait la variation de température à imposer à 1kg de gaz pour mettre en jeu une variation de son énergie interne de l'ordre de l ? Conclure.

- c) On donne la capacité calorifique massique de l'eau $c_{eau} = 4185 J.K^{-1}.kg^{-1}$. Estimer le prix mis en jeu pour chauffer de 60°C les 200L d'eau d'un ballon d'eau chaude sanitaire.

II- 1^{er} principe :

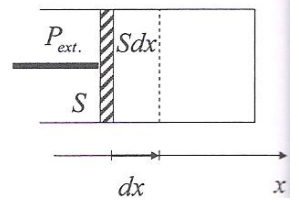
1) Enoncé du 1^{er} principe (ou principe de conservation)

2) Utilisation du premier principe

- a) Enoncer le 1^e principe appliqué à un système au repos macroscopiquement et dans un réacteur également au repos macroscopiquement.

b) Travail des forces de pression extérieures non conservatives

On considère un réacteur cylindrique de section S fermé par un piston mobile. On note P la pression du fluide contenu dans le réacteur et P_{ext} la pression extérieure.



- i) Donner l'expression de la force pressante $\vec{F}_{ext}$ s'exerçant sur le piston en fonction de P_{ext} et S .

- ii) Donner l'expression du travail élémentaire $\delta W_{ext \rightarrow piston}$ échangé entre l'extérieur et le piston par déplacement $dx \vec{u}_x$ du piston sous la force $\vec{F}_{ext}$.

- iii) Supposons que le piston soit soumis à un frottement solide $\delta W_{f,piston} < 0$, à un travail des forces de pression du gaz renfermé dans l'enceinte $\delta W_{gaz \rightarrow piston}$. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique sur un déplacement $dx \vec{u}_x$ et entre deux positions de repos du piston, obtenir le travail $\delta W_{piston \rightarrow gaz}$ perçu par le gaz.

- iv) En déduire l'expression du travail échangé par le gaz avec le piston $\delta W_{piston \rightarrow gaz}$ dans le cas d'un piston qui coulisse dans frottement.

c) On considère un chauffage isochore impliquant une variation de température ΔT du système.

- i) Montrer que la variation d'énergie interne mesure le transfert thermique

- ii) Donner l'expression du transfert thermique dans le cas d'un chauffage isochore d'un gaz parfait de capacité thermique C_v

III- L'enthalpie :1) Définition

2) Utilisation

- a) Montrer qu'un chauffage isobare est plus coûteux qu'un chauffage isochore en considérant le cas d'un GP.

- b) Montrer que pour une phase condensée (par exemple l'eau liquide), on a $\Delta H \approx \Delta U = C\Delta T$.

- c) Montrer que l'enthalpie mesure le transfert thermique lors d'une transformation monobare (avec une pression initiale P_I et finale P_F telle que : $P_{ext} = P_I = P_F$).

- d) Le résultat précédent est-il encore vrai dans le cas d'une transformation isobare ?

- e) On considère une transformation mécaniquement réversible et adiabatique d'un gaz parfait.

- i) Montrer que : $\frac{dT}{T} = -\frac{(\gamma-1)dV}{V}$

- ii) Retrouver les lois de Laplace :
$$\begin{cases} PV^\gamma = Cte \\ TV^{\gamma-1} = Cte \\ P^{1-\gamma}T^\gamma = Cte \end{cases}$$

- iii) Un gaz parfait est à la température T_0 , la pression P_0 et à un volume V_0 . Montrer que la courbe représentant une transformation isotherme dans un diagramme $P(V)$ de ce gaz est moins pentue que celle d'une transformation adiabatique mécaniquement réversible.

- iv) Soit une compression adiabatique mécaniquement réversible d'un GP de 1 bar à 10 bar depuis une température de 300K. Quelle est la température finale (on prendra $\gamma = 1,5$ et $10^{1/3} \approx 2$)

IV- Le second principe

- 1) L'entropie créée :

- 2) L'entropie échangée

- 3) Le second principe

4) Interprétations

a)

- i) On considère une détente adiabatique mécaniquement réversible. Donner l'expression du travail δW_{rev} de détente.

- ii) On considère une détente adiabatique mais réelle. Montrer que le travail de détente δW_{reel} est donné par $\delta W_{reel} = \delta W_{rev} + T\delta S_c$ et interpréter.

- i) En utilisant le 1^e principe, l'identité thermodynamique $dU = TdS - pdV$ et le 2nd principe, montrer que :

$$T\delta S_c = (P - P_{ext})dV + \frac{\delta Q(T_{ext} - T)}{T_{ext}} + \delta W_f$$

Où δW_f est l'éventuel travail des forces de frottement sur le piston, T_{ext} la température du seul thermostat et P_{ext} la pression du seul pressostat

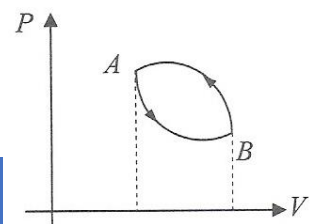
- ii) Interpréter chacun des termes de la relation précédente.

V- Applications1) Travail des machines cycliques

Les machines thermiques sont cycliques afin de mettre en jeu en continue des transferts d'énergie. On pourra souvent faire l'hypothèse de transformations mécaniquement réversibles.

- a) Quel est le lien entre le travail et l'aire algébrique du cycle ?

- b) Justifier si le cycle ci-contre est moteur ou récepteur.



2) Les machines de Carnot.

Les machines de Carnot sont :

- Cycliques
- Dithermes (au contact de 2 thermostats aux températures constantes T_f et $T_c > T_f$)
- Réversible

- a) Ecrire soigneusement le 1^e principe et 2nd principe avec ces hypothèses

b) En déduire alors les rendements ou efficacités des moteurs, PAC et frigo.

Moteur ditherme	Pompe à chaleur	réfrigérateur
Rendement :	Efficacité :	Efficacité :
Si Carnot :	Si Carnot :	Si Carnot

c) Dessiner le cycle de Carnot suivi par un gaz parfait.

d) Pourquoi le rendement de Carnot est nécessairement inférieur à 1 ?

3) Les machines réelles

Les machines réelles sont le plus souvent :

- Cycliques
- ditherme

a) Peut-on utiliser le second principe sous la forme $\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} = 0$ pour une machine réelle ?

b) Souvent les compressions et détente des gaz supposés parfaits sont adiabatiques et mécaniquement réversibles. Quelles relations seront à utiliser ?

c) Souvent les chauffages et refroidissements des GP seront isochores ou isobares. Quelles seront les expressions des transferts thermiques ?