

MPSI – Thermodynamique 2 *Energie, enthalpie, premier principe.*

NB : la constante $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ est considérée connue, de même que les expressions des capacités thermiques des GP exprimées en fonction de γ , avec les deux valeurs de γ à retenir (GP1 : 5/3 et GP2 : 7/5).

LE 1^{ER} PRINCIPE SOUS FORME DIFFERENTIELLE

1. Température d'une pièce (régime transitoire du premier ordre)

Une pièce de température $\theta(t)$ est chauffée par un radiateur de température constante $\theta_1 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$; d'autre part, la pièce perd de l'énergie au profit de l'extérieur de température constante $\theta_2 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Dans les deux cas, la *puissance thermique échangée* par la pièce est proportionnelle à l'écart de température, avec les coefficients de proportionnalité respectifs $k_1 = 90 \text{ W/K}$ et $k_2 = 300 \text{ W/K}$. La capacité thermique totale de la pièce est $C = 2 \text{ MJ/K}$.

- 1) Déterminer sans résoudre d'équation différentielle la température de la pièce en régime permanent.
- 2) Les variations de température étant lentes, établir puis intégrer l'équation différentielle donnant $\theta(t)$ si $\theta(t=0) = \theta_2 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$; vérifier la température maximale atteinte et estimer la durée pratique du chauffage.

2. Système composé (transformation polytropique)

Un cylindre fermé par un piston mobile, de volume intérieur V , contient n moles d'un gaz parfait de coefficient de Laplace γ , et un solide de capacité thermique C_s dont le volume sera négligé devant V .

- 1) Schématiser le système. Un opérateur déplace *très lentement* le piston, parois et piston étant *athermanes* ; qualifier la transformation sous ses divers aspects, et décrire *qualitativement* les divers travaux et transferts thermiques, avec leur sens, lorsqu'on déplace le piston pour diminuer V .
- 2) A partir du premier principe entre t et $t + dt$, établir une relation différentielle entre les variables d'état du gaz p , V , T et les données (le temps n'étant pas explicite dans cette relation).
- 3) En déduire la relation vérifiée à tout instant par p et V , en fonction des grandeurs initiales p_0 et V_0 . Discuter les formes limites que prend cette relation selon le rapport $C_s / C_{v,\text{gaz}}$.

LE PREMIER PRINCIPE ENTRE DEUX ETATS D'EQUILIBRE

3. Compression d'un gaz

Un volume $V_0 (= 1 \text{ L})$ de gaz parfait diatomique est placé dans un cylindre fermé par un piston de section $S (= 10 \text{ cm}^2)$ coulissant sans frottement, les parois sont *diathermes*. Les conditions extérieures (atmosphère) sont $P_0 (= 1 \text{ bar})$ et $T_0 (= 300 \text{ K})$. Le piston est de masse $m (= 100 \text{ g})$. Avant transformation, le gaz est en équilibre.

NB : on négligera la variation d'altitude du centre de masse du gaz.

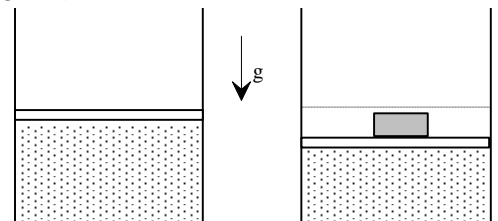
- 1- Calculer la pression initiale et le nombre n de mole de gaz.
- 2- On pose une masse $M (= 1 \text{ kg})$ à $t = 0$; la transformation étudiée commence donc juste après qu'on ait posé M (à $t = 0^+$, le piston ne s'est pas encore déplacé) ; qualifier la transformation.

2-1 On attend l'équilibre mécanique et thermique : calculer l'état final du gaz ($g \cong 10 \text{ m/s}^2$).

2-2 En raisonnant sur le système {gaz, piston, masse}, exprimer littéralement et numériquement :

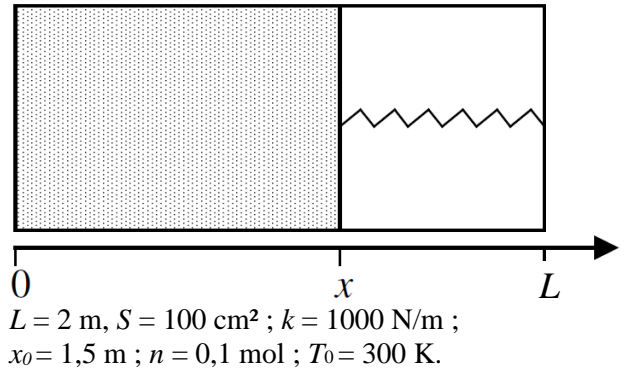
- la variation d'énergie interne ΔU ; la variation d'énergie potentielle ΔE_p ; le travail de la pression atmosphérique W_{atm} ; le transfert thermique Q .

2-3 En raisonnant sur le système {gaz}, exprimer littéralement et numériquement la variation d'énergie interne ΔU ; le travail de la force de pression subie W' ; le transfert thermique Q .



4. Piston mobile entre gaz et ressort

On considère un cylindre horizontal de section S , de longueur L , séparé en deux compartiments par une paroi mobile. Le compartiment de gauche contient n moles d'un gaz parfait monoatomique ($\gamma = 5/3$) ; dans le compartiment de droite, vide de gaz, un ressort (k, L_0) relie la paroi de droite fixe et la paroi mobile, dont la position est repérée par la variable x (origine à la paroi de gauche du cylindre). Un mécanisme extérieur permet de bloquer la paroi mobile à n'importe quelle position x entre 0 et L . Le ressort sera considéré comme purement mécanique, sans propriétés thermodynamiques.



1. Relaxation monotherme

Toutes les parois sont diathermes et le système est en contact avec un thermostat à la température T_0 . À l'état initial, la paroi mobile était depuis longtemps bloquée à $x_i = x_0$. On relâche cette contrainte et on laisse s'établir un nouvel état d'équilibre mécanique et thermique, pour lequel $x_i = x_1$.

- 1) Calculer la pression initiale P_0 du gaz.
- 2) La transformation sera-t-elle isotherme ? monotherme ? isobare ? monobare ?
- 3) Sachant que $L = L_0$, déterminer la position d'équilibre x_1 et la pression P_1 ; A.N..
- 4a) Appliquer le premier principe au système {gaz,ressort} et en déduire le sens et la valeur du transfert thermique entre le système et le thermostat.
- 4b) Appliquer le premier principe au système {gaz} et en déduire le sens et la valeur du transfert thermique entre le système et le thermostat.

2. Chauffage quasi-statique

A partir de l'état final précédent, les parois sont thermiquement isolées et une résistance chauffe le gaz par effet Joule, en apportant la puissance constante $P = r \cdot i^2$ pendant $\Delta t = 100 \text{ s}$; la capacité thermique de la résistance est négligée et on donne les valeurs : $r = 470 \Omega$ et $i = 100 \text{ mA}$. On a toujours $L = L_0$.

- 5) Décrire qualitativement ce qui se passe et déterminer les valeurs finales T_2, P_2, x_2 .

UTILISATION DE L'ENTHALPIE

5. Calorimétrie adiabatique

1) **principe**: en l'absence de travail autre que celui des forces pressantes, rappeler le premier principe de la thermodynamique sous forme adaptée à une transformation isobare, puis isobare et adiabatique.

2) détermination d'une capacité thermique :

1) Un récipient calorifugé contient une masse $m_1 = 100 \text{ g}$ d'eau à $\theta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; on lui ajoute une masse $m_2 = 120 \text{ g}$ d'eau à $\theta_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; quelle serait la température d'équilibre θ_f si la capacité thermique C du calorimètre était négligeable ? On mesure $\theta_f = 34,4 \text{ }^\circ\text{C}$; en déduire C et la « valeur en eau » du calorimètre, c'est-à-dire la masse d'eau μ qui lui serait équivalente. On rappelle que : $c_{eau} = 4,18 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$.

2) Dans ce calorimètre contenant à nouveau une masse $m_1 = 100 \text{ g}$ d'eau à $\theta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, on introduit un morceau d'aluminium de masse $m = 200 \text{ g}$, sortant d'une étuve thermostatée à $\theta = 90 \text{ }^\circ\text{C}$. Déterminer la "chaleur massique" c de l'aluminium si on mesure $\theta_f = 37,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

3) détermination d'une chaleur latente :

On place dans un récipient calorifugé une masse $m_0 = 1,00 \text{ kg}$ d'eau liquide en état de *surfusion*, c'est-à-dire restée liquide à une température T_1 inférieure à la température de solidification T_0 : on a $T_1 = 263 \text{ K}$ et $T_0 = 273 \text{ K}$. Cet état est *métastable*, et lorsqu'on introduit dans le récipient un petit cristal de glace (de masse négligeable), cela provoque la solidification de l'eau.

Dans les conditions de l'expérience, cette solidification est partielle et on obtient un mélange eau-glace en équilibre à T_0 , la masse de glace étant $m_S = 125 \text{ g}$. On rappelle que : $c_{eau \text{ liq.}} = 4,18 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$.

En déduire la valeur de l'enthalpie massique de fusion (ou chaleur latente de fusion) de l'eau à la température d'équilibre T_0 , notée $L_f(T_0)$.