TD : Échanges d'énergie des systèmes thermodynamiques

I Transformations de tous les jours

Caractérisez les transformations thermodynamiques suivantes :

1) Vous placez dans un thermos du thé bouillant et de l'eau froide.

2) Vous oubliez votre tasse de café dans la cuisine la journée.

II Travail reçu le long d'un chemin donné

Un système constitué de n moles de gaz parfait subit une transformation d'un état initial A ($P_1 = 4{,}0\,\mathrm{bar}, V_1 = 10\,\mathrm{L}, T_1 = 600\,\mathrm{K}$) vers un état final B ($P_2 = 1{,}0\,\mathrm{bar}, V_2 = 20\,\mathrm{L}, T_2$).

1) Déterminer T_2.

2) Cette transformation est constituée de deux étapes : une transformation isobare de A vers C puis une transformation isochore de C vers B. Déterminer le travail W_{AB}.

3) On considère un autre chemin : une transformation isochore de A vers D puis une transformation isobare de D vers B. Déterminer le travail W_{AB}.

4) Représenter ces deux transformations sur un schéma et retrouver graphiquement quelle transformation a le plus grand travail et le signe dudit travail.

III Diagramme de Clapeyron

Considérons un système fermé qui subit une transformation d'un état d'équilibre initial (P_i, V_i) à un état d'équilibre final (P_f, V_f), de manière mécaniquement réversible.

1) Représenter les différentes transformations dans un diagramme de Clapeyron (P,v) : isochore, isobare, isotherme d'un gaz parfait, adiabatique d'un gaz parfait, caractérisée par $PV^\gamma = \mathrm{cte}$ avec $\gamma > 1$.

2) Faire le lien entre l'aire sous la courbe et le travail des forces de pression dans ce diagramme.

3) Pour une transformation cyclique, faire le lien entre le sens de parcours du cycle et le signe du travail au cours d'un cycle.

IV Calculs de travaux et transferts thermiques

On considère trois moles de dioxygène, gaz supposé parfait, qu'on peut faire passer de l'état initial A (P_A, V_A, T_A) à l'état final B (P_B, V_B, T_B) par trois transformations distinctes :

- A1B isotherme ;
- A2B représentée par une droite dans le diagramme (P,V) ;
- A3B composée d'une transformation à pression constante, suivie d'une transformation à volume constant.

On considère l'équilibre thermodynamique interne conservé à tout instant. On donne $P_B = 3P_A$, $T_A = 300\,\mathrm{K}$ et $R = 8{,}314\,\mathrm{J{\cdot}K^{-1}{\cdot}mol^{-1}}$.

1) Représenter les trois transformations dans le diagramme (P,V).

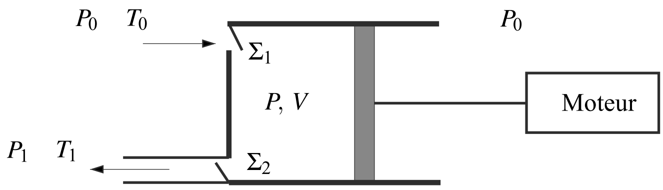
2) Déterminer la température T_B et le volume V_B.

3) Exprimer les travaux reçus par le système pour ces trois transformations. Commentez.

4) Exprimer les transferts thermiques reçus par le système pour ces trois transformations. On donne le premier principe de la thermodynamique : $\Delta U = W + Q$.

V Étude d'un compresseur

On s'intéresse au compresseur d'un moteur à air comprimé, comme celui d'un marteau-piqueur par exemple. L'air est assimilé à un gaz parfait. Il est aspiré dans les conditions atmosphériques, sous la pression $P_0 = 1\,\mathrm{bar}$ et à la température $T_0 = 290\,\mathrm{K}$, jusqu'au volume V_m. Il est ensuite comprimé jusqu'à la pression P_1 où il occupe un volume V_1, et est refoulé à la température T_1 dans un milieu où la pression est $P_1 = 6\,\mathrm{bar}$.



Bien que le mécanisme réel d'un compresseur soit différent, on suppose que celui-ci fonctionne comme une pompe à piston, qui se compose d'un cylindre, d'un piston coulissant entraîné par un moteur et de deux soupapes :

- ◇ La soupape d'entrée Σ_1 est ouverte si la pression P dans le corps de la pompe est inférieure ou égale à la pression atmosphérique P_0 ;
- ◇ La soupape de sortie Σ_2 est ouverte si P est supérieure à P_1 ;
- ◇ Le volume V du corps de pompe est compris entre 0 et V_m ;
- ◇ À chaque cycle (un aller-retour du piston), la pompe aspire et refoule une mole d'air.

1) a – Tracer sur un diagramme de WATT (P,V) l'allure de la courbe représentant un aller-retour du piston. Indiquer le sens de parcours par une flèche.

   b – Montrer que le travail de l'air situé à droite du piston est nul sur un aller-retour.

   c – Montrer que le travail fourni par le moteur qui actionne le piston est égal à l'aire d'une surface sur le diagramme. On supposera que le mouvement est assez lent pour que l'évolution soit mécaniquement réversible.

2) Pendant la phase de compression, l'air suit une loi polytropique $PV^k = \text{cte}$. Il sort du compresseur à la température $T_1 = 391\,\mathrm{K}$. Trouver la valeur de k.

3) Exprimer le travail mécanique W_{moteur} fourni par le moteur pendant un aller-retour en fonction de n, R, k, T_1 et T_0.

4) Le débit massique de l'air dans le compresseur est $D_m = 0{,}013\,\mathrm{kg{\cdot}s^{-1}}$. Calculer la puissance $\mathcal{P}_{\text{moteur}}$ fournie par le moteur.

VI Apport d'énergie électrique

Un récipient de volume $2V_0 = 4{,}0\,\mathrm{L}$ est partagé en deux compartiments (1) et (2), séparés par une paroi mobile et athermane. Le premier compartiment est calorifugé, le second est entouré de parois diathermes. Chacun contient n moles d'un gaz parfait diatomique, qui occupe un volume initial V_0 sous la pression $P_0 = 1{,}0\,\mathrm{bar}$ et la température $T_0 = 300\,\mathrm{K}$, température de l'air extérieur.

Dans le compartiment (1) se trouve une résistance électrique R, dans laquelle on fait passer un courant I. Le phénomène, assez lent, conduit au bout d'un temps τ à obtenir une pression dans le compartiment (1) telle que $P_1 = 2P_0$.

1) Déterminer et calculer les grandeurs P_2, V_2 et T_2 au bout du temps τ dans le compartiment.

2) En déduire les expressions et les valeurs de V_1 et de T_1.

3) Déterminer et calculer les variations d'énergie interne ΔU_1 et ΔU_2.

4) Quel travail $W_{p,2}$ a été reçu par le compartiment (2) ? Combien vaut $W_{p,1}$ reçu par le compartiment (1) ?

5) Comment s'exprime l'énergie thermique reçue par le compartiment (1) ? La relier à U et $W_{p,1}$ grâce au premier principe $\Delta U = W + Q$. Déterminer alors la valeur de τ.