DS9 : Thermodynamique

Exercice 1 : Bilan d'énergie du cycle de Lenoir

L'état initial d'une mole de gaz parfait monoatomique est ($p_0 = 2 \times 10^5$ Pa, $V_0 = 18\,\ell$). On lui fait subir successivement de manière quasistatique :

- une détente isobare qui double son volume ;
- une compression isotherme qui le ramène à son volume initial ;
- un refroidissement isochore qui le ramène à son état initial.

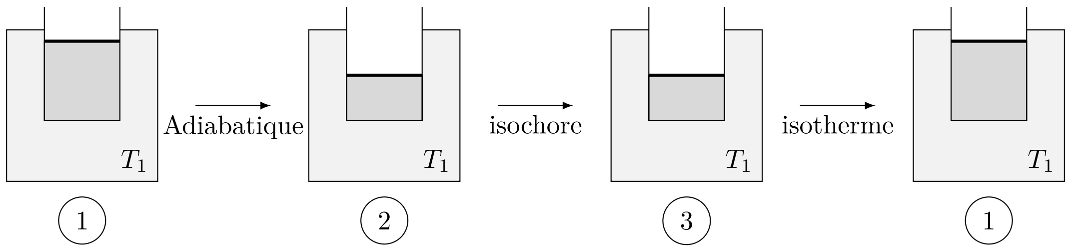
1. Quelle est la température initiale du gaz ?
2. À quelle température se fait la compression ? En déduire la valeur p_2 de la pression maximale atteinte.
3. Représenter le cycle décrit par ce gaz dans le diagramme de Watt (p, V). Est-ce un cycle moteur ou récepteur ?
4. Calculer le travail et la chaleur reçus par le gaz à chaque étape.
5. En déduire les valeurs du travail et de la chaleur reçus au cours d'un cycle. Ces résultats sont-ils compatibles avec votre réponse à la question 3 ?
6. On souhaite effectuer ce cycle une fois par seconde, quelle est la puissance mécanique nécessaire ?
7. En pratique, on ne peut pas faire subir au gaz ce cycle avec une fréquence élevée. Expliquer pourquoi et indiquer ce qui change lorsque le cycle est effectué rapidement.

Exercice 2 : Transformation cyclique d'un gaz parfait

On considère n moles de gaz parfait monoatomique enfermé dans un cylindre fermé par un piston mobile. Initialement, le volume du cylindre est V_1, la pression du gaz est P_1 et sa température T_1, c'est l'état 1. Le cylindre est en contact thermique avec un réservoir d'eau à la température T_1. Dans toute la première partie, le réservoir d'eau est considéré comme un thermostat.

Le gaz subit la série de transformations suivante :

— Compression adiabatique quasistatique jusqu'au volume $V_2 < V_1$: état 2 ;
— Refroidissement isochore pour revenir à la température T_1 du thermostat : état 3 ;
— Détente isotherme quasistatique pour revenir à l'état 1.



Pour une transformation adiabatique quasistatique, la loi de Laplace indique qu'à chaque instant de la transformation on a PV^γ = constante avec $\gamma = \frac{5}{3}$ pour un gaz parfait monoatomique.

1. Rappeler le premier principe de la thermodynamique pour un système au repos.
2. Qu'est-ce qu'une transformation adiabatique, en pratique quelles sont les transformations que l'on pourra considérer comme adiabatiques ?
3. Qu'est-ce qu'une transformation isotherme, en pratique quelles sont les transformations que l'on pourra considérer comme isothermes ?
4. Exprimer la pression P_2 atteinte par le gaz dans l'état 2 en fonction de P_1, V_1 et V_2.
5. En déduire l'expression de la température T_2 atteinte par le gaz dans l'état 2 en fonction de T_1, V_1 et V_2.
6. Représenter les transformations subies par le gaz dans un diagramme (P, V).
7. Montrer que le travail des forces de pression reçu par le gaz lors de la transformation 1→2 vaut :
$$W_{12} = \frac{3}{2} P_1 V_1 \left(\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} - 1 \right)$$
On pourra au choix calculer l'intégrale donnant le travail W_{12} ou utiliser le premier principe entre les états 1 et 2.
8. Que vaut le travail W_{23} reçu par le système lors de la transformation 2 → 3 ? Exprimer la chaleur Q_{23} reçue par le système au cours de cette transformation en fonction de T_1 et T_2. On pourra judicieusement appliquer le premier principe.

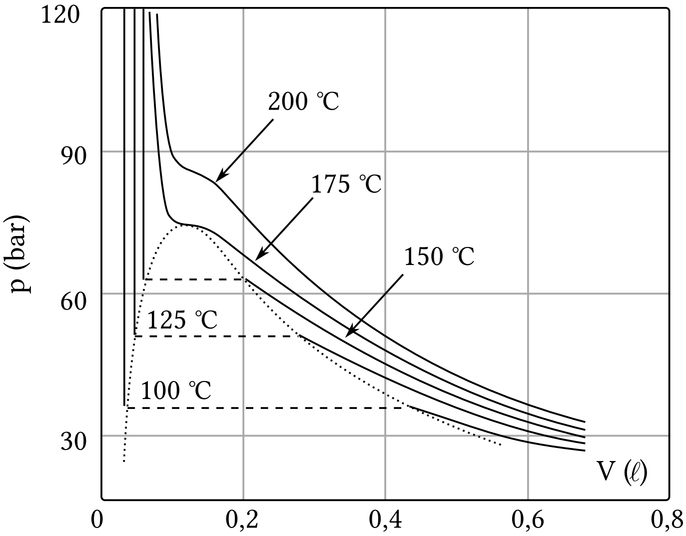
9. Exprimer le travail W_{31} et la chaleur Q_{31} reçus par le système au cours de la transformation $3 \to 1$ en fonction de V_2 et V_1.
10. Montrer qu'au cours d'un cycle, le travail et la chaleur reçus par le système sont :

$$W = P_1 V_1 \left[\frac{3}{2} \left(\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} - 1 \right) - \ln \frac{V_1}{V_2} \right] \quad \text{et} \quad Q = -W$$

11. Quel est le signe de W ? Quel est le signe de Q ? On pourra donner un argument physique, ou étudier mathématiquement le signe de W et Q.
12. Expliquer qualitativement ce qu'il va se passer avec l'eau du réservoir lorsqu'on effectue un grand nombre de cycles identiques. Pourra-t-on toujours le considérer comme un thermostat ?

Exercice 3 : Équilibre liquide-vapeur

La figure ci-dessous représente un ensemble de courbes expérimentales appelées isothermes d'Andrews, représentant la pression p d'une mole de fluide en fonction de son volume, pour différentes températures.



1. Déterminer les coordonnées (p_C, V_C) du point critique.
2. Déterminer l'état physique du système et calculer, s'ils sont définis, les titres massiques x_V et x_L de la vapeur et du liquide pour :
   (a) $V = 0{,}6\,\ell$ et $T = 110\,°\mathrm{C}$.
   (b) $p = 110\,\mathrm{bar}$ et $T = 200\,°\mathrm{C}$.
   (c) $V = 0{,}2\,\ell$ et $T = 125\,°\mathrm{C}$.
3. On réalise une compression isotherme de ce fluide à $T = 150\,°\mathrm{C}$ au cours de laquelle la pression varie de $P_i = 30\,\mathrm{bar}$ à $P_f = 90\,\mathrm{bar}$. Déterminer graphiquement le travail reçu par le fluide.
4. Ce fluide peut-il être de l'eau ? Justifier la réponse.
5. La pression de vapeur saturante d'un fluide à une température T correspond à la pression de changement d'état à cette température. Quelle est la pression de vapeur saturante de ce fluide à $100\,°\mathrm{C}$?

Exercice 4 : Calorimétrie

Un calorimètre et ses accessoires (agitateur, thermomètre,...) possède une capacité thermique C.

1. Le calorimètre contient initialement une masse d'eau $M = 120\,\mathrm{g}$ à la température $T_1 = 20\,°\mathrm{C}$, on lui ajoute une masse $m = 90\,\mathrm{g}$ d'eau à la température $T_2 = 60\,°\mathrm{C}$. Après quelques instants, la température d'équilibre observée est $T_f = 27\,°\mathrm{C}$. En déduire la valeur de la capacité thermique C du calorimètre.
2. Calculer la *valeur en eau* μ du calorimètre. μ représente la masse d'une quantité d'eau qui aurait la même capacité thermique que le calorimètre.
3. Le même calorimètre contient maintenant $M' = 150\,\mathrm{g}$ d'eau à $T_1' = 25\,°\mathrm{C}$. On y plonge un échantillon métallique de masse $m' = 35\,\mathrm{g}$ porté à la température $T_2' = 130\,°\mathrm{C}$. La température d'équilibre est $T_f' = 27\,°\mathrm{C}$. Calculer la capacité thermique massique c de l'échantillon métallique.
4. Toujours dans le même calorimètre, on mélange une masse $m_g = 20\,\mathrm{g}$ d'eau sous forme de glace à $T_g = -10\,°\mathrm{C}$ avec une masse $m_l = 200\,\mathrm{g}$ d'eau sous forme liquide à $T_l = 40\,°\mathrm{C}$. Déterminer l'état final du système (état physique et température)
5. Cette fois on mélange dans le calorimètre une masse $m_g = 200\,\mathrm{g}$ d'eau sous forme de glace à $T_g - 10\,°\mathrm{C}$ à une masse $m_l = 20\,\mathrm{g}$ d'eau liquide à $T_l = 10\,°\mathrm{C}$ initialement présente dans le calorimètre. Déterminer l'état final du système.

Données :

— Capacité thermique de l'eau liquide : $c_l = 4{,}18\,\mathrm{J\,g^{-1}\,K^{-1}}$
— Capacité thermique de l'eau solide : $c_g = 2{,}06\,\mathrm{J\,g^{-1}\,K^{-1}}$
— Enthalpie massique de fusion de l'eau : $h_f = 333\,\mathrm{J\,g^{-1}\,K^{-1}}$