

- Le cycle thermodynamique idéal pour la liquéfaction de gaz est impraticable et donc des cycles modifiés sont proposés.
- Un cycle idéal est utilisé comme cycle de référence pour comparer les effets différents procédés de liquéfaction, tels que différents rapports et certaines fonctions qui sont définis.
- Un cycle de Linde - Hampson consiste en un compresseur, un échangeur de chaleur et un dispositif de détente ou d'expansion (vanne de J – T). Dans ce procédé, seule une partie du gaz comprimé est liquéfié.
- Le procédé d'échange de chaleur isobare se produisant dans l'échangeur de chaleur est utilisé pour conserver le froid et la vanne de détente de J-T est utilisée pour produire des températures plus basses.
- Le travail requis pour une masse unitaire de gaz comprimé pour un cycle de Linde - Hampson est :

$$-\frac{W_c}{\dot{m}} = T_1 (s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)$$

- Le rendement y est maximal lorsque l'état 2 (après compression) se trouve sur la courbe d'inversion à la température du procédé de compression.
- Pour un procédé Linde - Hampson ce qui suit est vrai.
 - Lorsque la pression de compression augmente, la fraction liquéfiée y augmente pour une température donnée de compression.
 - Lorsque la température de compression diminue, la fraction liquéfiée y augmente pour une pression donnée de compression.

Sujet : Cycle de liquéfaction de gaz et de réfrigération (suite)

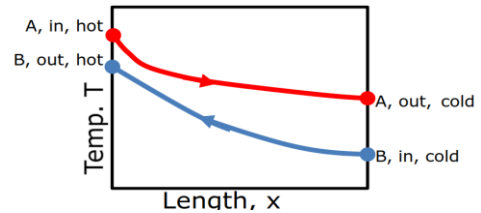
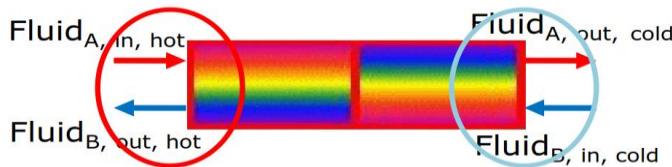
- Rappels de base sur les échangeurs de chaleur
- Effet de l'efficacité de l'échangeur de chaleur sur le cycle de Linde – Hampson
- Figure de mérite (FOM)

Les échangeurs de chaleur

- Un échangeur de chaleur est un dispositif dans lequel l'effet de refroidissement du fluide froid est transféré pour pré-refroidir le fluide chaud.
- Il peut s'agir soit d'un type à deux fluides soit d'un type à trois fluides en fonction du nombre d'entrées et les sorties fixées de l'échangeur de chaleur.
- Le procédé d'échange de chaleur se produit à pression constante et par conséquent, c'est un procédé isobarique.
- Afin de spécifier la performance de l'échangeur de chaleur en termes d'échange de chaleur réel se produisant, un paramètre ε est défini et appelé efficacité de l'échangeur de chaleur.
- Il est défini comme un rapport de la chaleur transférée réel par la chaleur maximale possible à transférer qui peut se produire théoriquement.
- Mathématiquement,

$$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}}$$

- ε est un nombre sans dimension compris entre 0 et 1.



- La chaleur réelle l'échange est :

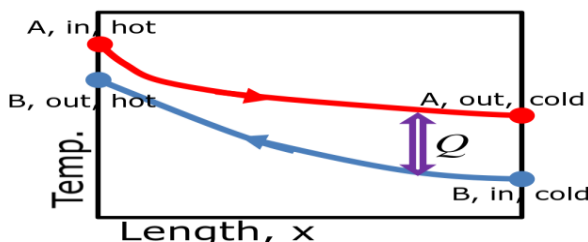
$$Q_{act} = \dot{m}_B C_{PB} (T_{B,in} - T_{B,out}) = \dot{m}_A C_{PA} (T_{A,in} - T_{A,out})$$

- Le maximum de chaleur échangée possible est :

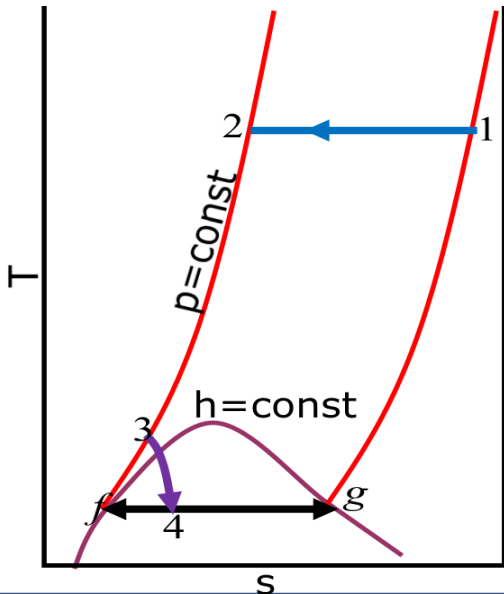
$$Q_{max} = (\dot{m}C_P)_{min} (T_{B,in} - T_{A,in})$$

- L'efficacité est :

$$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}}$$

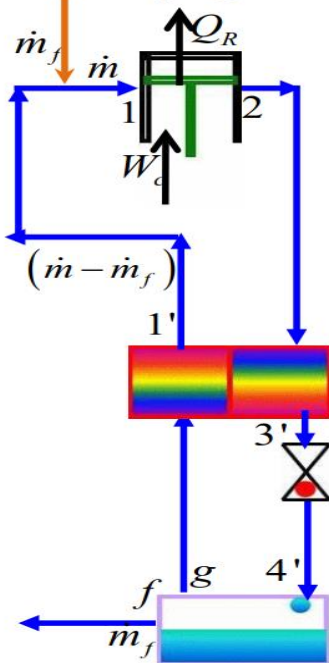


- Le procédé de compression isotherme pour un cycle de Linde – Hampson est représenté sur le diagramme T – s par la transformation 1 → 2.



- Le procédé de détente à travers la vanne de J-T est représenté sur le diagramme T-s par la transformation isenthalpique $3 \rightarrow 4$.
- Les états de vapeur saturée et liquide et liquide saturé sont indiqués par g et f .
- Si l'on suppose que $\varepsilon = 100\%$, l'échange de chaleur isobare serait représenté par les transformations $2 \rightarrow 3$ et $g \rightarrow 1$
- En réalité, l'échange de chaleur n'est pas parfait, et

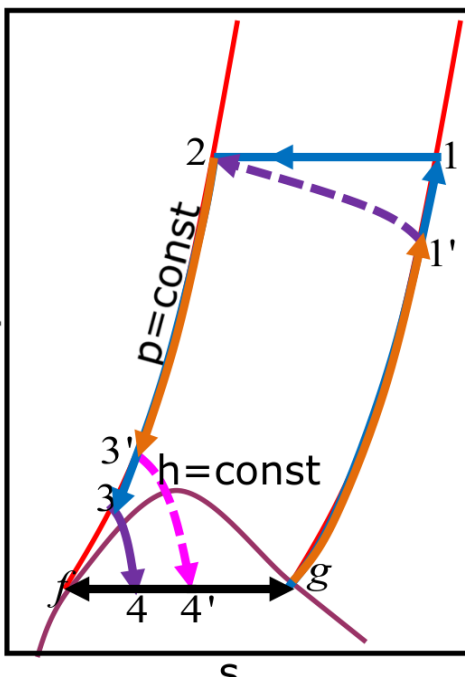
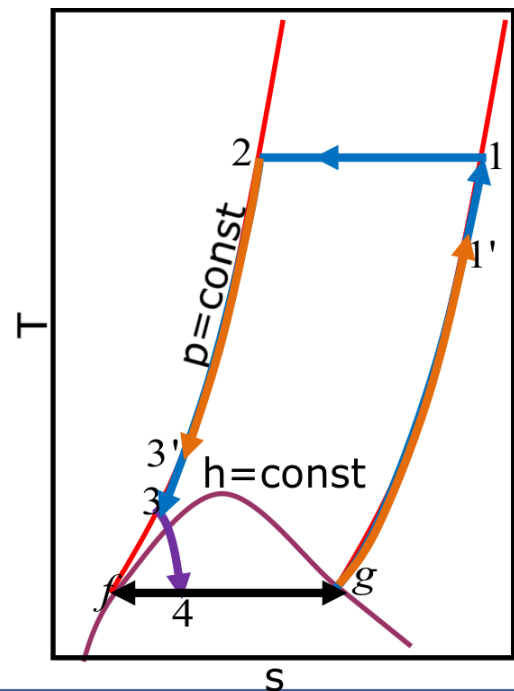
Makeup gas



par conséquent, les procédé réels sont $2 \rightarrow 3'$ et $g \rightarrow 1'$

• Dans ce cas, le gaz est toujours comprimé de l'état $1'$ à jusqu'à état 2 .

• La détente dans la vanne de J-T se produit à partir de $3' \rightarrow 4'$ comme montré sur la figure.



• Il est clair que l'échange de chaleur réel se fait de $g \rightarrow 1'$, alors que l'échange de chaleur maximal possible est de $g \rightarrow 1$.

• Sur l'autre isobare, l'échange de chaleur réel est fait de $2 \rightarrow 3'$, alors que le maximum possible est suivant $2 \rightarrow 3$.

• Dans un procédé idéal, la variation d'enthalpie sur ces deux isobares est égale.

• Par conséquent, l'efficacité est donnée par :

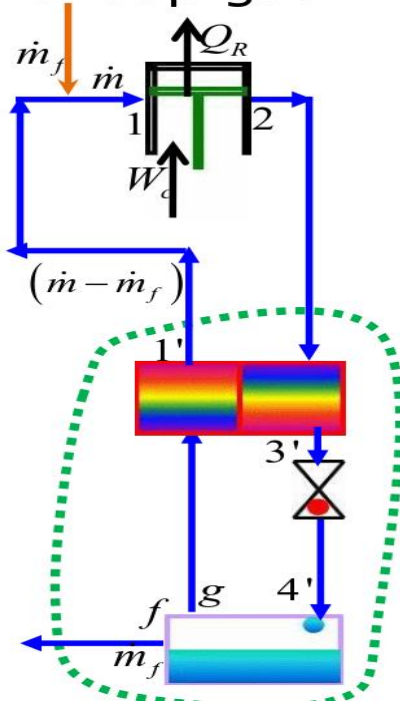
$$\varepsilon = \frac{h_{1'} - h_g}{h_1 - h_g}$$

- ou

$$\varepsilon = \frac{h_{3'} - h_2}{h_3 - h_2}$$

- Soit un volume de contrôle renfermant l'échangeur de chaleur, la vanne de J-T et le réservoir de liquide, pour ce système comme indiqué sur la figure ci-contre.

Makeup gas



- Les quantités entrant et sortant ce volume de contrôle données ci-après.

IN	OUT
m @ 2	(m - m _f) @ 1'
	m _f @ f

- En utilisant le 1er principe de la thermodynamique, nous avons :

$$\dot{m}h_2 = (\dot{m} - \dot{m}_f)h_{1'} + \dot{m}_fh_f$$

- La réorganisation des termes, nous permet d'écrire la fraction de liquide y sous forme de :

$$\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}} = y = \left(\frac{h_{1'} - h_2}{h_{1'} - h_f} \right)$$

- Comme vu précédemment, l'efficacité ε est :

$$\varepsilon = \frac{h_{1'} - h_g}{h_1 - h_g}$$

- Après réorganisation des termes, nous avons :

$$h_{1'} = \varepsilon (h_1 - h_g) + h_g$$

- À partir des deux équations ci-dessus, par substitution nous auront :

$$y = \frac{h_{1'} - h_2}{h_{1'} - h_f} \quad \text{Et} \quad h_{1'} = \varepsilon (h_1 - h_g) + h_g$$

$$y = \frac{(h_1 - h_2) - (1 - \varepsilon)(h_1 - h_g)}{(h_1 - h_f) - (1 - \varepsilon)(h_1 - h_g)}$$

- Le second terme étant négatif, il devrait être minimum pour maximiser la fraction liquéfiée y.

$$y = \frac{(h_1 - h_2) - (1 - \varepsilon)(h_1 - h_g)}{(h_1 - h_f) - (1 - \varepsilon)(h_1 - h_g)}$$

- Tous les autres paramètres étant constants pour un cycle donné, l'efficacité devrait être très proche de 1.
- Le prochain tutoriel décrit l'effet de l'efficacité de l'échangeur la chaleur sur le rendement en liquide.