

TD16 : Thermodynamique 1 – corrigé

Exercice 1 : PRESSION D'UN PNEU

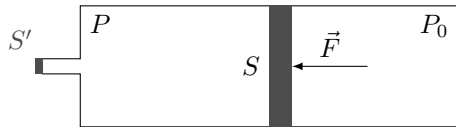
Attention, ne pas oublier de convertir les températures en Kelvin !

- Lorsque l'automobiliste gonfle le pneu, il y met une quantité de matière n d'air telle que $P_1V = nRT_1$, on en déduit que $n = \frac{P_1V}{RT_1}$ (v : volume du pneu).
Lorsque la température passe à T_2 , la pression devient $P_2 = \frac{nRT_2}{V} = P_1 \frac{T_2}{T_1}$ soit $P_2 \simeq 2,5$ bar.
- Le conducteur ramène la pression des pneus à P_1 à la température T_2 , il laisse donc dans les pneus la quantité de matière $n_2 = \frac{P_1V}{RT_2}$.
Lorsque la température redescend à T_1 , la pression des pneus devient $P_3 = \frac{n_2RT_1}{V} = P_1 \frac{T_1}{T_2}$ soit $P_3 \simeq 1,6$ bar.
- On considère que les pneus sont gonflés à la pression P_1 à la température T_1 , on cherche la température T telle que $P = P_{\max}$. D'après la question 1, on a $P_{\max} = P_1 \frac{T}{T_1}$ donc $T = T_1 \frac{P_{\max}}{P_1}$ soit $T \simeq 516$ °C.

Exercice 2 : POMPE À VIDE

- Entre le moment où le piston est complètement poussé à gauche et celui où il est complètement tiré à droite, la quantité de matière d'air contenu dans l'ensemble enceinte+cylindre reste constante. On peut donc écrire $P_0V = P_1(V + V_0)$.
Donc la pression P_1 est donnée par $P_1 = P_0 \frac{1}{1 + \frac{V_0}{V}} < P_0$
- Pour déterminer la pression P_2 après le deuxième aller-retour, on reprend le raisonnement précédent en remplaçant P_0 par P_1 et P_1 par P_2 . On obtient $P_2 = P_1 \frac{1}{1 + \frac{V_0}{V}}$ soit en notant $\alpha = \frac{1}{1 + \frac{V_0}{V}}$, $P_2 = \alpha^2 P_0$.
- Le même raisonnement (récurrence) donne la pression P_N atteinte au bout de N aller-retours : $P_N = \alpha^N P_0$
- Pour obtenir une pression de 0,001 bar soit $0.001P_0$, il faut que $\alpha^N = 0.001$, donc $N \ln(\alpha) = \ln(0.001)$ et finalement $N = \frac{\ln(0.001)}{\ln(\alpha)}$. Avec les valeurs données, on trouve $\alpha = 0.995$ et donc $N = 1385$ tours. À 300 tours/min, le temps mis pour obtenir cette pression sera $t \simeq 4,6$ min $\simeq 4$ min 36 s

Exercice 3 : PRESSION DANS UNE SERINGUE



- Le piston étant à l'équilibre, la somme des forces appliquées est nulle, la force de pression due au gaz à l'intérieur est $F_P = PS$, la force de pression due à l'atmosphère est $F_A = P_0S$ et la force appliquée par la personne est F on a donc $F + P_0S = PS$ l'intérieur de la seringue la pression est donc

$$P = P_0 + \frac{F}{S} = 1 \times 10^5 \text{ Pa} + \frac{10 \text{ N}}{1 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 2 \times 10^5 \text{ Pa} = 2 \text{ bar}$$

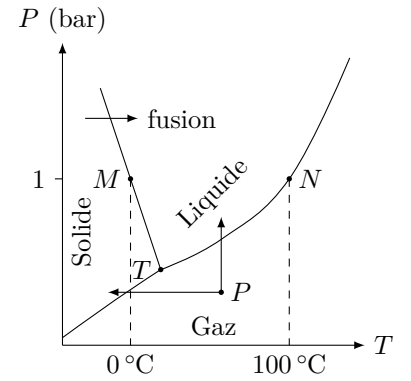
- La force exercée par l'air sur le doigt qui bouche la seringue est $F_D = S'P$, numériquement on trouve $F_D = 0,2 \text{ N} < F$. Il faudrait en réalité prendre aussi en compte les forces de pression exercée par l'atmosphère sur l'autre face du doigt, la force nette exercée sur le doigt deviendrait alors $F_D = 0,1 \text{ N}$.
- On utilise l'équation d'état des gaz parfaits, comme la température et la quantité de matière d'air restent constants lors de la compression on trouve $P_0SL = P_1S(L - d)$ où d est la distance parcourue par le piston lors de la compression. Finalement on trouve $d = \frac{L}{2} = 2,5 \text{ cm}$

Exercice 4 : CHAUFFAGE D'UNE PIÈCE

- L'énergie interne d'un gaz parfait est $U = C_v T$ avec $C_v = \frac{3}{2}nR$ pour un GP monoatomique. On trouve n grâce à l'équation d'état $n = \frac{P_0V}{RT_1}$ donc $U = \frac{3}{2}P_0V$. Soit $U(T_1) = 6 \times 10^6 \text{ J}$.
- La quantité d'air initialement contenue dans la pièce est $n = \frac{P_0V}{RT_1}$. Son énergie interne à T_2 est $U(T_2) = \frac{3}{2}nRT_2 = \frac{3}{2}P_0V \frac{T_2}{T_1}$. On trouve $U(T_2) \simeq 6,21 \times 10^6 \text{ J}$
- L'énergie fournie à l'air de la pièce par le radiateur est donc $\Delta U = 2,1 \times 10^5 \text{ J}$. Or l'énergie fournie par le radiateur pendant le temps t est $E = Pt$. Il faut donc le laisser allumé pendant $t = \frac{\Delta U}{P}$ soit $t \simeq 100 \text{ s}$.
- Pour un gaz parfait diatomique $C_v = \frac{5}{2}nR$, tous les résultats sont donc multipliés par $\frac{5}{3}$ par rapport au gaz parfait monoatomique. On aura donc $t \simeq 170 \text{ s}$. L'hypothèse du GP diatomique est la mieux adaptée à l'air qui est principalement constitué de diazote N_2 et dioxygène O_2 .
- En pratique il faut allumer le radiateur bien plus longtemps car il n'y a pas que l'air à réchauffer, il y a aussi les meubles, les murs,...

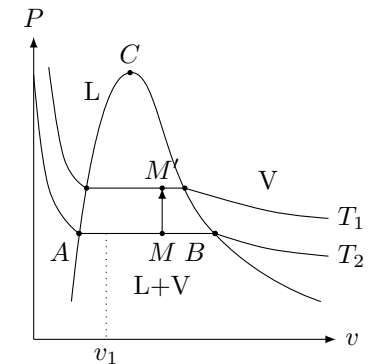
Exercice 5 : DIAGRAMME DE PHASES DE L'EAU

- voir graph.
- Les points M et N correspondent aux températures de fusion et d'ébullition de l'eau à pression ambiante, soit 0 °C et 100 °C.
- La transformation (1) fait passer du solide au liquide, c'est la fusion.
- En P l'eau se trouve sous forme de gaz. Lorsqu'on la refroidit à pression constante elle se condense sous forme solide et lorsqu'on la comprime à température constante elle se liquéfie.
- La pente de la frontière solide-liquide est négative pour l'eau alors qu'elle est positive pour la plupart des autres corps purs.



Exercice 6 : DIAGRAMME DE CLAPEYRON

- Voir graph.
- $T_1 > T_2$ car elle est plus proche du point critique.
- Le titre massique x_v en vapeur est donné par $x_v = \frac{AM}{AB}$, graphiquement on trouve $x_v \simeq \frac{2}{3} \simeq 0.7$. Le système est donc composé de 7 g de vapeur et 3 g de liquide.
- Lorsqu'on passe de T_2 à T_1 à volume constant, le système se trouve au point M' et la quantité de vapeur augmente car en M' le titre en vapeur vaut $x_v \simeq 0.8$.
- Voir graph.

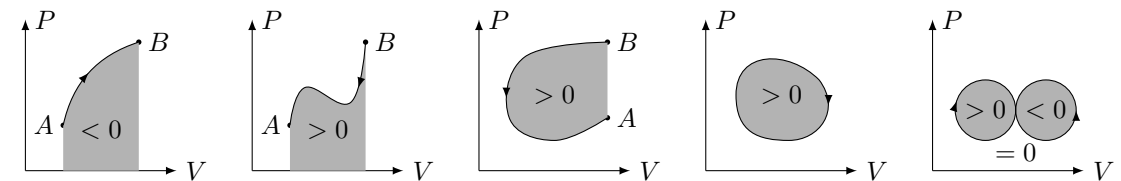


Exercice 7 : COMPRESSION ISOTHERME D'UN GAZ PARFAIT

- Pour que la compression soit vraiment isotherme il faut que les parois du cylindre conduisent la chaleur, qu'elles soient en contact avec un thermostat à la température T_1 et que la compression soit fait suffisamment lentement.
- La pression est donnée par l'équation d'état des gaz parfaits : $P_2V_2 = nRT_1$, or on a initialement $P_1V_1 = nRT_1$, donc $P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2}$.
- La pression du gaz est $P = \frac{nRT_1}{V} = P_1 \frac{V_1}{V}$. Le travail fourni par les forces de pression lors d'une petite variation de volume est $\delta W = -P_e dV = -PdV$. Donc le travail fourni pendant la compression par les forces de pression est $W = \int_{V_1}^{V_2} \delta W = - \int_{V_1}^{V_2} PdV = -P_1V_1 \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = -P_1V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = P_1V_1 \ln \frac{V_1}{V_2}$
- Lorsque la compression est adiabatique, on a $P_1V_1^\gamma = PV^\gamma$ donc $P = P_1V_1^\gamma/V^\gamma$. On trouve le travail des forces de pression de la même manière qu'à la question précédente : $W = - \int_{V_1}^{V_2} PdV = -P_1V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} V^{-\gamma} dV = P_1V_1^\gamma \frac{1}{\gamma-1} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma})$
- En pratique pour effectuer une compression adiabatique, il faudrait que le cylindre soit isolé thermiquement, et il faut que la compression soit rapide.
- Le travail fourni par les forces de pression lors d'une compression adiabatique est plus important que celui fourni lors d'une compression isotherme car le gaz s'échauffe et la pression augmente. l'énergie supplémentaire fournie sert à chauffer le gaz.

Exercice 8 : TRAVAIL DES FORCES DE PRESSION

Le travail des forces de pressions reçu par le système est l'opposé de l'air sous la courbe dans un diagramme (P, V) .
Transfo 1 : négatif ; Transfo 2 : positif ; Transfo 3 : positif ; Transfo 4 : négatif ; Transfo 5 : nul.



Exercice 9 : CHAUFFAGE D'UNE PISCINE

On estime la taille d'une piscine olympique à $50 \text{ m} \times 25 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ ce qui fait un volume de $V \approx 2500 \text{ m}^3$ et une masse d'eau $m_e \approx 2,5 \times 10^6 \text{ kg}$. La capacité thermique de l'eau est de $c_e \approx 4,2 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Il faudra donc une énergie $E = m_e c_e \Delta T \approx 7,4 \times 10^{10} \text{ J} \approx 2,0 \times 10^4 \text{ kWh}$. Le prix à payer sera donc de l'ordre de 3062 €.