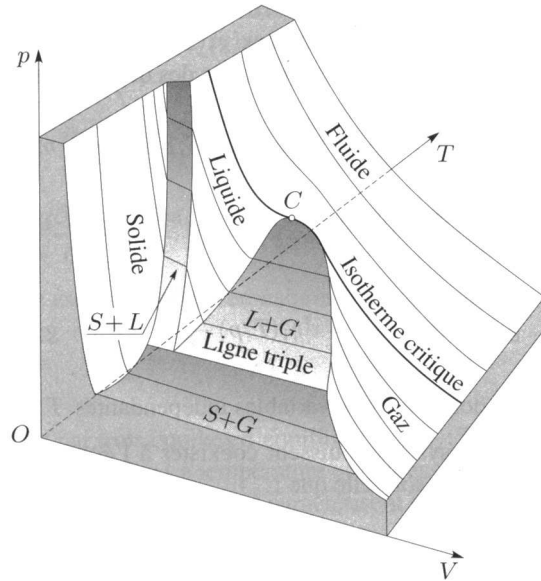


Changement d'état du corps pur



Exercice 1. Équilibre d'un corps pur sous deux phases.

Un corps pur peut exister sous trois phases différentes : solide, liquide ou vapeur.

- 1) Comment s'appellent les transitions de phase (ou changements d'état) liquide-vapeur, vapeur-liquide, solide-liquide, liquide-solide, solide-vapeur et vapeur-solide.
- 2) Quelle est la variance d'un corps pur monophasé ? d'un corps pur diphasé ?
- 3) Pour décrire complètement un corps pur sous deux phases, il est nécessaire d'introduire en plus d'un paramètre intensif (pression ou température), un paramètre décrivant la répartition de la matière entre les deux phases qui coexistent. Quelles sont les possibilités ?
- 4) Placer sur un diagramme (p, T) les trois courbes correspondant à l'équi-

libre monovariant du corps pur sous deux phases. Ces courbes séparent des domaines correspondant à l'équilibre divariant du corps pur sous une seule phase. Attribuer les lettres S pour solide, L pour liquide, V pour vapeur à ces domaines. La courbe d'équilibre liquide-vapeur se termine en un point C appelé point critique ; commenter. Quelle est la particularité du diagramme (p, T) de l'eau ?

5) Diagramme (p, v) de CLAPEYRON dans un domaine concernant une phase liquide pure, une phase vapeur pure ou un mélange diphasé liquide-vapeur. Donner l'allure d'une isotherme d'ANDREWS pour $T > T_C$. Même question pour $T < T_C$. Faire apparaître sur le diagramme la courbe d'ébullition, la courbe de rosée et la courbe saturation. Le mélange liquide vapeur est aussi appelé vapeur saturante ; comment s'appelle la pression d'équilibre liquide-vapeur ?

6) On considère une isotherme d'ANDREWS $T < T_C$. Soit L le point d'intersection de l'isotherme avec la courbe d'ébullition, V le point d'intersection avec la courbe de rosée et M un point situé entre L et V . Montrer que le titre massique en vapeur peut s'écrire

$$x_V = \frac{v - v_L}{v_V - v_L} = \frac{LM}{LV}$$

Exercice 2. Enthalpie et entropie de transition de phase.

Pour une transition de phase $1 \rightarrow 2$, on appelle enthalpie massique de transition de phase $h_{1 \rightarrow 2}(T)$ à la température T la différence des enthalpies massiques du corps pur dans la phase 2 et dans la phase 1, à la même température T et à la pression d'équilibre des deux phases $p = \Pi(T)$:

$$h_{1 \rightarrow 2}(T) = h_2(T) - h_1(T)$$

De même pour l'entropie massique de transition de phase :

$$s_{1 \rightarrow 2}(T) = s_2(T) - s_1(T)$$

- 1) Montrer que l'enthalpie massique de transition de phase $1 \rightarrow 2$ est égale au transfert thermique Q nécessaire pour faire passer réversiblement un kg

de corps pur de la phase 1 à la phase 2, en maintenant la température T constante et la pression $p = \Pi(T)$ constante.

2) Montrer alors que :

$$s_{1 \rightarrow 2} = \frac{h_{1 \rightarrow 2}}{T}$$

3) Établir les expressions des variations de h et s (entre deux états d'un mélange diphasé à la même température) en fonction du titre x_2 :

$$dh = h_{1 \rightarrow 2} dx_2 \quad \text{et} \quad ds = \frac{h_{1 \rightarrow 2}}{T} dx_2$$

Exercice 3. Détente d'une vapeur d'eau dans une machine à vapeur.

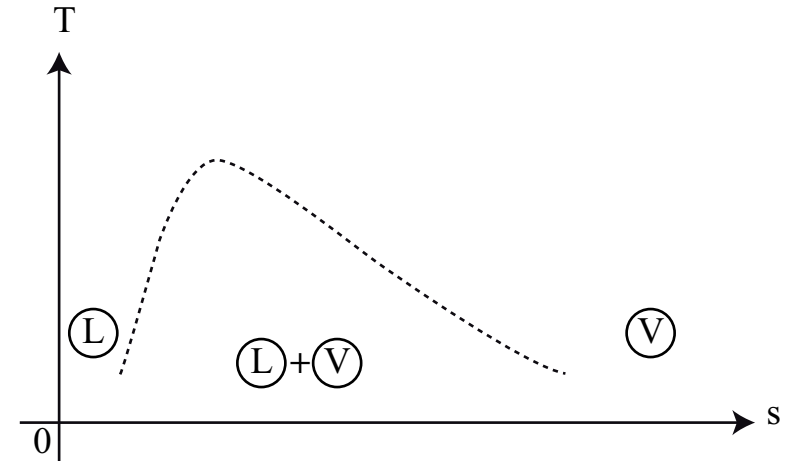
Dans un cycle de machine à vapeur, la phase motrice est une détente de la vapeur d'eau dans un cylindre fermé par un piston mobile. Cette détente est suffisamment rapide pour que les transferts thermiques n'aient pas le temps d'être quantitatifs : nous supposons donc la détente adiabatique. Pour simplifier, nous la supposons aussi réversible, ce qui suppose notamment que les frottements sont négligeables. L'état initial correspond à une vapeur saturante sèche à la température $T_1 = 485K$ et à la pression $p_1 = \Pi(T_1) = 20bars$. L'état final correspond à une vapeur saturante à la température $T_2 = 373K$ et à la pression $p_2 = \Pi(T_2) = 1bar$.

1) Déterminer le titre en vapeur x_{V_2} dans l'état final en utilisant la table thermodynamique.

		liquide juste saturé $x_V = 0$			vapeur saturante sèche $x_V = 1$		
T	p	v_L	h_L	s_L	v_V	h_V	s_V
K	bar	$m^3.kg^{-1}$	$kJ.kg^{-1}$	$kJ.K^{-1}.kg^{-1}$	$m^3.kg^{-1}$	$kJ.kg^{-1}$	$kJ.K^{-1}.kg^{-1}$
485	20	$1,18.10^{-3}$	909	2,45	0,0998	2801	6,35
373	1	$1,04.10^{-3}$	418	1,30	1,70	2676	7,36

2) Retrouver le résultat précédent à partir des enthalpies de vaporisation $l_1 = 1892kJ.kg^{-1}$ à $T_1 = 485K$ et $l_2 = 2258kJ.kg^{-1}$ à $T_2 = 373K$ et de la capacité thermique massique de l'eau $c = 4,18kJ.K^{-1}.kg^{-1}$.

On raisonnera sur le diagramme Ts suivant :



Exercice 4. Détente de Joule-Kelvin du fréon dans une machine frigorifique.

Dans une machine frigorifique, du fréon subit une détente de JOULE-KELVIN de l'état A à l'état B. x désignant le titre en vapeur, on donne $T_A = 303K$, $p_A = \Pi(T_A) = 7,5bars$, $x_A = 0$ et $T_B = 263K$, $p_B = \Pi(T_B) = 2,2bars$, l'enthalpie de vaporisation à $T = 263K$ notée $l_{263} = 159kJ.kg^{-1}$ et la capacité thermique massique du fréon liquide $c = 0,96kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ supposée indépendante de la température. Calculer le titre massique en vapeur x_B dans l'état final et la variation d'entropie massique du fluide Δs_{AB} .