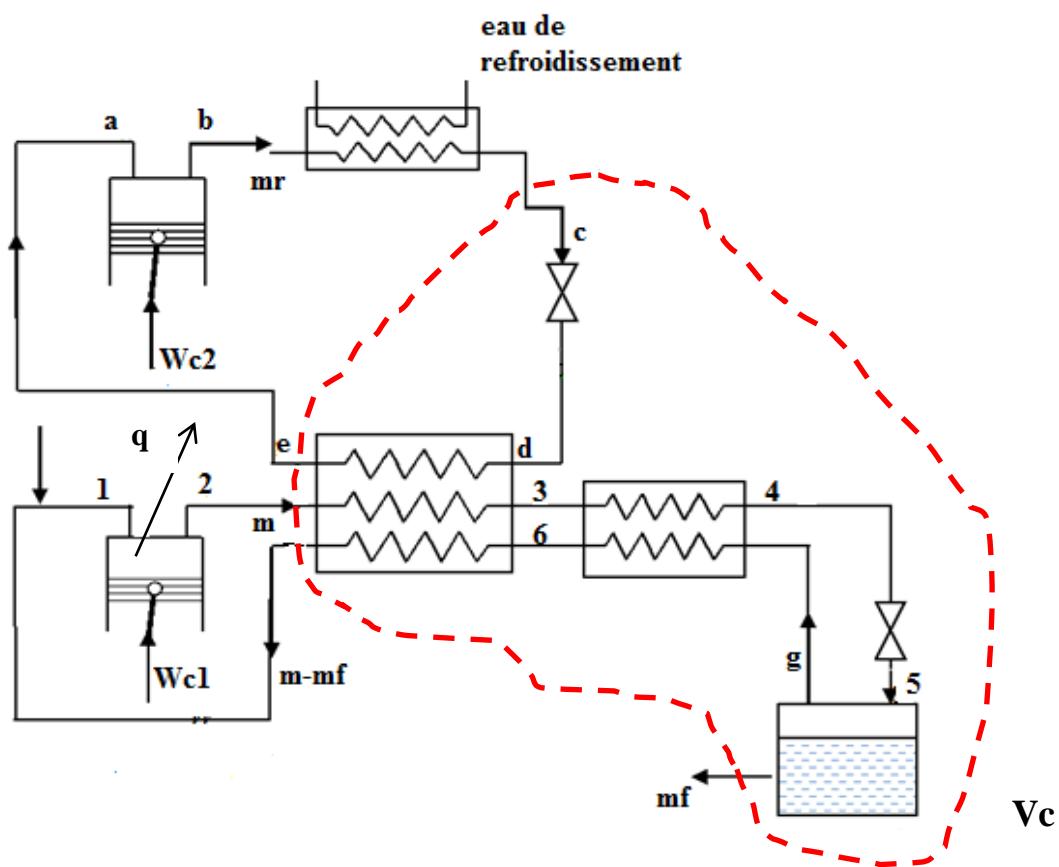


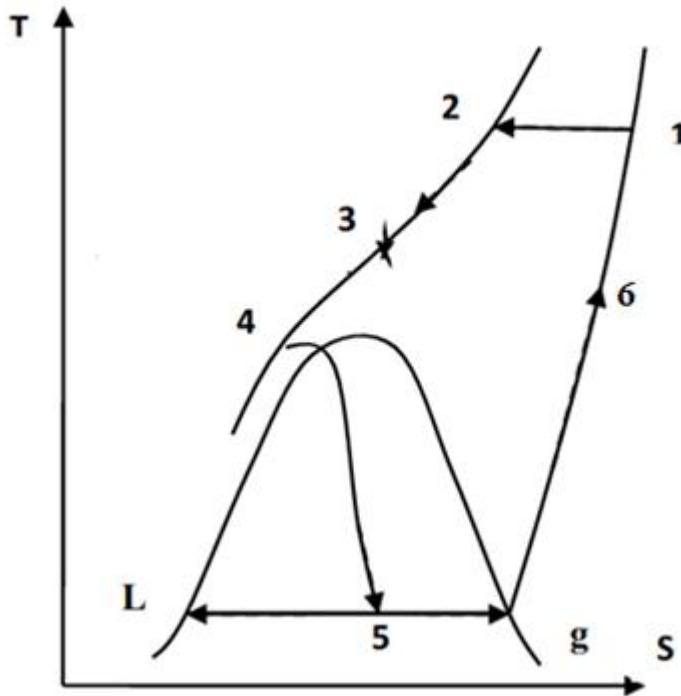
2.2.2 Procédé de Linde avec refroidissement préalable du gaz de travail

Il est évident que les performances d'un système Linde - Hampson pourraient être améliorées s'il était modifié de sorte que le gaz entre dans l'échangeur de chaleur à une température inférieure à la température ambiante.

Un tel système modifié est illustré sur la figure et le cycle est représenté sur le diagramme T-s. Un système de réfrigération séparé utilisant un fluide tel que le dioxyde de carbone CO₂, de l'ammoniac (NH₃) ou un composé de fréon est utilisé pour refroidir le courant de gaz principal.



Pour un échangeur de chaleur efficace à 100%, la température aux points 3 et 6 est la même.



Le bilan énergétique

➤ **La fraction liquide y :**

Bilan energetique :

$$\dot{m}h_2 + \dot{m}_r h_c - \dot{m}_f h_f - (\dot{m} - \dot{m}_f)h_1 - \dot{m}_r h_a = 0 \Rightarrow \dot{m}_r(h_c - h_a) + \dot{m}(h_2 - h_1) - \dot{m}_f(h_f - h_1) = 0$$

En divisant l'ensemble par \dot{m}

$$\frac{\dot{m}_r}{\dot{m}}(h_c - h_a) + (h_2 - h_1) - \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}}(h_f - h_1) = 0$$

On pose :

$$\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}} = y \quad \text{et} \quad \frac{\dot{m}_r}{\dot{m}} = r$$

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

➤ **Le travail spécifique w_0**

On appliquant le premier principe sur les deux compresseurs :

- Compresseur isotherme irreversibile ($\dot{W}1$)
- Compression isentropique ($\dot{W}2$)

$$\dot{W}_1 = \dot{m}[T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)]$$

Pour le deuxième compresseur

$$\dot{W}_2 = \dot{m}_r(h_b - h_a)$$

$$\dot{W} = \dot{W}_1 + \dot{W}_2$$

$$\dot{W} = \dot{m}[T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)] + \dot{m}_r(h_b - h_a)$$

$$w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} = T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2) + \frac{\dot{m}_r}{\dot{m}}(h_b - h_a)$$

$$w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} = T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2) + r(h_b - h_a)$$

La fraction liquifiée

$$w_0 = \frac{w}{y} = \frac{[T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)] + r(h_b - h_a)}{\frac{(h_2 - h_1)}{(h_f - h_1)} + r \frac{(h_c - h_a)}{(h_f - h_1)}}$$

➤ **(figure of merit) FOM**

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

Exercice

Déterminer la fraction liquide, le travail spécifique et le facteur de mérite pour le procédé de Linde simple ainsi que pour le procédé de Linde avec pré refroidissement.

Ce procédé utilise N₂ comme fluide de travail et le fréon 12 comme réfrigérant.

Le nitrogène opère entre (1atm, 300K) et 200atm

Le F₁₂ aux points :

a : vapeur surchauffée à 0.1 MPa et 20 °C

b : vapeur surchauffée à 0.7MPa et 100°C

c : liquide saturé à 28°C

r = 0.1

Solution :

Pour le réfrigérant

| Points | P(MPa) | T (°C) | h (kJ /kg) |
|--------|--------|--------|------------|
| a | 0.1 | 20 | 203.85 |
| b | 0.7 | 100 | 250.33 |
| c | | 28 | 62.63 |

Pour le nitrogène

| Points | P (atm) | T (°C) | h (KJ/kg) | S (KJ/kgK) |
|--------|---------|--------|-----------|------------|
| 1 | 1 | 300 | 462 | 4.4 |
| 2 | 200 | 300 | 431 | 2.75 |
| f | 1 | | 35 (30) | 0.42 |

1. Procédé de Linde simple :

- Fraction liquide :

$$y = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_f - h_1)} = \frac{(431 - 462)}{(30 - 462)} = 0.071$$

- Travail du compresseur

$$w = [T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)]$$

$$w = [300(4.4 - 2.75) - (462 - 431)] = 464 \text{ kJ/kg}$$

Donc

$$w_0 = \frac{w}{y} = \frac{464}{0.071} = 6535.2 \text{ kJ/kg}$$

- Le travail min

$$w_{min} = [T_1(s_1 - s_f) - (h_1 - h_f)]$$

$$w_{min} = [300(4.4 - 0.42) - (462 - 30)] = 762 \text{ kJ/kg}$$

$$FOM = \frac{w_{min}}{w_0} = \frac{762}{6535.2} = 0.116$$

2. Procédé de Linde avec pré-refroidissement

- Fraction liquide

$$y = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_f - h_1)} + r \frac{(h_c - h_a)}{(h_f - h_1)} = \frac{(431 - 462)}{(30 - 462)} + 0.1 \frac{(62.63 - 203.85)}{(30 - 462)} = 0.1036$$

- Travail spécifique
- Le travail des compresseurs

$$w = T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2) + r(h_b - h_a)$$

$$w = 464 + 0.1(250.33 - 203.85) = 468.64 \text{ kJ/kg}$$

$$w_0 = \frac{w}{y} = \frac{468.64}{0.1036} = 4523.55 \text{ kJ/kg}$$

- FOM

$$FOM = \frac{w_{min}}{w_0} = \frac{762}{4523.55} = 0.168$$