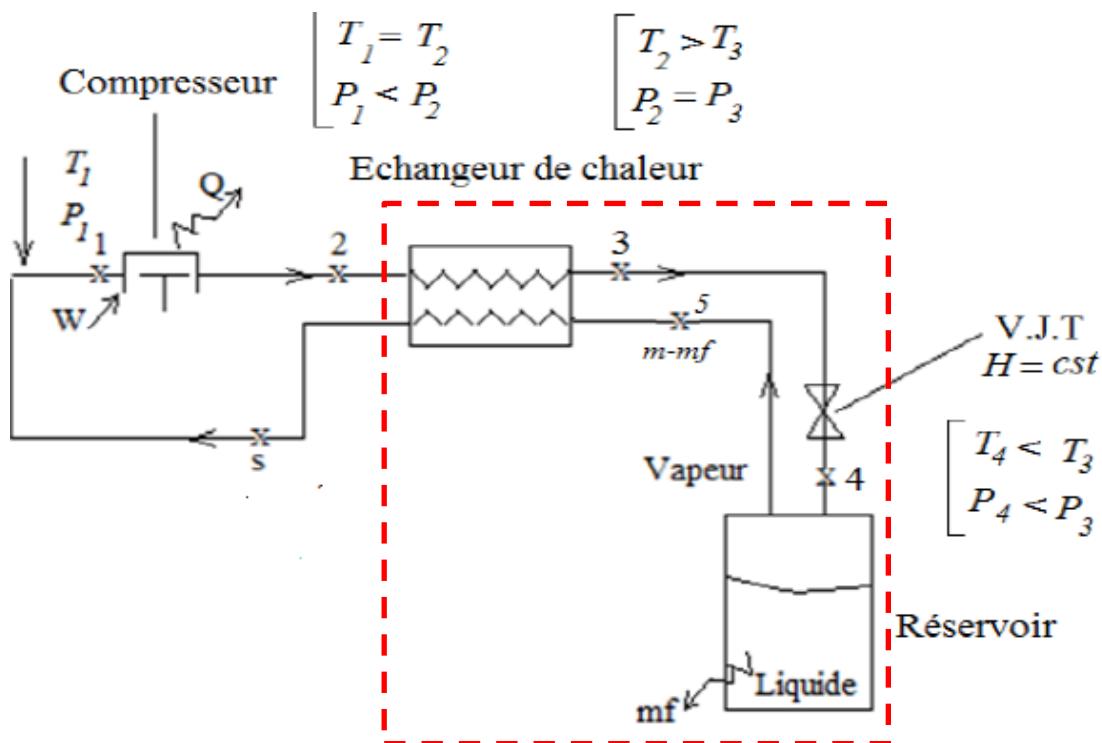


## 2.2 Liquéfaction par détente Joule-Thomson

### 2.2.1 Procédé de Linde simple :

historiquement, le système Linde-Hampson était le deuxième utilisé pour liquéfier les gaz (le système en cascade était le premier); bien qu'il soit le plus simple de tous les systèmes de liquéfaction.

afin d'analyser les performances du système, supposons des conditions: pas de chute de pression irréversible (sauf pour le détendeur), pas de fuite d'air ambiant, échangeur de chaleur 100% efficace.



- le gaz est d'abord comprimé des conditions ambiantes au point 1 de façon réversible et isotherme au point 2.
- le gaz passe ensuite à travers un échangeur de chaleur à pression constante (idéalement) dans lequel il échange de l'énergie avec le flux basse pression sortant jusqu'au point 3.
- du point 3 au point 4, le gaz se détend à travers un détendeur jusqu'à  $p_4 = p_1$

- au point 4, une partie du flux gazeux est à l'état liquide et est à l'état tiré (état liquide saturé), et le reste du gaz quitte le réservoir de liquide à l'état g (état vapeur saturée).
- ce gaz froid est enfin réchauffé à la température initiale en absorbant l'énergie à pression constante (idéalement) du flux haute pression entrant.

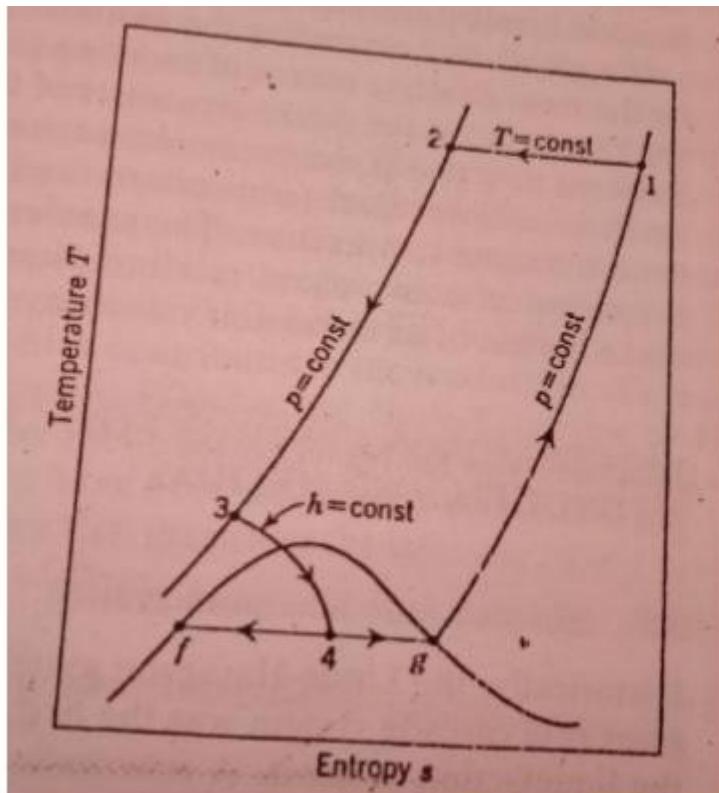


Diagramme TS du procédé de LIND Hampson à colonne simple.

➤ **La fraction liquide y :**

$$\text{Bilan energetique : } \dot{m}h_2 - \dot{m}_f h_f - \dot{m}_g h_1 = 0$$

$$\begin{aligned} \dot{m}h_2 - \dot{m}_f h_f - (\dot{m} - \dot{m}_f)h_1 &= 0 \Rightarrow \dot{m}h_2 - \dot{m}h_1 - \dot{m}_f h_f + \dot{m}_f h_1 = 0 \\ \Rightarrow \dot{m}(h_2 - h_1) &= \dot{m}_f(h_f - h_1) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}} = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_f - h_1)} = y$$

➤ **Le travail spécifique  $w_0$  par kg :**

Selon le premier principe

$$q + w = \Delta h - \Delta e_p + \Delta e_c \quad \Delta e_p = \Delta e_c = 0$$

$$\Rightarrow q + w = \Delta h = (h_2 - h_1) \quad \text{mais } q = T_c(s_2 - s_1)$$

Donc

$$w = (h_2 - h_1) - T_c(s_2 - s_1) \Rightarrow w = T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)$$

$$w_0 = \frac{w}{y} = \frac{[T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)] \times (h_1 - h_f)}{(h_1 - h_2)}$$

➤ (figure of merit) FOM

$$w_{min} = T_c(s_1 - s_f) - (h_1 - h_f) \quad \Rightarrow \quad$$

$$FOM = \frac{w_{min}}{w_0}$$

Exercice

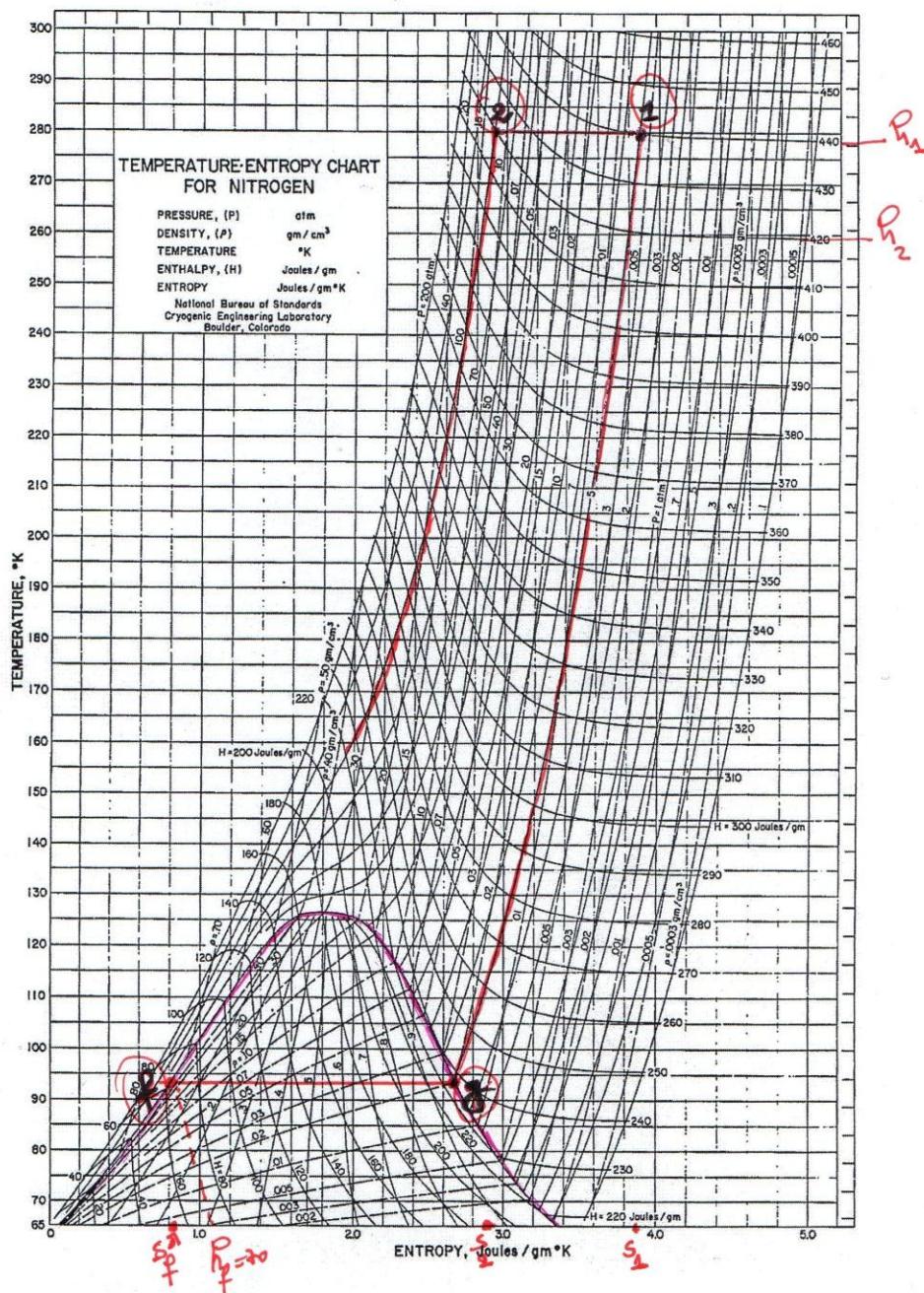
Soit le procédé de Linde –Hampson qui utilise le Nitrogen N<sub>2</sub> comme fluide de travail entre (5atm, 280K) et 100atm

Determiner :

- La fraction liquide
- Le travail spécifique
- Le facteur de mérite FOM.

Solution

Du graphe de N<sub>2</sub> on peut tirer les valeurs suivantes



$h(J/g)$	$S(J/gK)$
$h_1 = 440$	$S_1 = 3.82$
$h_2 = 419$	$S_2 = 2.95$
$h_f = 70$	$S_f = 0.81$

➤ **La fraction liquide**

$$\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}} = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_f - h_1)} = y = \frac{(419 - 440)}{(70 - 440)} = 0.0567$$

➤ **Le travail spécifique**

$$w_0 = \frac{w}{y} = \frac{[T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)] \times (h_1 - h_f)}{(h_1 - h_2)}$$

$$\begin{aligned} w_0 &= \frac{w}{y} = \frac{[T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)] \times (h_1 - h_f)}{(h_1 - h_2)} \\ &= \frac{[280(3.82 - 2.95) - (440 - 419)] \times (440 - 70)}{(440 - 419)} \end{aligned}$$

$$w_0 = 3926.03 [J/g]$$

$$w_{min} = T_c(s_1 - s_f) - (h_1 - h_f) = 280(3.82 - 0.82) - (440 - 70)$$

$$w_{min} = 470 J/g$$

➤ **FOM**

$$FOM = \frac{w_{min}}{w_0} = \frac{470}{3926.03} = 0.11$$