Sujet 1

I Comparaison entre transformations

On considère un système composé d'une quantité de matière n de gaz parfait diatomique enfermée dans une enceinte. Cette enceinte est fermée par un piston de surface S et dont on négligera la masse, pouvant coulisser sans frottement. L'ensemble est situé dans l'atmosphère, dont on note T_0 et P_0 la température et la pression. On note I l'état initial. L'objectif est de comparer deux transformations du système : l'une brutale et l'autre lente. Le gaz de cet exercice se comporte comme le gaz parfait et on suppose que la capacité thermique du gaz est beaucoup plus importante que celle de la paroi de l'enceinte. On peut alors considérer que la variation d'énergie interne du système est uniquement celle du gaz.

Donnée. Capacité thermique à volume constant $C_V = 5nR/2$.
Commençons par la transformation brutale : on lâche brusquement une masse M sur le piston, qui se stabilise en un état intermédiaire 1.

1. Le meilleur modèle pour la transformation est-il isotherme ou adiabatique ? Peut-on en déduire un résultat sur la température T_1 ?

2. Déterminer la pression P_1.

3. Établir le bilan énergétique de la transformation en explicitant chacun des termes $W_{I\to1}$, $Q_{I\to1}$ et $\Delta_{I\to1}U$.

On observe qu'en fait l'état 1 n'est pas un réel état d'équilibre : le piston continue de bouger, mais beaucoup plus lentement, jusqu'à atteindre l'état 2 qui est l'état final.

4. Quel phénomène, négligé précédemment, est responsable de cette nouvelle transformation du système ?

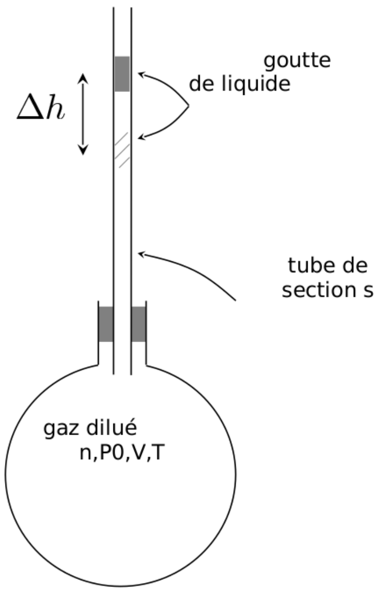
5. Comment peut-on qualifier cette transformation ?

6. Déterminer les caractéristiques T_2, P_2, V_2 de l'état 2.

7. Déterminer le travail reçu par le système, puis sa variation d'énergie interne au cours de la transformation $1 \to 2$ en fonction de P_0, m, g, S, V_2, n, T_2, T_1 et V_1.

Sujet 2

I Thermometre à gaz ($\star$)



On peut mesurer la température à l'aide d'un gaz sous basse pression P_0 qui se comporte alors comme un gaz parfait. On mesure dans le dispositif ci-contre, appelé thermomètre à gaz, la variation de hauteur Δh d'une goutte de liquide dans le tube de section s lorsque la température varie.

1. Décrire le système thermodynamique étudié à l'équilibre. Préciser en particulier ce que l'on sait de la pression et de la température.

2. Exprimer la variation de volume ΔV en fonction de s et Δh.

3. Exprimer la relation entre ΔT et Δh.

4. À 300·K, la goutte est à l'équilibre et la pression dans l'enceinte est 1,00·bar. Calculer n sachant que $V = 50{,}0 \cdot \text{ml}$.

5. Calculer le diamètre du tube pour que la goutte monte de 1·m lorsque T augmente de 100·K.

Sujet 3

I Étude du cycle de Carnot

On appelle cycle de Carnot un cycle ditherme réversible. On considère une quantité n de gaz parfait subissant les transformations suivantes :

- une transformation AB qui est une détente isotherme à T_{ch},
- une transformation BC qui est une détente adiabatique et réversible dans laquelle la température passe de T_{ch} à T_{fr},
- une transformation CD qui est compression isotherme à T_{fr},
- une transformation DA qui est une compression adiabatique et réversible dans laquelle la température passe de T_{fr} à T_{ch}.

1. Comment peut-on qualifier les transformations adiabatiques et réversibles ?
2. Quelle est l'équation de la courbe correspondant aux transformations BC et DA dans le diagramme de Clapeyron ?
3. Tracer l'allure du cycle subit par ce gaz dans le diagramme de Clapeyron et noter son sens de parcours.
4. La machine thermique utilisant ce cycle a-t-elle un fonctionnement moteur ? Pourquoi ?

On appelle

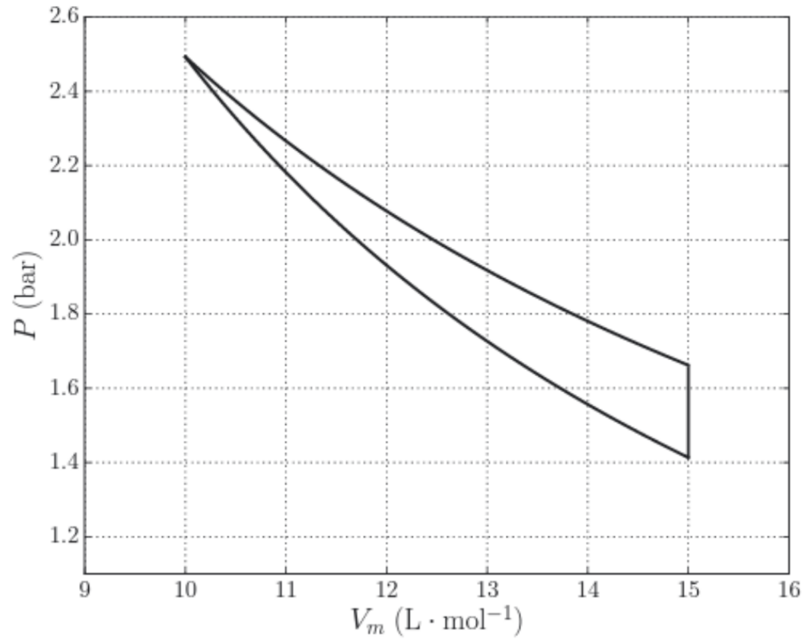
$$\alpha = \frac{V_B}{V_A}.$$

5. Déterminer le travail et le transfert thermique échangée Q_{ch} avec la source chaude en fonction de n, T_{ch} et α.
6. Déterminer le travail et le transfert thermique échangée Q_{fr} avec la source froide en fonction de n, T_{fr} et α.
7. En déduire le travail W reçu par le système au cours d'un cycle en fonction de n, des températures et de α.
8. Déterminer le rendement de ce système.

Sujet 4

I Adiabatique vs isotherme

Une mole d'un gaz parfait de coefficient isentropique $\gamma > 1$ subit un cycle de transformation représenté sur le diagramme ci-dessous : partant de l'état (1) de pression $P_1 = 2{,}5\,\text{bar}$, un détente isotherme réversible l'amène à l'état (2), elle subit ensuite une évolution isochore l'amenant dans l'état (3), puis retourne dans l'état (1) par une compression adiabatique réversible.
La seconde transformation a lieu en contact thermique avec un thermostat à la température $T_e = 200\,\text{K}$.



1. En utilisant la loi des gaz parfaits ainsi que la loi de Laplace, justifier que, dans le diagramme de Clapeyron, la pente d'une transformation abiabatique-réversible soit supérieur (en valeur absolue) à celle d'une transformation isotherme.

2. En justifiant soigneusement, placer les points (1), (2), (3) sur le diagramme.

3. En déduire la valeur du coefficient γ. Le gaz parfait est-il diatomique ou monoatomique ?

4. Pour chacune des transformations $(i) \to (j)$, exprimer et calculer la variation d'énergie interne ΔU_{ij} du gaz.

5. Pour chacune des transformations $(i) \to (j)$, exprimer et calculer le travail W_{ij} reçu du gaz.

6. Pour chacune des transformations $(i) \to (j)$, exprimer et calculer le transfert thermique reçus Q_{ij} par le gaz.

7. Pour chacune des transformations $(i) \to (j)$, exprimer et calculer la variation d'entropie ΔS_{ij} du gaz.

8. Pour chacune des transformations, faire un bilan entropique, et calculer l'entropie créée. Identifier si nécessaire les causes d'irréversibilité.

Sujet 5

I Équation de gaz parfait et interprétation microscopique

Considérons un système de N particules identiques de masse m contenue dans un volume V. Ce gaz théorique suit le modèle du gaz parfait.

1. Rappeler les hypothèses du gaz parfait.

2. Justifier qu'entre deux chocs, on peut considérer les vecteurs vitesses des particules comme constants.

Nous allons démontrer la relation donnée en cours entre la pression au sein du gaz et la vitesse quadratique des particules. Nous ajouterons à notre modèle les hypothèses simplificatrices suivantes :

- les particules possèdent toutes la même norme de vitesse u (on parle de distribution homocinétique),
- elles ne se déplacent que selon trois directions : $\vec{e}_x$, $\vec{e}_y$ ou $\vec{e}_z$ (cela signifie qu'aucune n'a un vecteur vitesse qui n'est pas colinéaire à un vecteur de la base),
- il y a une répartition égale des particules dans chaque direction et sens de l'espace : autant de particules ont un vecteur vitesse dirigé suivant $\pm\vec{e}_x$, $\pm\vec{e}_y$ ou $\pm\vec{e}_z$.

On considère un cylindre d'axe Ox et on cherche la pression provoqué par les chocs des particules sur la paroi avant d'axe Ox. On appelle S la surface de cette paroi.

3. Justifier que le nombre de particules allant dans vers cette paroi à l'instant t est $N/6$.

4. On considère la portion de cylindre de base S de hauteur $u\,\mathrm{d}t$. Pourquoi seules les particules contenues dans ce cylindre à l'instant t frapperont la paroi entre t et $t + \mathrm{d}t$?

5. Soit dN le nombre de particules dans ce petit cylindre. Exprimer dN en fonction de u, N, S, V et $\mathrm{d}t$.

6. Exprimer la variation de la quantité de mouvement d'une particule au cours du choc.

7. Quelle est la force totale exercée par les particules pendant $\mathrm{d}t$ sur la paroi S ?

8. En déduire l'expression de la pression du gaz en fonction de u^2, N, m et V ainsi que la loi des gaz parfaits.