

TD15 : Thermodynamique 1

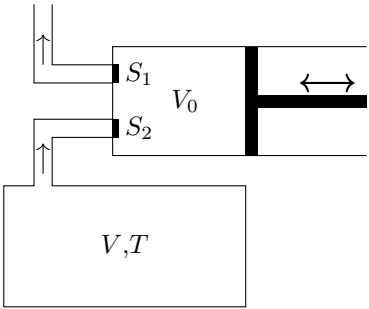
Exercice 1 : PRESSION D’UN PNEU

En hiver, pour une température extérieure de  $T_1 = -10\text{ }^\circ\text{C}$ , 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  $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ . Exprimer puis calculer la pression  $P_2$  de l’air dans le pneu.
2. À ce moment, 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 la température sera revenue à  $T_1 = -10\text{ }^\circ\text{C}$ ?
3. Si la pression maximale admissible dans le pneu est  $P_{\text{max}} = 6\text{ bar}$ , à quelle température  $t_{\text{max}}$  risque-t-il d’exploser ?

Exercice 2 : POMPE À VIDE

Pour faire le vide dans une enceinte, contenant de l’air et de volume  $V$ , on utilise une pompe à vide. Elle est composée d’un cylindre à l’intérieur duquel se déplace, sans frottement, un piston. Le volume maximum d’air admissible dans le corps de pompe est  $V_0$ , lorsque le piston est tiré complètement vers la droite. Lorsqu’il est poussé complètement à gauche, le piston peut atteindre le fond du cylindre. Deux soupapes,  $S_1$  et  $S_2$  permettent l’admission de l’air venant de l’enceinte et son refoulement vers l’atmosphère extérieure dont la pression est  $P_0$ . Un moteur électrique déplace le piston qui fait un aller et un retour quand le moteur a fait un tour. On assimilera l’air à un gaz parfait dont la température  $T$  reste constante lors du fonctionnement de la pompe. Au départ, la pression dans l’enceinte est  $P_0 = 1\text{ bar}$ . On néglige le volume du tuyau reliant la pompe à l’enceinte.



1. On étudie le premier aller-retour du piston. Au départ, la pression dans l’enceinte est  $P_0$ , le piston est poussé vers la gauche. Puis,  $S_2$  étant ouverte et  $S_1$  fermée, il est tiré complètement vers la droite. Lors du retour du piston,  $S_1$  est ouverte et  $S_2$  fermée, l’air contenu dans le cylindre est refoulé vers l’extérieur. Déterminer la pression  $P_1$  à la fin de cette opération.
2. En reprenant le raisonnement précédent, déterminer la pression  $P_2$ , dans l’enceinte, après le deuxième aller-retour.
3. En déduire la pression  $P_N$  à l’intérieur de l’enceinte au bout de  $N$  aller-retours.
4. La fréquence de rotation du moteur est de 300 tours/min. Déterminer le temps  $t$  pour obtenir une pression de 0,001 bar. On donne  $V = 10,0\text{ }\ell$  et  $V_0 = 50,0\text{ cm}^3$ .

Exercice 3 : DIFFUSION

Un récipient est constitué de deux compartiments de même volume  $V$ , maintenus à la température  $T$ . À  $t = 0$ ,  $N_0$  particules de gaz parfait remplit le compartiment de gauche noté (1) et le compartiment de droite noté (2) est vide. On perce un petit trou de section  $s$  entre les deux. La normale au trou est  $\vec{e}_x$ . On note  $N_1(t)$  et  $N_2(t)$  le nombre de particules dans chaque compartiment. On adopte pour le gaz parfait le modèle suivant :

- la La norme des vitesses de toutes les molécules est la même et égale à la vitesse quadratique moyenne  $u$  ;
- chaque molécule a une vitesse dirigée suivant une des directions et un sens suivant :  $\vec{e}_x, -\vec{e}_x, \vec{e}_y, -\vec{e}_y, \vec{e}_z, -\vec{e}_z$ .

1. Quel est le nombre de particules  $\delta N_{1\rightarrow 2}$  traversant le trou de 1 vers 2 entre  $t$  et  $t + dt$  ? Donner également l’expression de  $\delta N_{2\rightarrow 1}$
2. En déduire les expressions de  $\frac{dN_1}{dt}$  et  $\frac{dN_2}{dt}$  en fonction de  $N_1, N_2, s, u$  et  $V$ .
3. En déduire les expressions de  $N_1(t)$  et  $N_2(t)$ . Faire apparaître une constante de temps  $\tau$  caractéristique du phénomène.
4. Donner l’expression de  $\tau$  en fonction  $s, V$ , de la température  $T$  et de la masse molaire  $M$  des particules de gaz.
5. Estimer la valeur de  $\tau$  pour  $s = 1\text{ mm}^2$  et  $V = 1\text{ }\ell$  le gaz étant de l’air à la température  $T = 300\text{ K}$ .

Exercice 4 : PRESSION DANS UNE SERINGUE

Une seringue est constituée d’un cylindre de section  $S = 1\text{ cm}^2$  dans lequel peut coulisser sans frottement un piston de même section. L’extrémité de la seringue comporte une ouverture formée par un tube de section  $S' = 1\text{ mm}^2$ . La seringue a une longueur  $L = 5\text{ cm}$  et contient initialement son volume d’air considéré comme un gaz parfait à la pression  $P_0 = 1\text{ bar}$ . Une personne appuie sur le piston avec une force  $F = 10\text{ N}$  tout en bouchant l’extrémité de la seringue. L’ensemble se trouve dans l’atmosphère à la pression  $P_0$ .

1. Déterminer la pression à l’intérieur de la seringue.
2. Déterminer la force exercée par l’air sur le doigt qui bouche la seringue, la comparer à  $F$ .
3. Déterminer la distance parcourue par le piston lors de la compression de l’air contenu dans la seringue.

Exercice 5 : CHAUFFAGE D’UNE PIÈCE

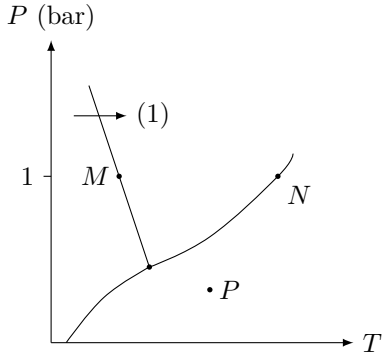
La pièce d’une maison a un volume de  $40\text{ m}^3$ . L’air est considéré comme un gaz parfait monoatomique et se trouve initialement à la température  $T_1 = 10\text{ }^\circ\text{C}$ . La pression est constante égale à  $P_0 = 1\text{ bar}$ .

1. Déterminer la valeur de l’énergie interne de l’air contenu dans la pièce.
2. Déterminer l’énergie interne de la même quantité d’air à  $T_2 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ .
3. Combien de temps devrait-on laisser allumé un radiateur électrique d’une puissance de  $2000\text{ W}$  pour qu’il réchauffe l’air de la pièce de  $T_1$  à  $T_2$  ?
4. Comment change ce résultat si l’on considère que l’air est un gaz parfait diatomique ? Laquelle des deux hypothèses (monoatomique ou diatomique) est la plus adaptée ?
5. Pourquoi en pratique sera-t-il nécessaire d’allumer le radiateur plus longtemps pour réchauffer la pièce ?

Exercice 6 : DIAGRAMME DE PHASES DE L’EAU

On a représenté ci-contre un diagramme de phase incomplet de l’eau.

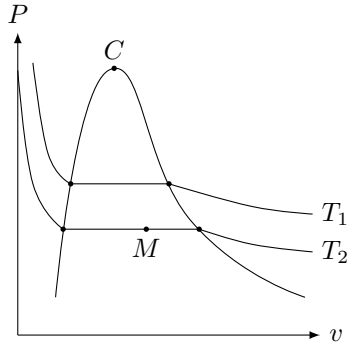
1. Indiquer les domaines d’existence de chacune des phases. La position du point triple et du point critique.
2. À quelle température se trouvent les points  $M$  et  $N$  ?
3. Quel nom porte la transformation (1) ?
4. De l’eau se trouve à la pression et la température du point  $P$ . Dans quel état se trouve-t-elle ? Que se passe-t-il lorsqu’on la refroidit à pression constante ? Lorsqu’on la comprime à température constante ?
5. Quelle est la particularité du diagramme de phase de l’eau ?



Exercice 7 : DIAGRAMME DE CLAPEYRON

On a représenté ci-dessous le diagramme de clapeyron d’un corps pur ainsi que deux isothermes aux températures  $T_1$  et  $T_2$ .

1. Indiquer les domaines d’existence du liquide et de la vapeur.
2. Laquelle des deux températures  $T_1$  ou  $T_2$  est la plus élevée ?
3. Déterminer la composition d’une masse  $m = 10\text{ g}$  du corps pur lorsqu’il se trouve au point  $M$  du diagramme.
4. Comment change la composition lorsque la température passe de  $T_2$  à  $T_1$  à volume constant ?
5. Indiquer sur le graphique le volume massique  $v_1$  de ce corps pur si son titre massique en vapeur est de 0,2 à la température  $T_2$ .



Exercice 8 : COMPRESSION ISOTHERME DE VAPEUR D’EAU

On comprime  $n$  moles d’eau, initialement sous forme gazeuse, de façon quasistatique et isotherme à la température  $T_0$  d’un volume  $V_1$  à un volume  $V_2$ . Au cours de la compression, on observe une liquéfaction d’une fraction de l’eau. On suppose connues la pression de vapeur saturante  $P_S$  de l’eau à la température  $T_0$ .

1. Décrire les conditions expérimentales qui permettent de maintenir la température du système constante.
2. Représenter la transformation subie par le système dans le diagramme d’états  $(P, T)$  puis dans le diagramme de Clapeyron  $(P, v)$  de l’eau.
3. Exprimer en fonction de  $T_0$  et  $P_S$  le volume du système  $V_G$  à la limite de liquéfaction.
4. Exprimer le travail  $W$  reçu par les  $n$  moles d’eau au cours de la compression.
5. Déterminer la quantité  $n_l$  d’eau liquéfiée au cours de la transformation. On pourra considérer que le volume massique du liquide est beaucoup plus faible que celui du gaz.

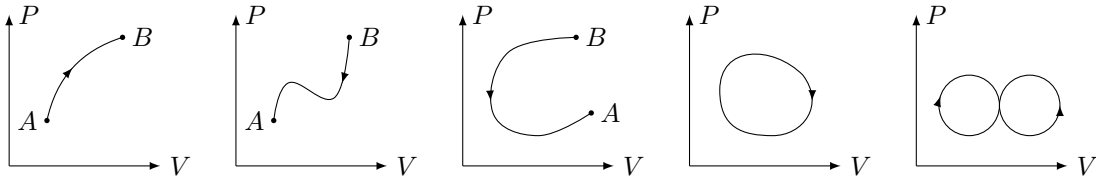
Exercice 9 : COMPRESSION ISOTHERME D’UN GAZ PARFAIT

On place dans un cylindre de section  $S$  un volume  $V_1$  d’un gaz parfait à la pression  $P_1$  et à la température  $T_1$ . Le cylindre est fermé par un piston mobile. On effectue une compression isotherme du gaz en appliquant une pression extérieure  $P_e$  sur le piston. On considère que la transformation est quasi-statique, c’est à dire qu’à chaque instant la pression  $P_e$  est égale à la pression  $P$  du gaz.

1. En pratique, comment doit-on faire pour que la compression du gaz soit réellement isotherme ?
2. On comprime le gaz jusqu’à un volume  $V_2$ , exprimer alors sa pression  $P_2$ .
3. Exprimer la pression du gaz en fonction de son volume, calculer le travail fourni au gaz par les forces de pression.
4. On admet que lors de la compression adiabatique d’un gaz parfait, la quantité  $PV^\gamma$  reste constante. Avec  $\gamma = \frac{7}{5}$  pour un gaz parfait diatomique (air). Déterminer le travail fourni par les forces de pression lorsque la compression est adiabatique.
5. En pratique, comment procède-t-on pour effectuer une compression adiabatique ?
6. Le travail fourni par les forces de pression sera-t-il plus important lors d’une compression adiabatique ou lors d’une compression isotherme ? Justifier.

Exercice 10 : TRAVAIL DES FORCES DE PRESSION

On a représenté ci-dessous les diagrammes de Watt de 5 transformations thermodynamiques (les deux dernières sont cycliques). Pour chacune de ces transformations, indiquer si le travail des forces de pression reçu par le système est positif, négatif ou nul. Pour les transformations cycliques, on raisonnera sur un nombre entier de cycles.



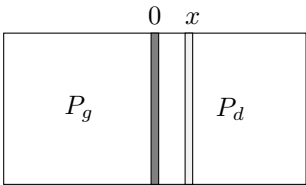
Exercice 11 : CHAUFFAGE D’UNE PISCINE

Une piscine olympique est remplie avec de l’eau à  $20^\circ$ , on souhaite augmenter la température jusqu’à  $27^\circ$ . Estimer le coût de l’opération. (prix de l’électricité  $\approx 15$  centimes/kWh)

Exercice 12 : OSCILLATIONS D’UN PISTON

Un cylindre calorifugé, indéformable, horizontal séparé en deux compartiments par un piston calorifugé de masse  $m$ , de section  $S$ , mobile sans frottement, contient initialement  $n = 1$  mol de gaz parfait diatomique de chaque côté, on note  $(P_0, T_0, V_0)$  les température, pression et volume du gaz de chaque compartiment. On pose  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$ . La capacité thermique du piston est négligeable.

À l’instant  $t = 0$ , l’opérateur écarte le piston de sa position d’équilibre de  $x_0$  faible devant la longueur initiale d’un compartiment  $l_0$  ( $V_0 = l_0 S$ ).



On note  $x$  la coordonnée de la position du piston à l’instant  $t$ . Le piston oscille de façon quasistatique.

1. Exprimer les pressions instantanées à droite et à gauche au cours des oscillations en fonction de  $x$ ,  $l_0$  et  $P_0$ .
2. Déterminer la période des petites oscillations autour de la position d’équilibre du piston en fonction de  $l_0$ ,  $m$ ,  $P_0$ ,  $\gamma$  et  $S$ .
3. Si on considère maintenant que le piston n’est plus calorifugé, comment évolue le système ? Estimer la température finale du gaz en fonction de  $x_0$ .