RAPPELS DES COURS PRECEDANTS.

- Dans les cours précédents, nous avons vu un cycle thermodynamique idéal de liquéfaction, dans lequel tout le gaz qui est comprimé est liquéfié.

- Dans un système de Linde - Hampson, un échangeur de chaleur est utilisé pour conserver le froid. Dans un tel système, seule une partie du gaz comprimé est liquéfiée.

- Dans un système Linde - Hampson avec pré-refroidissement, la fraction de liquide ainsi que le FOM (Figure de Mérite) sont améliorées ; le pré-refroidissement du fluide de travail est obtenu en utilisant un système de réfrigération indépendant.

- Dans un système Linde - Hampson avec pré-refroidissement, la fraction de liquide et le FOM dépendent du débit du réfrigérant ($\dot{m}_r$), de la pression de compression et de la température de pré-refroidissement.

- Le rendement (y et FOM) du système augmente avec l'augmentation du débit de fluide frigorigène et l'augmentation de la pression de compression.

- Dans ce système, le rapport massique (r) correspondant au rendement maximum (y et FOM) est appelé « valeur limite ». Il augmente avec l'augmentation de la pression de compression.

- Le rapport travail/unité masse de gaz comprimé augmente avec l'augmentation du débit de fluide frigorigène et pression de compression.

- La valeur de la figure de mérite (FOM) augmente avec l'augmentation du débit du réfrigérant et de la pression de compression.

<u>SUJET</u> : SYSTEMES DE LIQUEFACTION DES GAZ ET REFRIGE-RATION (SUITE).

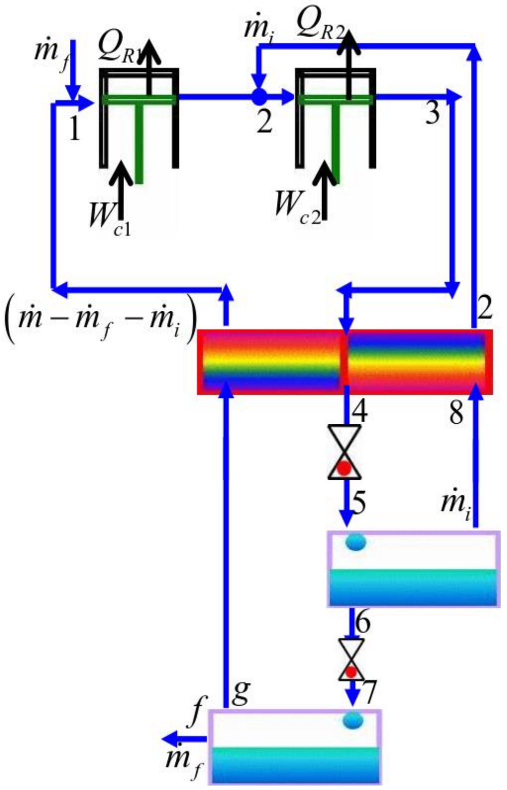
- **Système à double pression de Linde**
- **Rendement en liquide**
- **Le travail consommé**
- **Étude paramétrique**

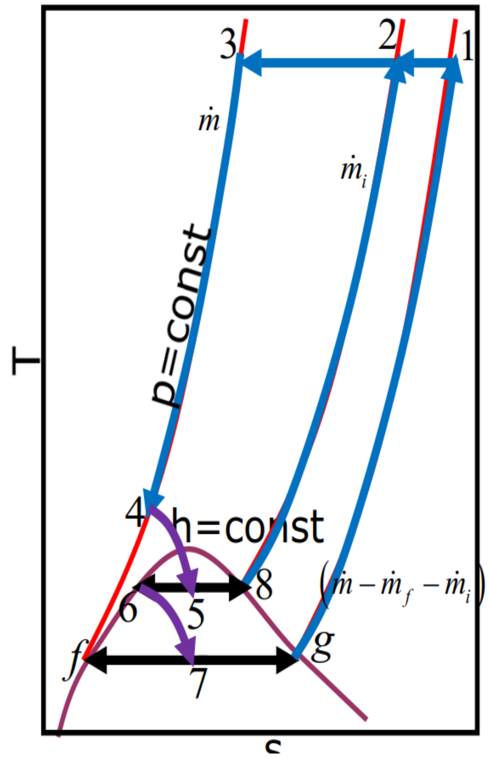
Mathématiquement, le travail nécessaire pour un procédé idéal de compression isotherme est donné par :

$$\dot{W} = \boxed{\dot{m}}RT_1 \ln\boxed{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}$$

- Le travail nécessaire diminue soit avec la diminution du débit massique ou avec la diminution du taux de compression.

- Dans un système Linde Hampson à double pression, le travail nécessaire diminue lorsque la compression du fluide est faite en deux étapes et pour des débits massiques différents.





Ce système se compose de deux compresseurs, un échangeur de chaleur à 3 fluides, deux vannes de détente de J–T, deux réservoirs de liquide et une connexion de gaz d'appoint.

- Dans ce système, ce n'est pas l'ensemble du gaz qui est comprimé aux hautes pressions requises, comme c'était le cas dans les systèmes antérieurs.

- Une partie seulement du débit massique **($\dot{m}$ - $\dot{m}_i$)**, est comprimée à une pression intermédiaire pendant la transformation **1 →2**.

- Par la suite, un débit massique $\dot{m}_i$ est ajouté au courant précédant et le tout est alors comprimé pendant la transformation **2 →3**.

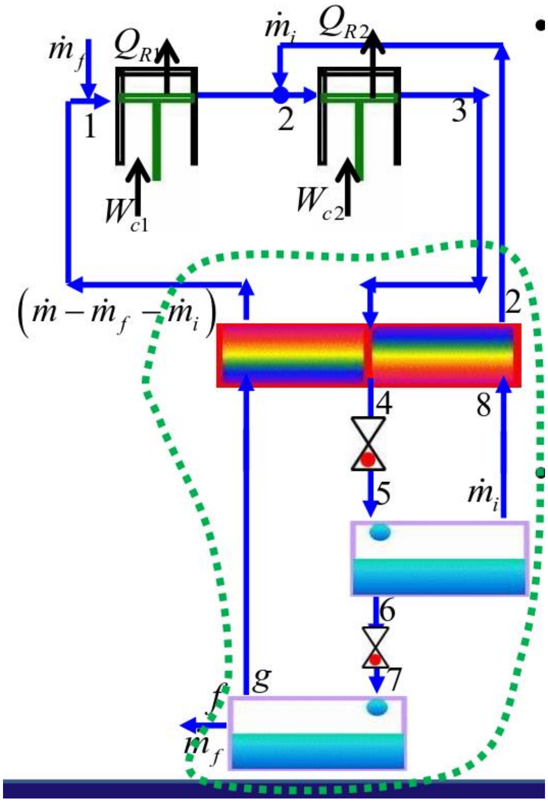
- Cet arrangement non seulement comprime le gaz en deux étapes, mais réduit également la quantité de travail nécessaire de compression.

- Le courant de débit **$\dot{m}_i$** est ajouté au courant de retour du second réservoir est utilisé pour pré-refroidir jusqu'à l'état **3**, dans l'échangeur de chaleur à trois voies.

- Il est important de noter que l’échangeur de chaleur à trois voies a trois courants avec trois débits différents qui sont :

    - **($\dot{m}$)**
    - **($\dot{m}_i$)**
    - **($\dot{m}$ - $\dot{m}_f$ - $\dot{m}_i$)**

Considérons un volume de contrôle pour ce système comme indiqué sur la Figure.



Entrées	Sorties
$\dot{m}$@#3	m_i@#2
	$\dot{m}$ - $\dot{m}_f$ – m_i@#1
	$\dot{m}_f$@#f

En appliquant le premier principe de la thermodynamique, nous aurons :

$$\dot{m}h_3 = \dot{m}_i h_2 + \left(\dot{m}-\dot{m}_f-\dot{m}_i\right)h_1 + \dot{m}_f h_f$$

- En Réarrangeant les termes, on aura :

$$\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}} = \left(\frac{h_1-h_3}{h_1-h_f}\right) - \boxed{\frac{\dot{m}_i}{\dot{m}}}\left(\frac{h_1-h_2}{h_1-h_f}\right)$$

- En notant le rapport de masse intermédiaire

$$\boxed{\frac{\dot{m}_i}{\dot{m}} = i}$$

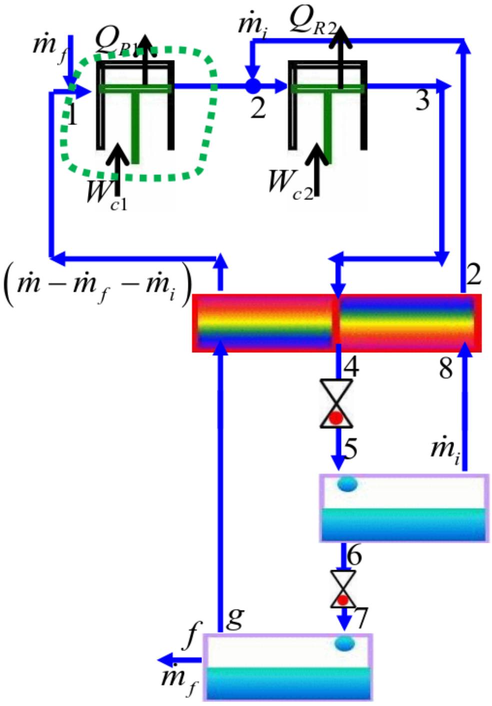
- Nous aurons la fraction en liquide qui sera donnée par :

$$y = \frac{h_1-h_3}{h_1-h_f} - i\left(\frac{h_1-h_2}{h_1-h_f}\right)$$

- Le premier terme est le rendement pour un système L-H simple en supposant que tout le débit du gaz est compressé de **1→3**.

- Le deuxième terme est la réduction de la fraction en liquide survenant en raison de la modification.

Pour le travail consommé, soit un volume de contrôle autour du compresseur - 1 comme montré sur la figure.



IN	OUT
$m - m_i$ @ 1	$m - m_i$ @ 2
$-W_{c1}$	$-Q_{R1}$

- En utilisant le premier principe de la thermodynamique, nous obtenons :

$$E_{in} = E_{out}$$

$$(\dot m - \dot m_i) h_1 - W_{c1} = (\dot m - \dot m_i) h_2 - Q_{R1}$$

- En réarrangeant les termes, nous avons :

$$Q_{R1} - W_{c1} = (\dot m - \dot m_i)(h_2 - h_1)$$

- En utilisant le second principe de la thermodynamique, Q_{R1} est donné par :

$$Q_{R1} = (\dot m - \dot m_i) T_1 (s_2 - s_1)$$

- Par combinaison des équations précédentes, nous avons :

$$-W_{c1} = (\dot m - \dot m_i)\left(T_1 (s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)\right)$$

Le débit massique à travers le compresseur 2 est ($\dot m$).

En suivant la même procédure pour le travail consommé par le compresseur 2, nous avons, pour un système à double pression de Linde-Hampson :

$$-W_{c2} = \dot m \left(T_1 (s_2 - s_3) - (h_2 - h_3)\right)$$

Le travail total consommé par le cycle est donné par :

$$W_c = W_{c1} + W_{c2}$$

• En Désignant le rapport $\frac{\dot m_i}{\dot m} = i$

• Nous aurons, le travail/unité de masse de gaz comprimé donné par :

$$-\frac{W_c}{\dot m} = T_1 (s_1 - s_3) - (h_1 - h_3) - i\left(T_1 (s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)\right)$$

Soit ce travail dépendant des deux termes encadrés :

$$-\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = \boxed{T_1\left(s_1 - s_3\right) - \left(h_1 - h_3\right)}$$
$$\boxed{-i\left(T_1\left(s_1 - s_2\right) - \left(h_1 - h_2\right)\right)}$$

- Le premier terme est le travail consommé pour système simple de Linde en supposant que toute la masse du gaz est comprimé de l'état 1 jusqu'à l'état 3. **(1→3)**
- Le deuxième terme est la réduction du travail consommé en raison à la modification.