Corrigé exercice 3 : MACHINES THERMIQUES

3 Étude d'une transformation du fluide R728 dans le diagramme des frigoristes

On peut voir sur la Figure 1 une partie du diagramme $(\ln P, h)$ *du fluide R728, dans le domaine où ce fluide est gazeux. Les températures sont en °C, les volumes massiques en* $m^3.kg^{-1}$ *et les entropies massiques en* $kJ.K^{-1}.kg^{-1}$.

1. *Dans quelle partie du diagramme le gaz se comporte-t-il comme un gaz parfait ? Montrer que la pente des isentropiques est positive.*

   Le gaz se comporte comme un gaz parfait lorsque la pression devient faible. Dans ce cas, l'enthalpie massique ne dépend plus que de la température et $h = h(T)$ d'après la seconde loi de Joule. Les isothermes deviennent alors des droites verticales : cela est réalisé dans la partie la plus basse du diagramme.

   Pour la pente des isentropiques, on utilise la seconde identité thermodynamique. Entre deux états d'équilibre très voisins, on a :

   $$\mathrm{d}h = T\mathrm{d}s + v\mathrm{d}P = v\mathrm{d}P \text{ si } \mathrm{d}s = 0$$

   Comme $v > 0$ (volume massique), si h croît, alors P croît.

2. *Évaluer la capacité thermique massique à pression constante du fluide du fluide pour* P = *1,0 bar en la supposant constante sur tout le domaine de température étudié. Sachant qu'il s'agit d'un gaz diatomique, évaluer sa masse molaire et en déduire la nature du fluide R728.*

   On lit sur le diagramme sur l'isobare $P = 1$ bar par exemple : pour $T_1 = -\,180$°C, $h_1 = 300$ kJ.kg^{-1} et pour $T_2 = 100$°C, $h_2 =$

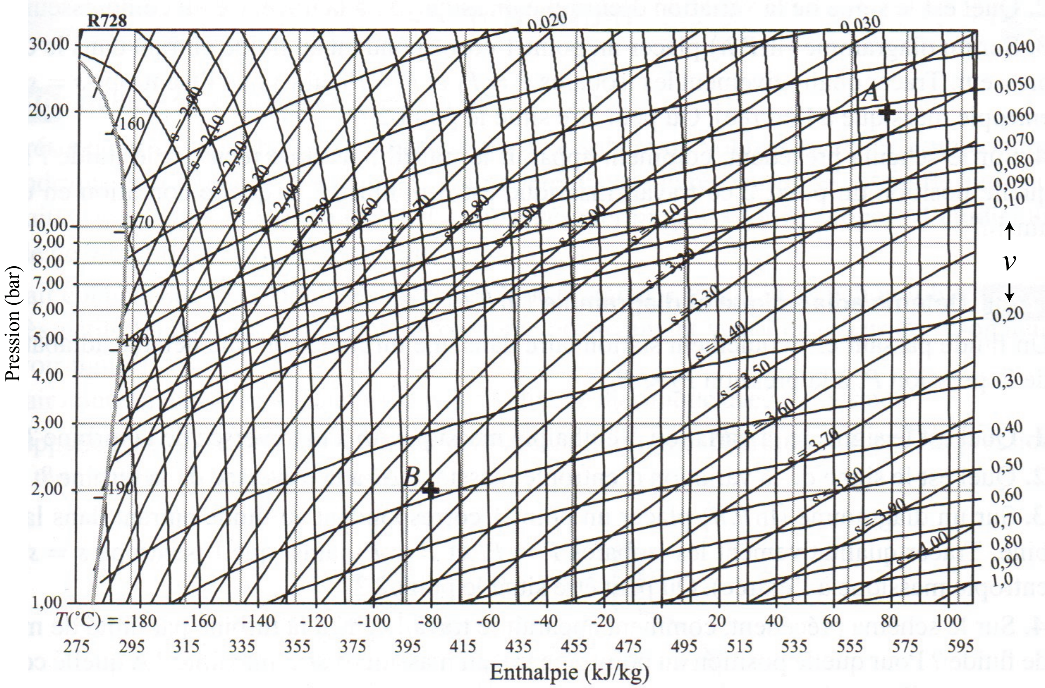

FIGURE 1 – Extrait du diagramme $(h,\ln P)$ du fluide R728

590 kJ.kg^{-1}. En admettant que la capacité thermique massique c_P est indépendante de T, on en déduit :

$$\boxed{c_P = \frac{h_2 - h_1}{T_2 - T_1} = \frac{590 - 300}{100 + 180} = 1{,}03 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}}$$

Pour un gaz parfait diatomique de masse molaire M :

$$c_P = \frac{7R}{2M}$$

On peut donc calculer la masse molaire :

$$\boxed{M = \frac{7R}{2c_P} = 0{,}0028 \text{ kg.mol}^{-1}}$$

Il s'agit donc de la masse molaire du diazote N_2.

3. *On considère maintenant une transformation du fluide entre les états A et B représentés sur la figure précédente, par écoulement stationnaire à travers une machine thermique.*

   Cette transformation se fait dans une tuyère horizontale, adiabatique et ne contenant aucune pièce mécanique mobile. Évaluer :

   a) *la vitesse du gaz à la sortie de la tuyère sachant que la vitesse à l'entrée est quasiment nulle.*

   On applique le premier principe industriel entre l'entrée et la sortie de la tuyère (une tuyère est une des rares machines où on ne néglige pas les variations d'énergie cinétique macroscopique). En bilan massique cela donne :

$$h_B - h_A + \frac{c_B^2 - c_A^2}{2} + g\left(z_B - z_A\right) = w_u + q$$

   Or la tuyère est adiabatique ($q = 0$) et ne contient aucune pièce mobile ($w_u = 0$). Elle est horzontale ($z_A = z_B$) et on néglige la vitesse du gaz à l'entrée ($c_A \approx 0$). On a donc :

$$\boxed{h_B - h_A + \frac{c_B^2}{2} = 0 \quad \text{d'où} \quad c_B = \sqrt{2\left(h_A - h_B\right)} \approx 18 \text{ m.s}^{-1}}$$

   b) *L'entropie créée par unité de masse de gaz entrant dans la tuyère.*

   On fait un bilan d'entropie massique entre l'entrée et la sortie de la tuyère :

$$s_B - s_A = s_{\text{éch}} + s_{\text{créée}}$$

   Comme il n'y a pas d'entropie échangée (adiabatique), on en déduit que :

$$\boxed{s_{\text{créée}} = s_B - s_A = 0{,}07 \text{ kJ.K}^{-1}\text{.kg}^{-1}}$$