<u>**SYSTEME DE LIQUEFACTION DE CLAUDE.**</u>

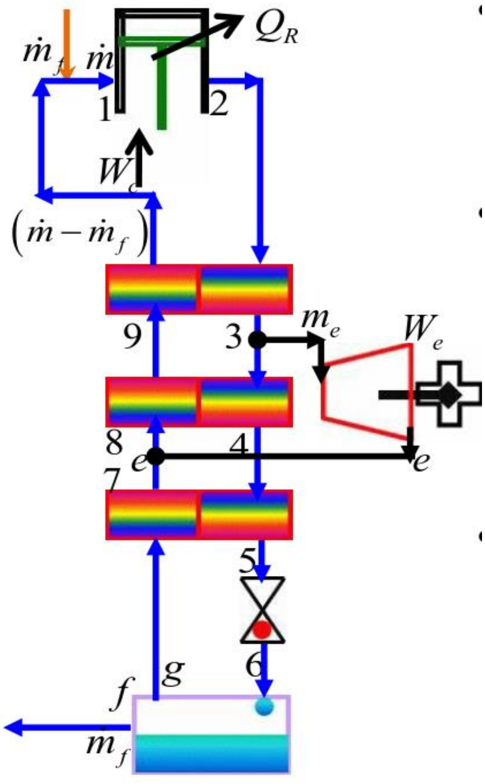
RAPPEL COURS PRECEDANTS

- Dans les cours précédents, nous avons vu un idéal cycle thermodynamique, dans lequel tout le gaz qui est comprimé etre liquéfié.
- Dans un système Linde - Hampson, un échangeur de chaleur est utilisé pour conserver le froid et seulement une partie du gaz comprimé est liquéfié.
- Dans un système Linde - Hampson avec pré-refroidissement, un système de réfrigération indépendant est utilisé. Le rapport massique (r) correspondant au maximum du rendement est appelé comme valeur limite.
- Le système Linde à double pression est une modification du système Linde – Hampson simple afin de réduire le travail consommé par le cycle.
- Dans ce système, le rapport travail/masse de gaz liquéfié diminue lorsque la compression du fluide est faite en deux étapes et pour des débits différents.

APERÇU DU COURS

System Claude - En l'an 1920, Claude développa un système de liquéfaction de l'air et créa une compagnie dénommé : « LAIR LIQUIDE ». Dans ce qui suit nous étudierons :

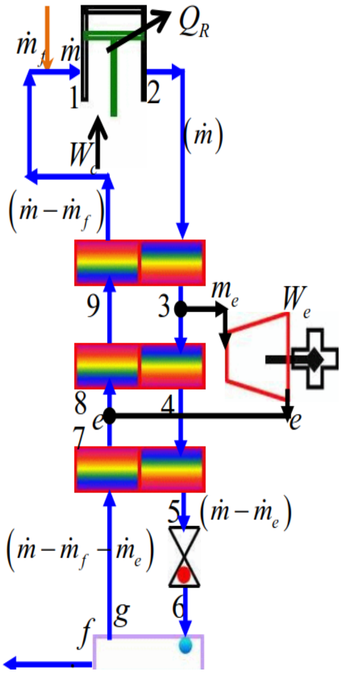
- La fraction en liquide du cycle,
- La puissance ou le travail nécessaire,
- Une étude paramétrique.

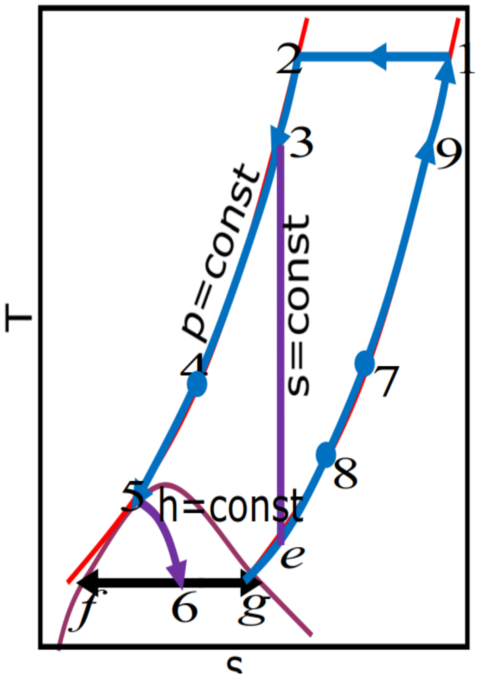


INTRODUCTION

- Afin d'atteindre une meilleure performance et de s'approcher de l'idéalité, le procédé de détente devrait être un procédé réversible.
- Dans le cours précédent, nous avons vu qu'une vanne de détente de J–T fonctionne suivant une détente **isenthalpique irréversible** et en utilisant un moteur de détente on peut opérer avec une détente **isentropique réversible**.
- Pour tout gaz, une détente isentropique entraîne une baisse de température quelle que soit sa température inversion (T_{INV}).

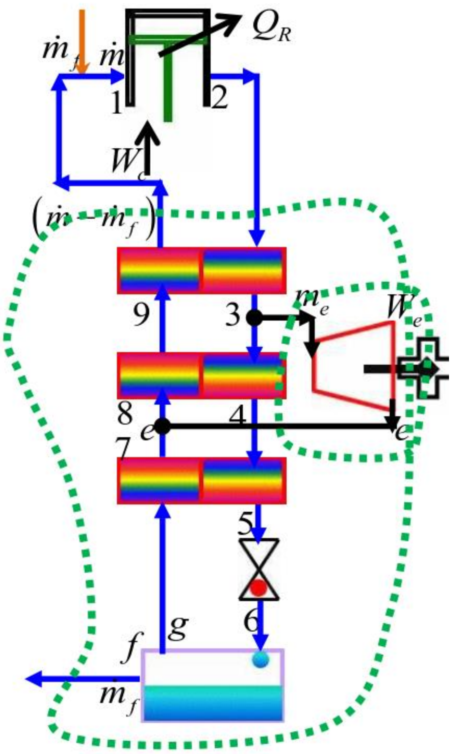
- Le schéma du système du système de liquéfaction de Claude est comme montré ci-contre.





- Il se compose d'un compresseur, de 3 échangeurs de chaleur à 2 voies, d'une vanne de détente de J-T et d'une connexion de gaz d'appoint.
- Le système comporte également un moteur de détente (turbine ou turbo-expander) fonctionnant à travers le deuxième échangeur de chaleur comme indiqué sur le schéma.
- Dans ce système, l'énergie contenue dans le gaz est enlevée en lui permettant de produire du travail dans un dispositif de détente.

- Comme le montre la figure, une partie du flux principal de gaz est dévié de l'état **3** vers l'état ***e*** puis introduit au courant de retour à l'entrée de l'échangeur de chaleur 2.



- Ce procédé de détente est une détente adiabatique réversible.
-
- Soit un volume de contrôle comme montré sur la figure ci-contre. En appliquant le 1ère principe de la thermodynamique, nous avons :

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

- Le travail de détente du turbo-expander est donné par :

$$W_e = \dot{m}_e h_3 - \dot{m}_e h_e$$

- En substituant dans l'expression pour, nous aurons :

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

- Le réarrangement des termes donne :

$$y = \left(\frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_f}\right) + \boxed{x}\left(\frac{h_3 - h_e}{h_1 - h_f}\right)$$

- Avec $\boxed{x = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}}}$

- Et où le débit massique entrant le turbo expander est noté ***x***.

$$y = \boxed{\left(\frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_f}\right)} + \boxed{x\left(\frac{h_3 - h_e}{h_1 - h_f}\right)}$$

- Le premier terme de cette expression est la fraction liquide d'un cycle simple de Linde-hampson ; le second terme est le surplus obtenu par l'addition du turbo-expander.

- Pour des conditions initiale et finale de ***P***, la fraction liquéfiée ***y*** dépend de h_3 (ou T_3) et ***x***.

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

  Mais si T_3 est maintenu constante, la fraction ***y*** est une fonction linéaire de ***x***.

- Et pour le cas où ***x = 1, y*** sera égal à ***0.*** Ce qui n'est pas rendu compte par cette équation. En effet :
- Pour ***x = 1,*** le gaz dans le courant de retour $(\dot{m} - \dot{m}f - \dot{m}e) = 0$
- Ceci veut dire que pour avoir une fraction finie de gaz liquéfié on doit toujours avoir $(\dot{m} - \dot{m}f - \dot{m}e) > 0$.
- En divisant $(\dot{m} - \dot{m}f - \dot{m}e) > 0$ ***par*** $\dot{m}$ nous obtiendrons : $x + y < 1$

- Et donc cette équation n'est valide que pour $x + y < 1$.

- Le rendement du système augmente avec l'augmentation du x pour une valeur constante de T3.

- En se basant sur y calculé à partir de l'équation ci-dessus, lorsque la somme est $x + y > 1$, une valeur limite de ***y*** peut être calculée en utilisant $x + y = 0{,}99$.

- En résumé, ***y*** est calculé en utilisant l'équation ci-dessus jusqu'à ce que $x + y < 1$ ou = ***0,99*** est valide.

- Après quoi, une valeur limite de ***y*** est donné par $y = 0.99 - x$.

- Cette valeur est le maximum de ***y*** possible, mais la valeur réelle peut être inférieure à cette valeur.

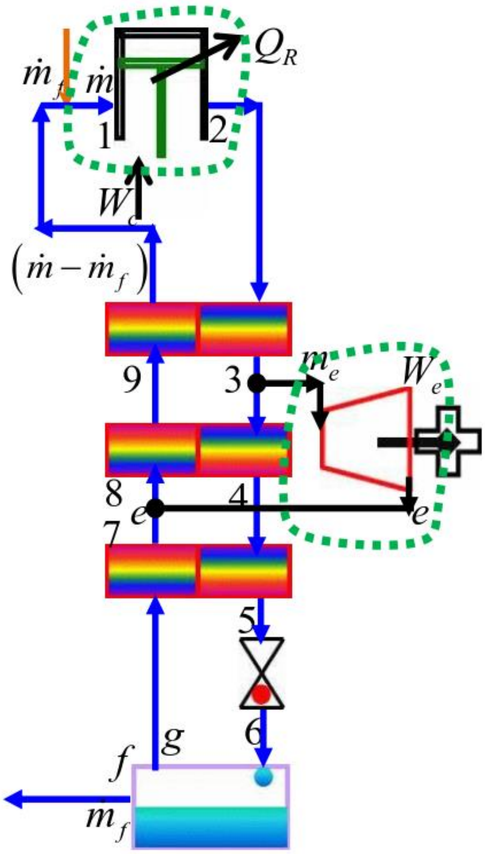
- Il est clair que les interactions de travail du système avec l'environnement sont dues aux :

  - Compresseur (vers le système venant du milieu extérieur)
  - Expander (vers le milieu extérieur venant du système)

- Le travail net nécessaire au cycle, si le travail de l'expander est utilisé dans le procédé de compression, est donné par :

$$-W_{net} = -W_c - W_e$$

- où, ***-Wc*** est le travail fait sur le système (négatif).



- Comme indiqué précédemment, l'utilisation du volume de contrôle autour du compresseur, et l'utilisation du 1er et 2nd principe de la thermodynamique nous permet d'écrire :

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

- De même, le volume de contrôle autour du turbo-expander (turbine) nous permet d'obtenir l'expression du travail produit.

IN	OUT
m_e @ 3	m_e @ e
	W_e

$$W_e = \dot{m}_e\left(h_3 - h_e\right)$$

Et

$$\therefore\ \frac{-W_{net}}{\dot{m}} = -\frac{W_c}{\dot{m}} - \frac{W_e}{\dot{m}}$$

Par substitution

$$-\frac{W_{net}}{\dot{m}} = \begin{cases}\left(T_1\left(s_1 - s_2\right) - \left(h_1 - h_2\right)\right) \\ -\boxed{x}\left(h_3 - h_e\right)\end{cases}$$

où

$$\boxed{x = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}}}$$

x étant le rapport du débit à travers le moteur de détente.

$$-\frac{W_{net}}{\dot{m}} = \begin{cases}\boxed{\left(T_1\left(s_1 - s_2\right) - \left(h_1 - h_2\right)\right)} \\ \boxed{-x\left(h_3 - h_e\right)}\end{cases}$$

- Le premier terme est le travail exigence pour le cycle simple de Linde-Hampson.
- Le deuxième terme est la réduction du travail nécessaire au cycle survenant en raison de la modification (introduction du moteur de détente).