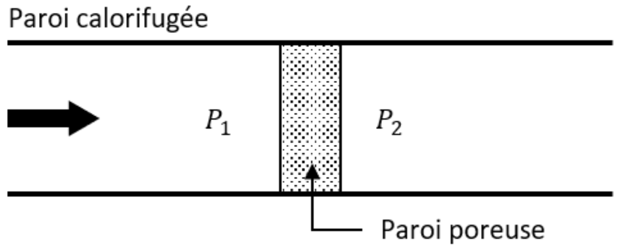
Détente de Joule Kelvin

On considère un écoulement en régime stationnaire qui passe à travers une paroi poreuse, sous l'effet d'une différence de pression : P_1 en amont de la paroi et P_2 en aval.

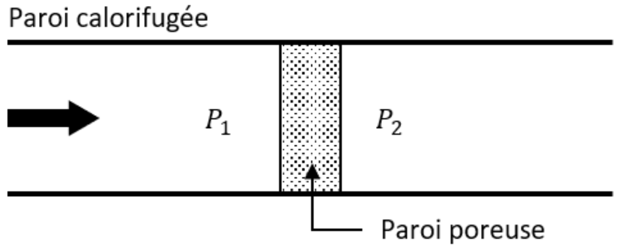


On indice par 1 les grandeurs en amont et par 2 en aval. On néglige les variations d'énergie potentielle du fluide. On note $\Delta Y = Y_2 - Y_1$ la variation d'une grandeur Y entre l'aval et l'amont de la paroi.

1) Montrer qu'en régime stationnaire, le débit massique est constant dans tout le tuyau.

Correction

On note Σ un système ouvert englobant la paroi, δm_e la masse entrante dans Σ pendant l'intervalle de temps dt et δm_s la masse sortante de Σ pendant l'intervalle de temps dt.



On note : $\Sigma^*(t) = \{\Sigma + \delta m_e\}$ et $\Sigma^*(t+dt) = \{\Sigma + \delta m_s\}$ un système fermé aux instants t et $t + dt$.

Par conservation de la masse : $m(\Sigma^*)$ est constant. De plus, l'écoulement étant stationnaire, $m(\Sigma)$ est constant dans le temps. On en déduit : $\boxed{\delta m_e = \delta m_s}$.

2) Montrer que $\Delta (h + e_c) = 0$. Dans quelles conditions retrouve-t-on une détente isenthalpique ? On se place dans ce cas par la suite.

Correction

On applique le premier principe à Σ^* pendant l'intervalle de temps dt.

$$d(u + e_c + e_p) = -Pdv + w_u + q$$

Or : $q = 0$ par parois calorifugées ; $w_u = 0$ par pas de pièces mobiles ; $de_p = 0$ par hypothèse. Ainsi,

$$d(u + e_c +) = -Pdv \quad \Rightarrow \quad d(h + e_c) = 0$$

Or, pour toute grandeur additive y, on a :

$$dy = y_{\Sigma^*(t+dt)} - y_{\Sigma^*(t)} = \underbrace{y_{\Sigma(t+dt)} - y_{\Sigma(t)}}_{=0} + y_2 - y_1 = \Delta y$$

On en déduit :

$$\boxed{\Delta (h + e_c) = 0}$$

La détente est isenthalpique lorsqu'on peut négliger les variation d'énergie cinétique.

3) Que peut-on en déduire pour un gaz parfait ? Une phase condensée incompressible ?

Correction

Pour un gaz parfait la température est constante ou une phase condensée incompressible, on en déduit que la température est constante car :

$$\Delta H = C_p \Delta T = 0$$

Soit un gaz réel monoatomique d'équation d'état :

$$P(V_m - b) = RT$$

où V_m est le volume molaire, et d'énergie interne molaire :

$$U_m = \frac{3}{2} RT$$

subit une détente isenthalpique dans ce dispositif.

4) Exprimer b en fonction des pressions et températures en amont et en aval. Quel est l'intérêt du dispositif ?

Correction

L'enthalpie molaire vaut :

$$H_m = U_m + PV_m$$

Ainsi,

$$\Delta H_m = 0 = \Delta\left(U_m + PV_m\right) = \Delta\left(U_m + bP + RT\right) = \Delta\left(\frac{5}{2}RT + bP\right)$$

On en déduit :

$$\boxed{b = -\frac{5R}{2} \times \frac{\Delta T}{\Delta P}}$$

On a forcément $\Delta P < 0$ pour que l'écoulement aille de gauche à droite. Selon le signe de b, on peut donc soit chauffer un gaz ($b > 0$), soit le refroidir ($b < 0$) à l'aide de cette détente.