

EXAMEN DE THERMODYNAMIQUE (2^{ème} session)*Durée : 1 heure 30*

Les documents et les téléphones portables ne sont pas autorisés. Les calculatrices sont autorisées.

1 Titre massique en vapeur.

Un récipient de capacité thermique négligeable a un volume $V = 0,5 \text{ m}^3$. Le récipient étant initialement vide, on introduit $m = 1800 \text{ g}$ d'eau à l'intérieur. On appelle x le titre en vapeur : x est le rapport de la masse de vapeur d'eau contenue dans le récipient sur la masse totale m .

1/ Le récipient est maintenu dans un thermostat à $T = 373 \text{ K}$ (100 °C).

- Quel est le volume massique v_v de la vapeur d'eau à sa limite de saturation à la température T ? On supposera que la vapeur d'eau est un gaz parfait, et on exprimera le résultat en fonction de la constante des gaz parfaits R , de la masse molaire de l'eau \mathcal{M} , de la température T et de la pression de vapeur saturante de l'eau à la température T , soit $P_s(T)$.
- On donne $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$, $\mathcal{M} = 18 \text{ g.mol}^{-1}$ et $P_s(T = 100 \text{ °C}) = 1 \text{ bar}$. Calculer v_v . L'eau liquide a une masse volumique $\rho_\ell = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ indépendante de la température. Quel est son volume massique v_ℓ ?
- De la comparaison du volume massique v de la masse m d'eau contenue dans le récipient avec v_v et v_ℓ , indiquer quel est l'état de l'eau (vapeur uniquement, mélange liquide/vapeur ou eau liquide uniquement ?).
- Lorsqu'on a coexistence liquide/vapeur, le titre massique est déterminé par le "théorème des moments" : $v = x v_v + (1 - x) v_\ell$. Déterminer x .

2/ On porte brutalement le récipient dans un autre thermostat à $T' = 150 \text{ °C}$, puis on attend l'équilibre. On donne $P_s(T') = 5 \text{ bar}$.

- Déterminer le nouveau titre x' .
- Représenter dans un diagramme (P, v) l'allure de la courbe de saturation et des isothermes d'Andrews aux températures T et T' . Quelle est l'allure du chemin effectué par le fluide contenu dans le récipient ?

3/ On se propose de calculer la chaleur totale $Q = \Delta U$ reçue par le fluide dans la transformation. On utilisera les données suivantes :

- Chaleur latente massique de vaporisation de l'eau : $L_v(T = 100\text{ °C}) = 2240\text{ kJ.kg}^{-1}$ et $L_v(T' = 150\text{ °C}) = 2090\text{ kJ.kg}^{-1}$.
- Capacité thermique massique isochore du liquide à la saturation $c_\ell = 4,18\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (*indépendante de la température*).

Pour calculer ΔU on décompose la transformation subie par le fluide en 3 étapes : (1) liquéfaction isotherme (à la température T) et isobare (à la pression $P_s(T)$) qui amène le système sur la courbe de saturation, (2) un réchauffement de $T \rightarrow T'$ le long de la courbe de saturation et enfin (3) une vaporisation partielle (isotherme et isobare) qui amène le système à son état final ($T', P_s(T'), x'$).

- (a) Représenter les 3 étapes de la transformation sur le diagramme (P, v).
- (b) Montrer que lors de la première étape $\Delta U^{(1)} = x m [-L_v(T) + P_s(T) (v_v - v_\ell)]$.
- (c) Calculer de même $\Delta U^{(2)}$ et $\Delta U^{(3)}$. Que vaut ΔU ? (donner sa valeur numérique).
- (d) Expliquer pourquoi au cours de la transformation réelle (celle qui est décrite en **2/**) le système reçoit une quantité de chaleur $Q = \Delta U$.

4/ Calculer la variation d'entropie ΔS du système ainsi que celle ΔS_s de la source (thermostat à 150 °C) lors de la transformation décrite précédemment. Conclusion ?