Thermodynamique | Chapitre 1 | TD (θ1)

Exercice n°1 • Stockage d'eau *cours*

Une masse $m = 100$ g d'eau liquide est introduite dans une enceinte de volume V, initialement vide, maintenue à $T = 423$ K.

Données :

- $P_{sat} = 4,8$ bar pression de saturation de l'eau à 423 K
- $v_L = 1,09 \cdot 10^{-3}$ m^3·kg^{-1} volume massique de l'eau liquide à 423 K
- $M = 18 \cdot 10^{-3}$ kg·mol^{-1} masse molaire de l'eau

1) On supposant que l'eau liquide est un fluide parfaitement incompressible, déterminer le volume minimal V_{min} que doit posséder l'enceinte pour contenir cette masse d'eau.

2) Déterminer le volume V_G à partir duquel l'eau est entièrement sous forme vapeur. Déterminer alors la pression pour une enceinte de volume $V_1 = 50$ L.

3) Dans le cas d'une enceinte de volume $V_2 = 1$ L, déterminer le titre massique en vapeur.

Exercice n°2 • Pression dans des pneus ★☆☆

En hiver, par une température extérieure de -10 °C, un automobiliste règle la pression de ses pneus à 3 bar, pression préconisée par le constructeur. Arrivé en été, où il fait 30 °C, l'automobiliste doit-il régler à nouveau la pression des pneus ?

On considère que le volume des pneus et que la quantité de matière dans le pneu ne varient pas. De plus, on estime qu'un écart de pression de 10 % au maximum peut être toléré sans danger entre les deux saisons.

Exercice n°3 • Titre massique en vapeur ★☆☆

On considère de l'eau pure dans un récipient de volume $V = 10$ L maintenu à $T = 70$ °C. Le volume de la phase liquide est de $V_{liq} = 0,1$ L.

1) Quelle est masse d'eau dans chaque phase ?

2) Déterminer le titre massique en vapeur.

3) Déterminer le volume massique du système.

Données :

- Volume massique de l'eau liquide à 70 °C : $v_L = 1,02 \cdot 10^{-3}$ m^3·kg^{-1}
- Volume massique de la vapeur d'eau à 70 °C : $v_G = 0,400$ m^3·kg^{-1}

Exercice n°4 • Enceinte à deux compartiments ★⯪☆

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

1) Faire un schéma de l'état initial. Déterminer la longueur L des compartiments ainsi que la quantité de matière n_0 de gaz dans chaque compartiment.

2) On élève la température du gaz du compartiment de gauche jusqu'à $T_1 = 350$ 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°5 • Cocotte-minute ★⯪☆

Une cocotte-minute est équipée d'une soupape de section $S = 4$ mm^2 et de masse $m = 40$ g. On suppose que la pression extérieure est $P_0 = 1$ bar.

1) Déterminer la pression à l'intérieur de la cocotte-minute lorsque la soupape s'ouvre.

On suppose que la pression de vapeur saturante de l'eau à la température T (°C) est donnée au voisinage de 100 °C par la loi :

$$P_{sat}(T) = P_0 \cdot \left(\frac{T\,(°\text{C})}{100}\right)^4$$

2) En déduire la température maximale atteinte. En déduire est l'intérêt d'un tel système.

Exercice n°6 • Stockage d'eau chaude ★★☆

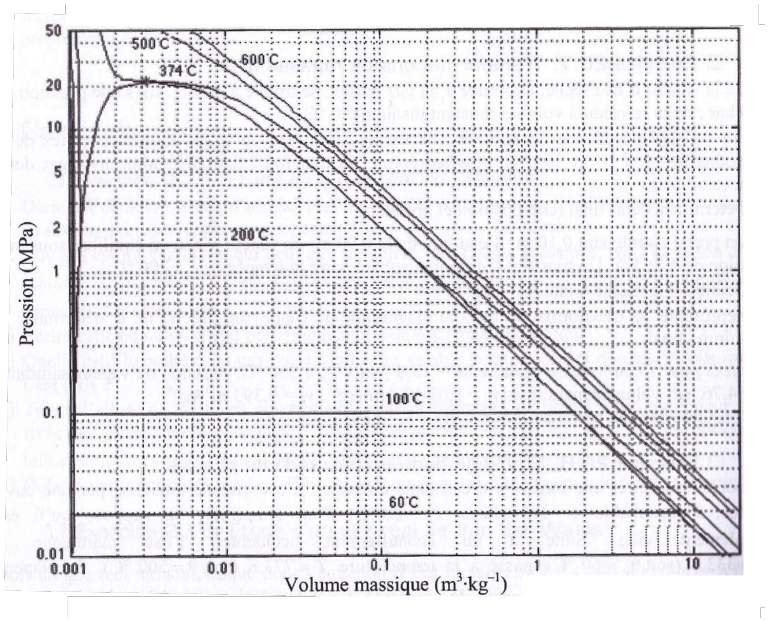
Une masse $m = 100$ kg d'eau chaude est stockée dans une cuve fermée de volume $V_0 = 200$ L, que l'on modélise comme étant indéformable. Pour simplifier, on ne tient pas compte de l'air contenu dans la cuve en plus de l'eau. Suite à un échauffement accidentel, l'eau normalement maintenue à $T_0 = 60$ °C passe à $T = 500$ °C.

La vapeur d'eau est modélisée par un gaz parfait.

On tient compte de la légère compressibilité et dilatabilité de l'eau liquide par une équation d'état de la forme :

$$\ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = \alpha\,(T - T_0) - \chi_T\,(P - P_0) \quad \text{avec :} \quad \begin{cases} \alpha = 3,0 \cdot 10^{-4}\ \text{K}^{-1} \\ \chi_T = 5,0 \cdot 10^{-10}\ \text{Pa}^{-1} \end{cases}$$

On donne le diagramme de Clapeyron de l'eau. Plusieurs isothermes sont représentées pour des températures allant de 60 °C à 600 °C. Attention, les échelles sont logarithmiques.



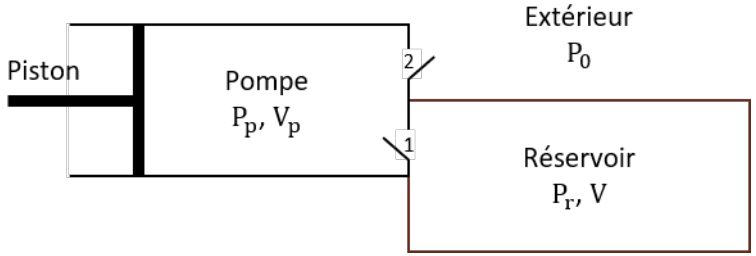
1) En utilisant le diagramme de Clapeyron, déterminer la composition du mélange liquide-gaz initial.

2) Sous quelle forme trouve-t-on l'eau après l'échauffement accidentel ? Déterminer la pression P correspondante. Commenter.

3) La soupape de sécurité permet au fur et à mesure du chauffage de laisser de la vapeur d'eau s'échapper : la cuve est finalement presque vide et ne contient plus que $m' = 400$ g d'eau. Déterminer la pression finale et conclure.

Exercice n°7 • Pompe isotherme ★★★

On veut vider un réservoir de volume V, initialement rempli d'air (considéré comme un gaz parfait) au moyen d'une pompe.



Durant la phase de compression de piston, la soupape 1 (en bas) est fermée et la soupape 2 (en haut) est ouverte. C'est l'inverse lorsqu'on tire sur le piston. Le volume V_p du corps de pompe est compris entre V_{min} (volume résiduel) et V_{max} (volume maximal).

On suppose que la température de l'air reste constante et égale à T. La valeur initiale de P_r est égale à P_0. On suppose pendant toute la transformation que les mouvements du piston de la pompe sont assez lents pour considérer que la température reste constante dans l'ensemble pompe-réservoir.

On appelle P_n la pression dans le réservoir durant la n-ième phase de compression du piston.

1) À l'aide d'un bilan de quantité de matière entre l'instant où l'on commence à tirer sur le piston (V_{min}) et le moment où l'on arrête de tirer sur le piston (V_{max}), déterminer la relation entre P_n et P_{n+1}.

2) Déterminer P_{lim}, valeur de P_r lorsque n tend vers l'infini. Commenter son expression.

3) Montrer que la suite P_n–P_{lim} est géométrique. En déduire l'expression de P_n en fonction de P_0, P_{lim}, n, V et V_{max}.

Éléments de correction

❶ 1) $V_{min} = 0,109$ L. 2) $V_G = 40,7$ L et $P_1 = 3,9$ bar. 3) $x_{vap} = 2,0$ %. ❷ $P_e = 3,46$ bar. ❸ 1) $m_{liq} = 98$ g et $m_{gaz} = 24,75$ g. 2) $x_{vap} = 20,2$ %. 3) $v_M = 81,5 \cdot 10^{-3}$ m³·kg⁻¹ ❹ 1) $L = 0,5$ m et $n_0 = 4$ mol. 2) $x = 38$ mm. ❺ 1) $P_{int} = 1,98$ bar. 2) $T = 119$ °C ❻ 1) $v = 2,0 \cdot 10^{-3}$ m³·kg⁻¹ et $m_G \simeq 13$ g. 2) $P = P_0 + \dfrac{\alpha}{\chi_T}(T - T_0) = 2,1 \cdot 10^3$ bar. 3) $P \simeq 7$ bar. ❼ 1) $P_{n+1} = \dfrac{V}{V + V_{max}} \cdot P_n + \dfrac{V_{min}}{V + V_{max}} \cdot P_0$. 2) $P_{n+1} - P_{lim} = \dfrac{V}{V + V_{max}} \cdot (P_n - P_{lim})$. 3) $P_n = \left(\dfrac{V}{V + V_{max}}\right)^n (P_0 - P_{lim}) + P_{lim}$.