

Un dispositif de cylindre avec piston et des buttoirs contient initialement 0.3kg de vapeur à 1 MPa et 400°C, les buttoirs sont disposés à 60 % du volume initial, la vapeur est refroidie. Déterminer a) le travail de compression à l'état final de 1 MPa et 250°C, b) à 0.5MPa, c) la température finale du point b)

a) (V. chap 4 et graphiques ci-dessous, TFS p. 129 & ss.) Dans la situation initiale 1, on a de la vapeur surchauffée, la température de vapeur saturante à 1 MPa est de 180 °C, inférieure à la température finale 2 de compression. On n'a donc que du gaz

Les valeurs du point critique de l'eau sont $T_{cr}=647^{\circ}\text{K}$, $P_{cr}=22\text{ MPa}$ $V_{sp.cr}= 0.056\text{ m}^3/\text{kmol}$, la pression réduite $P_r = P / P_{cr} \approx 0$ et $T_r = T / T_{cr} \approx 1$, le facteur de compressibilité $Z = \frac{PV}{RT}$ est proche de 1, V pris pour volume molaire.

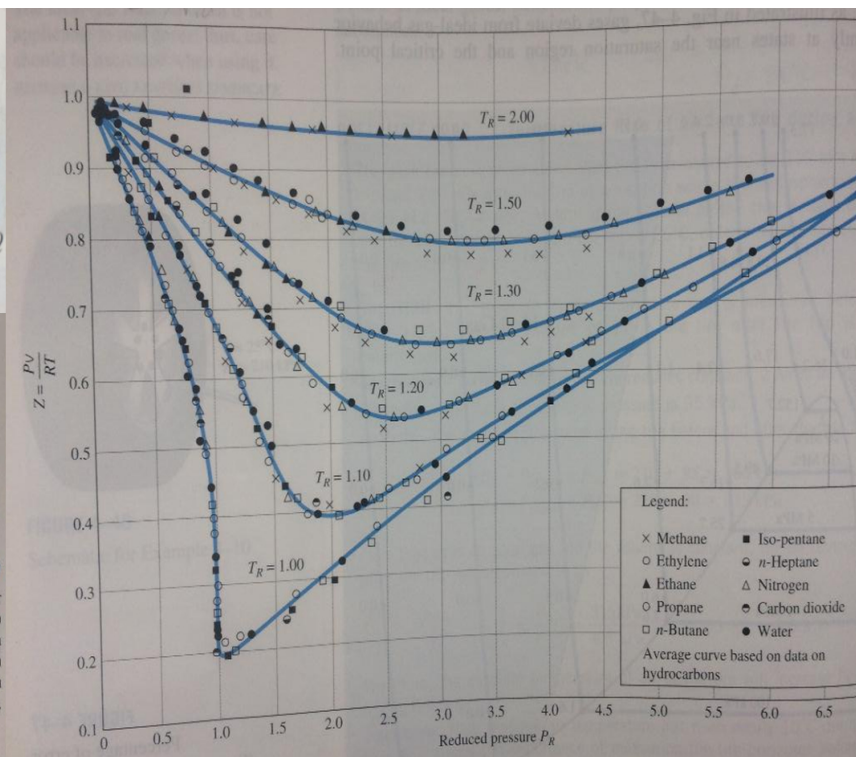
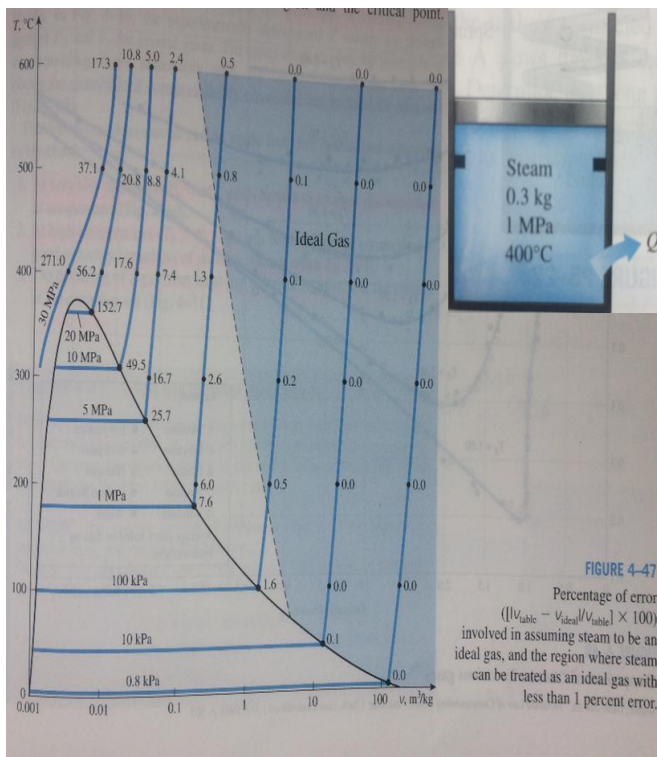
On peut supposer que la vapeur se trouve dans la condition du gaz idéal. Alors $V_1 \equiv \frac{mR_u T_1}{M_{eau} P_1} = 0.0930\text{ m}^3$.

Le volume massique est proche de $0.3\text{ m}^3/\text{kg}$. On se trouve à la limite de la condition idéale avec une précision proche de 1%, en effet, la valeur obtenue par la table A-6 pour $P=1\text{MPa}$ à 400°C et 0.3kg est de $V_{th/exp/1} = 0.0919\text{ m}^3$. (différence de 1.1%, 1.3 sur le graphique) résultat à interpréter..

Le processus de compression n'étant pas adiabatique, le gaz est refroidi par évacuation de chaleur et abaissement de la température de 400°C à 250°C, on a : $-Q-W=dU$, $-Q=W+dU=dH=m\text{ cp }dT$. La pression reste constante durant l'évolution quasi-statique (dans ce cas compensée uniquement par la pression du piston et de P_{atm}).

Le volume ne dépend donc que de la température. $V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = 0.0724\text{ m}^3$ et $W = P \Delta V = -20.8\text{ KJ}$

graphiques d'erreur relative du volume spécifique, schéma de l'exercice, facteurs de compressibilité



b) $P_3 = 500 \text{ kPa}$ $W = ?$ c) $T_3 = ?$

Dans cette 3ème situation, on a deux inconnues la température et le volume variables dans le même sens que la pression, du moins jusqu'à la courbe de saturation à 151.83 °C . A cette température, le Volume est de 0.118 m^3 , donc plus que le volume initial....

Dans la situation 2, le cylindre était encore au-dessus des buttoirs, le volume final à 78 % du volume initial. Etant donné que l'on a deux inconnus, on peut déterminer le volume dans la mesure où on peut montrer qu'il ne peut être au dessus de 60 % du volume initial (0.056 m^3). Des calculs de la température au volume final hypothétique de 78 et 60 % et du volume hypothétique à la température hypothétique correspondante peuvent éventuellement nous fournir des informations utiles.

$$T_{3butP3} = \frac{MP_3V_2}{mR_u} = 261.25 \text{ °K} = -11.9 \text{ °C}$$

$$T_{3butP3} = \frac{MP_3V_{but}}{mR_u} = 201.35 \text{ °K} = -71.8 \text{ °C}$$

$$V_{-11.9^\circ\text{C}} = \frac{mR_uT_{hyp3}}{M_{eau}P_3} = 0.115\text{m}^3.$$

$$V_{-72^\circ\text{C}} = \frac{mR_uT_{\ll hyp3}}{M_{eau}P_3} \ll 0.056\text{m}^3.$$

Dans le premier cas, on aurait un volume supérieur au volume initial ce qui serait contradictoire avec le processus de refroidissement, le volume doit diminuer et dans le deuxième un volume inférieur au volume de butée. Comme la pression en situation 3 est inférieure à $P_1 = P_2$, le volume ne peut être plus grand que V_2 et donc la température supérieure à -12°C . A 0.5 MPa , la vapeur est saturée en dessous de 152 °C , comme la température est supposée inférieure à 0°C , on a nécessairement un phénomène de condensation de vapeur en eau, voire congélation, ce qui signifie que le volume que devrait occuper la vapeur est celui de la masse de glace à moins de 12°C .

A cette température, la pression de saturation de glace-vapeur d'eau est de 0.22 kPa (table A-22) ce qui est bien inférieur à 500 kPa , donc la vapeur est quasi totalement comprimée sous forme liquide et le volume occupé est d'environ :

$$0.3\text{kg} \equiv \mathbf{0.0003\text{m}^3} \lll 0.056\text{m}^3$$

Le volume de butée est donc le volume à P de 500 MPa et la température de -72 °C .

$$\text{Considérons le travail moyen : } \bar{W} = \frac{P_3 + P_1}{2} * (V_{but} - V_1) = \mathbf{-27.75\text{KJ}}$$