

Niveau: L2

Prérequis: * Principes de la thermo

* 1^{er} Principe industriel

* Machines thermiques

* Détente Joule-Kelvin, Gay-Lussac

* Milieu magnétique

* Loi de Curie

Intro: Prochine des basses températures, donc inférieures à 30K, est un enjeu technique et fondamental.

A P_{atm} et à bas T , O_2 , N_2 , H_2 sont liq. ce qui permet d'en transporter en $\oplus$ grande quantité.

Prochine des champs intenses macroscopiques se fait via des supra dans lesquels les courants qui transitent sont énormes, il faut donc les refroidir.

I) Liquefaction des gaz: enjeu du diazote

1) Détente de J-K: nécessité d'un gaz réel

4. DÉTENTE DE JOULE-THOMSON

Pour voir si un gaz obéit à la deuxième loi de Joule faisons-lui subir la détente de Joule-Thomson (fig. 7). Un réservoir R de gaz comprimé débite dans un tube calorifugé par l'intermédiaire d'un détendeur D permettant de régler la pression P_1 à l'entrée. On oblige le gaz à traverser un milieu poreux M (coton, verre fritté, etc...); par effet de viscosité la pression diminue de façon continue

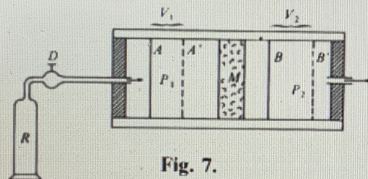


Fig. 7.

pendant que le gaz se déplace dans M vers le compartiment de droite où la pression est P_2 (qui peut être la pression atmosphérique extérieure dans le cas où on laisse le gaz s'échapper à l'air libre). On laisse s'établir un régime

cf BFR

1^{er} principe en écoulement : $\dot{D}_m (\Delta h + \cancel{\Delta e_c} + \cancel{\Delta e_p}) = \dot{q} + \cancel{\dot{w}_a}$

$\Delta h = 0$: détente isenthalpique

Or, pour un Gaz Parfait : $h = h(T) \leadsto$ pas de refroidissement possible.

2) Refroidissement d'un gaz réel

Observons ce qu'il en est pour un gaz réel.

On a l'équation d'état de Van der Waals : $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = nRT$

où l'on donne : $U = nC_V T - \frac{an^2}{V}$

Alors : $H = U + PV = nC_V T - \frac{an^2}{V} + PV$

et $PV - nbP + \frac{n^2 a}{V} - \frac{n^3 b a}{V^2} = nRT$

$PV \simeq nRT + nbP - \frac{n^2 a}{V}$ à l'ordre le plus bas en a, b

$$P^2 V^2 \simeq PV nRT + nbP(PV) - n^2 a P = PV(nRT + nbP) - n^2 a P$$

$$P^2 V^2 \simeq PV nRT + nbP(PV) - n^2 a P = PV(nRT + nbP) - n^2 a P$$

$$\Delta = (nRT + nbP)^2 - 4n^2 a P \simeq (nRT)^2 + 2n^2 RTbP - 4n^2 a P$$

$$\simeq (nRT)^2 \left(1 + 2P \left(\frac{b}{RT} - \frac{2a}{(RT)^2}\right)\right)$$

$$PV \simeq \frac{nRT + nbP \pm \sqrt{\Delta}}{2}$$

$$PV \simeq \frac{nRT + nbP}{2} + \frac{nRT}{2} \left(1 + P \frac{b}{RT} - \frac{2aP}{(RT)^2}\right)$$

$$PV \simeq nRT + nbP - \frac{naP}{RT}$$

d'où : $H = nC_v T - \frac{a n^2}{V} + nRT + b n P - \frac{n a T}{RT}$

$$H = nC_v T + nRT + b n P - \frac{n a P}{RT} - \frac{a n P}{RT}$$

$$H = n(C_v + R)T + b n P - \frac{2 a n P}{RT}$$

Diapo

dans de la détente de Joule-Kelvin : $dH = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T dP = 0$

Soit : $dT = - \frac{\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T}{\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P} dP$

On a :
$$\begin{cases} \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T = b n - \frac{2 a n}{RT} \\ \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = n(C_v + R) + \frac{2 a n}{RT^2} \end{cases}$$

$$dT = \frac{\frac{2 a n}{RT} - b n}{n(C_v + R) + \frac{2 a n}{RT^2}} dP$$

$$dT = \frac{2 a - b R T}{R T(C_v + R) + \frac{2 a}{T}} dP$$

On a $dP < 0$ lors de la détente donc $2a - bRT > 0$
 si on veut un refroidissement : $T_i < \frac{2a}{bR}$

Pour le diazote :
$$\begin{cases} b = 3,91 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \\ a = 1,408 \cdot 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2} \\ R = 8,3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \end{cases} \rightarrow T_i = 870 \text{ K}$$

 Pour l'hélium, $T_i(\text{He}) \approx 40 \text{ K}$
 j'ai trouvé 700 K dans la littérature

de but état d'avoir des températures de l'ordre de la dizaine de K, on est largué à $T < T_i(N_2)$.

Pour $\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{initial}} \sim 0^\circ\text{C} \sim 273\text{K} \\ \Delta P \sim 10\text{ bar} \sim 10^6\text{ Pa} \end{array} \right\} \rightarrow \Delta T \approx (\dots) \Delta P$

$$C_v(N_2) = 1042 \times 28 \cdot 10^{-3}$$

$$C_v = 29 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta T \approx -1,3 \text{ K}$$

$\rightarrow \frac{\Delta T}{T} \ll 1$ à cette T_{init}
donc pas besoin d'intégrer

3) Utilisation d'un cycle

On arrive à réduire la température du gaz de 1,3K, ce qui est peu à 273K, donc l'idée est de réutiliser ce gaz refroidi et de décimer des cycles (cycle de Linde)

ne fonctionne bien
donc que si
 T est déjà
proche de T_f ...

