



Étude d'un système thermodynamique

Compétences et capacités scientifiques mises en œuvre dans ce TD

- ☑ Identifier un système ouvert, fermé, isolé
- ☑ Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique.
- ☑ Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique.
- ☑ Utiliser l'équation d'état des gaz parfaits, l'interpréter à l'échelle microscopique.
- ☑ Analyser un diagramme de phase $P(T)$ et $P(v)$
- ☑ Equilibre liquide-vapeur : déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme $P(v)$

Données : Constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Parcours	Programme d'entraînement
Facile	Exercices 1, 4, 5
Intermédiaire	Exercices 2, 3, 4, 5

Exercice n° 1 : Pression d'un pneu (★)

En hiver, pour une température extérieure de $T_1 = -10 \text{ °C}$, un automobiliste règle la pression de ses pneus à $P_1 = 2,0 \text{ bar}$, pression préconisée par le constructeur. L'air est assimilé à un gaz parfait et le volume du pneu reste constant.

- 1) L'automobiliste ayant roulé sur l'autoroute, la température de l'air dans le pneu atteint la valeur $T_2 = 50 \text{ °C}$. Exprimer puis calculer la pression P_2 de l'air à cette température.
- 2) Le conducteur vérifie la pression des pneus et, la trouvant excessive, la ramène à $P_1 = 2,0 \text{ bar}$, sans que l'air n'ait eu le temps de se refroidir. Quelle sera la pression P'_1 des pneus quand l'équilibre thermique sera établi ?
- 3) Les pneus sont gonflés à la pression P_1 , à la température T_1 . Si la pression maximale admissible dans le pneu est $P_{\max} = 6 \text{ bar}$, à quelle température T_{\max} risque-t-il d'exploser ?
- 4) Un pneu initialement vide de volume $V_1 = 50 \text{ L}$ est gonflé au moyen d'air comprimé contenu dans une bouteille de volume $V_0 = 80 \text{ L}$ sous une pression $P_0 = 15 \text{ bar}$. La pression finale dans le pneu doit être fixée à $P_1 = 2 \text{ bar}$. Déterminer la pression P dans la bouteille à la fin du gonflage d'un pneu, si l'opération se passe à température constante.

Exercice n° 2 : Pompe à vélo (★★)

Une chambre à air de volume supposé constant $V_c = 6\text{L}$ contient initialement de l'air à $P_0 = 1 \text{ bar}$. On veut porter sa pression à $P_f = 5 \text{ bar}$ à l'aide d'une pompe à main. On suppose que la température reste constante, on la notera T_0 . La pompe est constituée d'un cylindre de volume $V_0 = 125 \text{ mL}$ dans lequel peut coulisser un piston. L'air est prélevé dans l'atmosphère à P_0 puis refoulé dans la chambre à air à travers une valve qui permet de vider la totalité du cylindre.

- 1) Quelle est la pression dans la roue après k coups de pompe ?
- 2) Calculer le nombre de coups de pompe nécessaire pour gonfler la roue jusqu'à P_f .

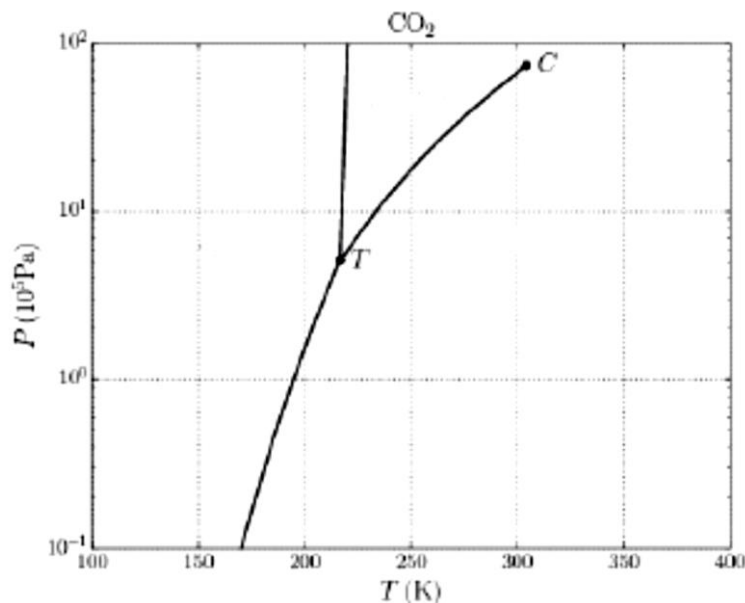
Exercice n° 3 : Enceinte à deux compartiments (★★)

On place dans les deux compartiments d'une enceinte la même quantité n de gaz parfaits identiques. Ces deux compartiments sont séparés par un piston mobile de section $S = 200 \text{ cm}^2$. Initialement, les deux gaz ont même température $T_0 = 300 \text{ K}$, même volume $V_0 = 10,0 \text{ L}$ et même pression $P_0 = 10,0 \text{ bar}$, et le piston est au centre de l'enceinte, à l'abscisse $x = 0$.

- 1) Faire un schéma de l'état initial et donner les grandeurs utiles.
- 2) Calculer la quantité de matière n de gaz dans chaque compartiment.
- 3) On élève la température du gaz du compartiment de gauche jusqu'à $T_F = 350 \text{ K}$, tout en maintenant la température du compartiment de droite à T_0 . Calculer l'abscisse x du piston une fois le nouvel état d'équilibre atteint.

Exercice n° 4 : Diagramme (P, T) du dioxyde de carbone (★)

La figure ci-dessous montre le diagramme (P, T) du dioxyde de carbone.



- 1) Placer les différents états de la matière sur le diagramme.
- 2) On se place dans les conditions initiales suivantes $T_1 = 250 \text{ K}$, $P_1 = 10 \text{ bar}$. Placer ce point (1) dans le diagramme et en déduire dans quelle phase se trouve le dioxyde de carbone dans l'état initial.
- 3) Partant de cet état, on comprime lentement le dioxyde de carbone à température constante, pour terminer à la pression $P_2 = 50 \text{ bar}$. Placer le point (2) sur le graphe, en déduire dans quelle phase se trouve le dioxyde de carbone dans l'état final. Décrire alors les différentes étapes de cette compression.
- 4) Tracer l'allure du graphe qui représente la pression du CO_2 en fonction du temps.
- 5) Faire la même analyse si à la place d'une compression isotherme, on réalise un refroidissement lent à pression constante amenant le CO_2 dans l'état final $T_3 = 200 \text{ K}$, $P_3 = 10 \text{ bar}$. On tracera cette fois l'évolution de la température avec le temps.

Exercice n° 5 : Étude d'un ballon d'eau chaude (★★)

On souhaite stocker une masse m d'eau dans un ballon d'eau chaude modélisé par une cuve fermée, indéformable et de volume $V_0 = 200$ L. Pour simplifier, on suppose qu'il ne contient que de l'eau. Suite à un échauffement accidentel, l'eau maintenue à $T_0 = 333$ K passe à la température $T = 773$ K. On fournit ci-dessous le diagramme des isothermes d'Andrews de l'eau (P,v).

- 1) Lorsqu'il est rempli, le ballon contient une masse $m_1 = 50$ kg d'eau.
 - a) Calculer le volume massique de l'eau contenue dans le ballon. Sous quel(s) état(s) se trouve l'eau contenue dans le ballon à T_0 puis à T ? Justifier.
 - b) En déduire la composition du mélange liquide-gaz dans le ballon à T_0 .
 - c) Déterminer graphiquement la pression P_1 dans le ballon après l'échauffement accidentel.
- 2) Le ballon est maintenant presque vide et contient seulement une masse $m_2 = 400$ g d'eau. Reprendre les questions précédentes et déterminer graphiquement la pression P_2 à l'issue de l'échauffement.
- 3) Lorsqu'on stocke un fluide, est-il préférable que le volumique massique v soit supérieur ou inférieur au volume massique critique v_c pour éviter une explosion ?

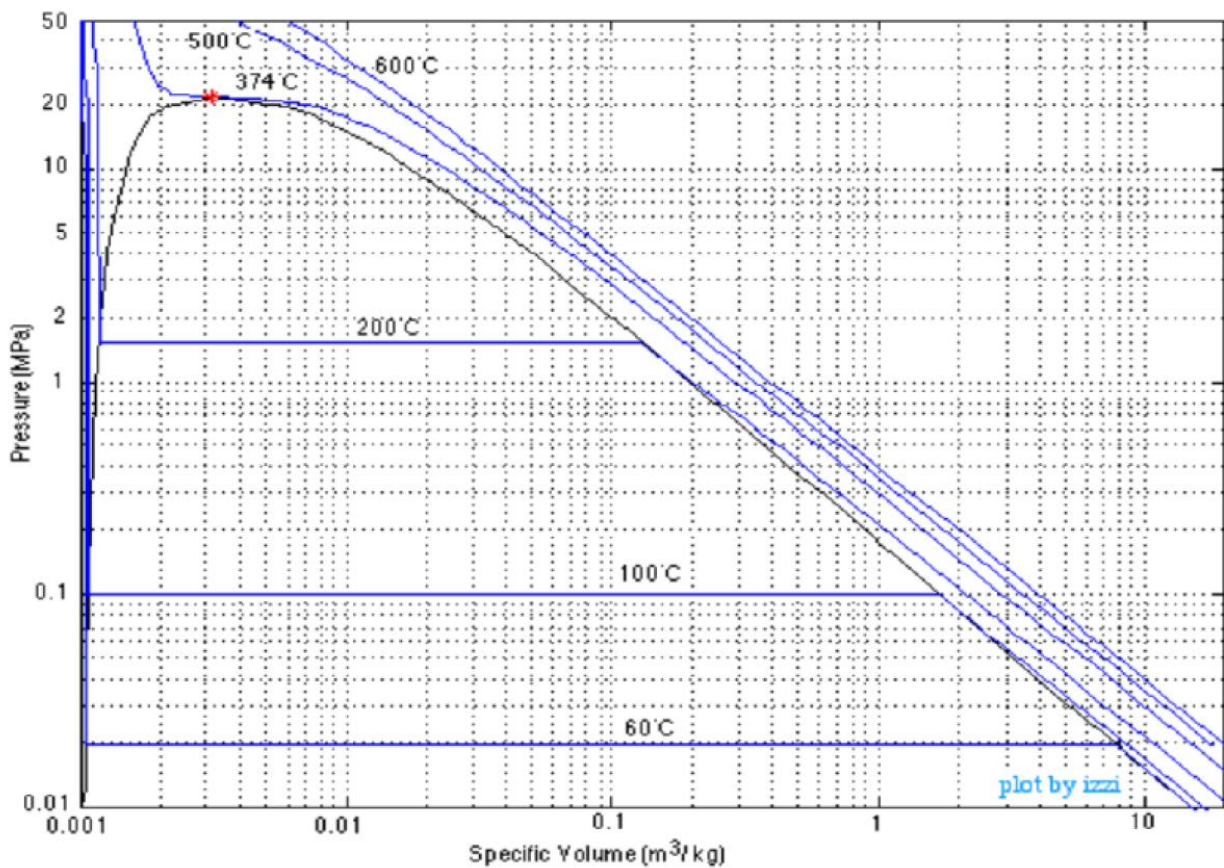


Figure 1 – Diagramme de Clapeyron de l'eau