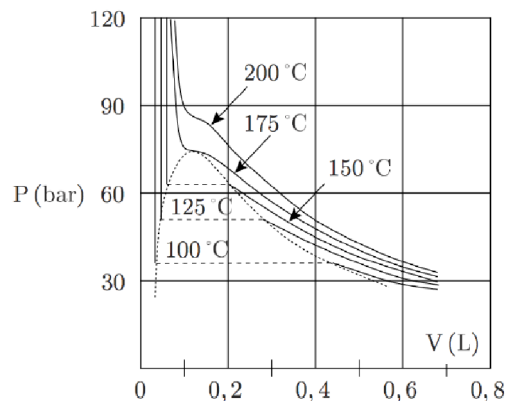


TD : Changements d'états

I Isothermes d'ANDREWS

La figure ci-contre représente un ensemble de courbes expérimentales appelées isothermes d'ANDREWS, représentant la pression P d'une mole de fluide en fonction du volume **molaire**, pour différentes températures.



- 1) Déterminer les coordonnées (P_C, V_C) du point critique.
- 2) Indiquer la courbe de rosée et la courbe d'ébullition.
- 3) Préciser l'état physique et calculer, s'ils sont définis, les titres massiques x_V et x_L de la vapeur et du liquide pour :
 - a – $V_m = 0,6 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $T = 110^\circ \text{C}$;
 - b – $P = 110 \text{ bars}$ et $T = 200^\circ \text{C}$;
 - c – $V_m = 0,2 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $T = 125^\circ \text{C}$.
- 4) Que vaut le volume molaire de la vapeur saturante à la pression de 40 bars ?

II Calorimétries

Données

$$c_{\text{eau}} = 4185 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ et } \Delta h_{\text{fus}} = 335 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

II/A Première expérience

Dans un calorimètre parfaitement isolé de capacité thermique $C = 150 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, on place $m = 100 \text{ g}$ d'eau à la température $\theta = 18^\circ \text{C}$ en équilibre thermique avec le vase intérieur et une masse $m_g = 25 \text{ g}$ de glace sèche à 0°C . Calculer la température d'équilibre.

II/B Seconde expérience

Dans un calorimètre parfaitement isolé de capacité thermique $C = 246 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, on place $m = 100 \text{ g}$ d'eau à la température $\theta = 18^\circ \text{C}$ en équilibre thermique avec le vase intérieur et une masse $m_g = 50 \text{ g}$ de glace sèche à 0°C . Déterminer la température d'équilibre. Quelle proportion de glace a fondu ?

III Stockage d'eau chaude

Une masse $m = 100 \text{ kg}$ d'eau chaude est stockée dans une cuve fermée de volume $V_0 = 200 \text{ L}$, 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 $T_0 = 60^\circ \text{C}$ passe à $T = 500^\circ \text{C}$.

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 :

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

- 1) Identifiez, sur le diagramme de CLAPEYRON, la courbe de rosée, la courbe d'ébullition, le point critique et les différentes phases dans lesquelles se trouve l'eau.
- 2) Montrez que pour un équilibre liquide-vapeur, on a :

$$x_g = \frac{m_g}{m_g + m_\ell} = \frac{v - v_\ell}{v_g - v_\ell}$$

où m_g représente la masse d'eau sous la forme vapeur, m_ℓ , la masse d'eau sous forme de liquide, v , le volume massique du mélange, v_g et v_ℓ , les volumes massiques des phases vapeur et liquide.

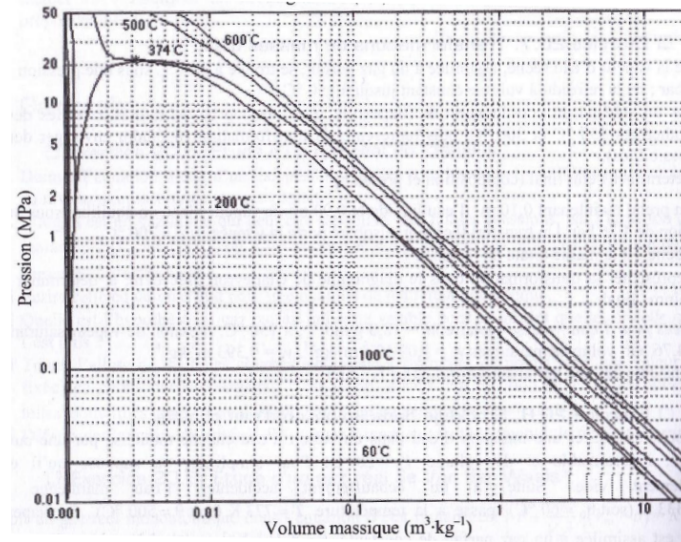


FIGURE 6.1 – Diagramme de CLAPEYRON (P, v) de l'eau. Plusieurs isothermes sont représentées pour des températures allant de 60 à 600 °C. Attention, les échelles sont logarithmiques.

- 3) En utilisant le diagramme de CLAPEYRON, déterminer la composition du mélange liquide-gaz initial.
- 4) Sous quelle forme trouve-t-on l'eau après l'échauffement accidentel? Déterminer la pression P correspondante. Commenter.
- 5) 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 $m_0 = 400$ g d'eau. Déterminer la pression finale et conclure.

IV Cycle de RANKINE

Un moteur fonctionne avec une masse m d'eau. Cette masse d'eau subit les transformations suivantes :

- ◇ AB : isotherme (A liquide saturant à T_1 et P_1 ; B à P_2) ;
- ◇ BC : échauffement réversible isobare qui amène l'eau à la température T_2 (C liquide saturant) ;
- ◇ CD : vaporisation totale sous la pression P_2 et à la température T_2 ;
- ◇ DE : détente adiabatique réversible jusqu'à la température T_1 ;
- ◇ EA : liquéfaction totale à la température T_1 .

La capacité thermique massique de l'eau liquide vaut $c_{\text{liq}} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Dans le tableau suivant, on donne les caractéristiques des points se trouvant sur la courbe de saturation aux pressions P_1 et P_2 .

	P (bar)	T (K)	v_l ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	v_g ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	h_l ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	h_g ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)
P_1	0,250	338,15	$1,02 \times 10^{-3}$	6,202	272,02	2618,4
P_2	1,208	378,15	$1,05 \times 10^{-3}$	1,419	440,17	2683,7

La variation d'entropie massique d'un liquide pour une transformation d'une température T_A à une température T_B s'exprime

$$\Delta s_{AB} = s_B - s_A = c_{\text{liq}} \ln \left(\frac{T_B}{T_A} \right)$$

La variation d'entropie massique lors d'un changement d'état est :

$$\Delta s = \frac{\Delta h}{T}$$

avec Δh la variation d'enthalpie massique lors du changement d'état et T la température du changement d'état.

- 1) Tracer l'allure de deux isothermes d'ANDREWS dans le diagramme de CLAPEYRON. On fera apparaître la courbe de saturation. Dessiner l'allure du cycle sur ce même diagramme.
- 2) a – Montrer que la variation $s_B - s_A$ est nulle.

- b – Exprimer $s_C - s_B$ en fonction de c_{liq} , T_1 et T_2 .
 - c – Exprimer $s_D - s_C$ en fonction de $h_g(T_2)$, $h_l(T_2)$ et T_2 .
 - d – Calculer $s_E - s_D$.
- 3) Énoncer le théorème des moments.
- 4) Soit x la fraction massique de vapeur en E. On admet que l'on peut appliquer le théorème des moments pour l'entropie. Déterminer x littéralement puis numériquement.
- 5) Calculer les transferts thermiques massiques échangés lors des transformations BCD et EA.
- 6) Déterminer le rendement du cycle. Application numérique.

V | Résolution de problème : coca-cola

Par une chaude journée d'été, vous avez oublié de mettre votre soda au frais. Combien de glaçons faut-il ajouter pour que sa température descende à 5°C ?