

Exercice N°1 (Questions de cours) (6 pts).

- Quel est le but de la liquéfaction des gaz ?
- En utilisant les bilans énergétiques déterminez la fraction liquide et le travail du procédé de liquéfaction de Claude.

Exercice N°2 (6pts)

Soit le procédé de LINDE simple qui utilise le Nitrogène comme fluide de travail entre (2 atm et 260K) et 30 atm.

Déterminez :

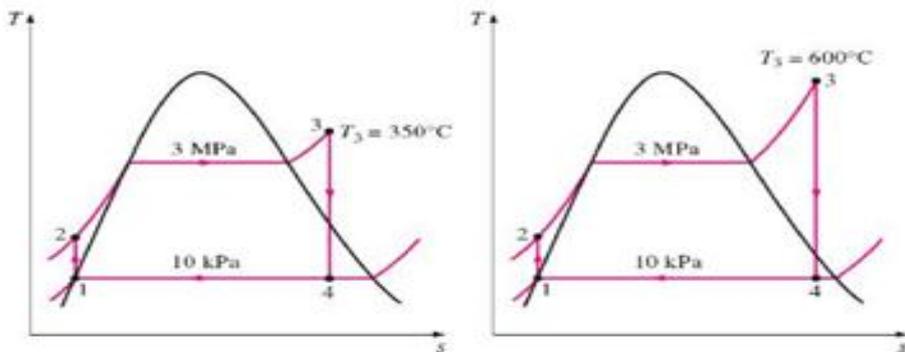
- La fraction liquéfiée.
- Le travail spécifique.
- Le facteur de Mérite (FOM).
- La température du liquide a la sortie du réservoir.

Exercice N°3 (8pts).

Soit une centrale thermique qui fonctionne selon le cycle de Rankine idéal. La vapeur d'eau entre dans la turbine à 3 MPa et à 350°C, elle est condensée dans le condenseur à 10 kPa. (Voir figure)

Déterminez :

- Le rendement thermique du cycle.
- Le rendement thermique du cycle si la vapeur est surchauffée à 600°C plutôt qu'à 350°C.



Bonne chance

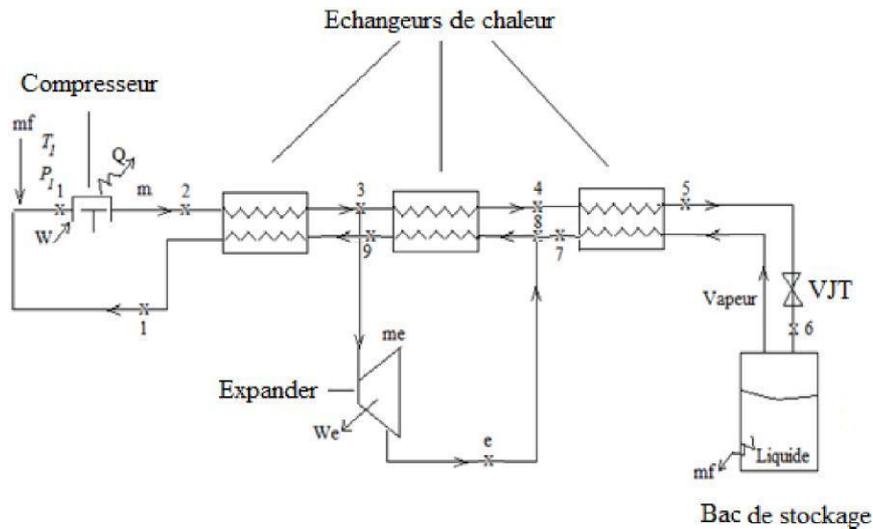
Corrigé type contrôle Crvogénie3 L.E

ExoN°1 (6pts) :

1. Le but de la liquéfaction des gaz

- L'obtention des gaz purs à partir d'un mélange des gaz 1.0
- Facilité et économie du transport des gaz. 1.0
- Usage des basses températures. 1.0

2. Le procédé de Claude



➤ La fraction liquide y :

Bilan énergétique : $\dot{m}h_2 + \dot{m}_e h_e = \dot{m}_f h_f + \dot{m}_g h_1 + \dot{m}_e h_3$

$$\dot{m}h_2 + \dot{m}_e h_e - \dot{m}_f h_f - (\dot{m} - \dot{m}_f)h_1 - \dot{m}_e h_3 = 0 \Rightarrow \dot{m}(h_2 - h_1) + \dot{m}_e(h_e - h_3) + \dot{m}_f(h_1 + h_f) = 0$$

$$\Rightarrow (h_2 - h_1) + \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}}(h_e - h_3) + \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}}(h_1 + h_f) = 0 \quad \text{1.0}$$

Posons $\frac{\dot{m}_e}{\dot{m}} = e$ et $\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}} = y$

$$\Rightarrow y = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_f - h_1)} + e \frac{(h_e - h_3)}{(h_f - h_1)} \quad \text{0.5}$$

Le travail:

Le travail du procédé de Claude égale la somme des travaux du compresseur et celui de la turbine.

$$W = W_{comp} + W_{turbine} \quad \text{0.5}$$

$$W_{comp} = T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2) \quad \text{0.25}$$

$$W_{turbine} = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}}(h_3 - h_e) \quad \text{0.25}$$

$$w = T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2) - e(h_3 - h_e) \quad \text{0.5}$$

ExoN°2(6pts) :

Le cycle de Linde sur le diagramme du Nitrogène

0.75Tableau **(0.25*6)=1.5**

Points	P (atm)	h(J/g)	S (J/gK)
1	2	420	4.08
2	30	412	3.25
F	2	46	0.7

• **La fraction liquide y :**

$$\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}} = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_f)} = y \quad \underline{0.5} \quad y = \frac{(420 - 412)}{(420 - 46)} = 0.021 \quad \underline{0.25}$$

• **Le travail spécifique :**

$$w_0 = \frac{w}{y} \quad \underline{0.5} \quad , \quad w = [T_c(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2)] \quad \underline{0.5}$$

$$w = [260(4.08 - 3.25) - (420 - 412)] = 207.8 \text{ J/g} \quad \underline{0.25}$$

$$w_0 = \frac{207.8}{0.021} = 9895.23 \frac{J}{g} \quad \underline{0.25}$$

• **Le FOM :**

$$FOM = \frac{w_{min}}{w_0} \quad \underline{0.5} \quad , \quad w_{min} = T_c(s_1 - s_f) - (h_1 - h_f) \quad \underline{0.5}$$

$$w_{min} = 260(4.08 - 0.7) - (420 - 46) = 504.8 \frac{J}{g} \quad \underline{0.25}$$

$$FOM = \frac{504.8}{9895.23} = 0.051 \quad \underline{0.25}$$

$$\text{Température de sortie } T_f = 84K \quad \underline{0.5}$$

ExoN°3 (8pts) :

Détermination du rendement du cycle

$$A. \quad P_1 = P_4 = 10 \text{ kPa}$$

$$P_2 = P_3 = 3 \text{ MPa} , \quad T_3 = 350^\circ\text{C}$$

$$\text{Etat 1 : liquide saturé } P_1 = 10 \text{ kPa} \quad \text{tableau } h_1 = 191.81 \text{ J/g} \quad \underline{0.25}$$

$$\text{Etat 2 : pompe} \quad h_2 - h_1 = v_f (P_2 - P_1) \quad \underline{0.25} \quad \text{tableau} \quad v_f = 0.0010103 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \underline{0.25}$$

$$h_2 = 191.81 + 0.0010103 \times (3 \times 10^3 - 10) = 194.83 \text{ J/g} \quad \underline{0.25}$$

Etat3 : $P_3 = 3 \text{ MPa}$, $T_3 = 350^\circ\text{C}$ Vapeur surchauffée tableau $h_3 = 3116.1 \text{ J/g}$ 0.25

$$S_3 = 6.7449 \text{ J/gK} \quad \underline{0.25}$$

Etat 4 : mélange liquide –vapeur

$$S_4 = S_3 = 6.7449 \text{ J/gK} \quad \underline{0.25}$$

$$h_4 = h_f + x h_{fg} \quad \underline{0.25}$$

Tableau $h_f = 191.83 \text{ J/g}$ 0.25

$$h_g = 2583.9 \text{ J/g} \quad \underline{0.25}$$

$x = ?$

$$s_f = 0.6492 \text{ J/gK} \quad \underline{0.25}$$

$$s_g = 8.1489 \text{ J/kgK} \quad \underline{0.25}$$

$$S_4 = S_f + x S_{fg} \quad \underline{0.25} \Rightarrow x = \frac{S_4 - S_f}{S_{fg}} = \frac{6.7449 - 0.6492}{7.5} = 0.81 \quad \underline{0.25}$$

$$h_4 = 191.83 + 0.81 \times 2392.07 = 2129.4 \text{ J/g} \quad \underline{0.25}$$

$$\eta = 1 + \frac{h_1 - h_4}{h_3 - h_2} = 1 + \frac{191.83 - 2129.4}{3116.1 - 194.83} = 0.3367 = 33.67\% \quad \underline{0.25}$$

B. $P_1 = P_4 = 10 \text{ kPa}$

$P_2 = P_3 = 3 \text{ MPa}$, $T_3 = 600^\circ\text{C}$

Etat 1 : $h_1 = 191.81 \text{ J/g}$ 0.25

Etat 2 : $h_2 = 194.83 \text{ J/g}$ 0.25

Etat3 : $P_3 = 3 \text{ MPa}$, $T_3 = 600^\circ\text{C}$ Vapeur surchauffée tableau $h_3 = 3682.8 \text{ J/g}$ 0.25

$$S_3 = 7.5102 \text{ J/gK} \quad \underline{0.25}$$

Etat 4 : mélange liquide –vapeur

$$S_4 = S_3 = 7.5102 \text{ J/gK} \quad \underline{0.25}$$

$$h_4 = h_f + x h_{fg}$$

Tableau $h_f = 191.83 \text{ J/g}$ 0.25

$$h_g = 2583.9 \text{ J/g} \quad \underline{0.25}$$

$x = ?$

$$s_f = 0.6492 \text{ J/gK} \quad \underline{\underline{0.25}}$$

$$s_g = 8.1489 \text{ J/kgK} \quad \underline{\underline{0.25}}$$

$$s_4 = s_f + x s_{fg} \quad \Rightarrow \quad x = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} = \frac{7.5102 - 0.6492}{7.5} = 0.9148 \quad \underline{\underline{0.25}}$$

$$h_4 = 191.83 + 0.9148 \times 2392.07 = 2380.095 \text{ J/g} \quad \underline{\underline{0.25}}$$

$$\eta = 1 + \frac{h_1 - h_4}{h_3 - h_2} = 1 + \frac{191.83 - 2380.095}{3682.8 - 194.83} = 0.3726 = 37.26\% \quad \underline{\underline{0.25}}$$

On comparant le résultat avec celui de la première question on remarque que le rendement croit avec l'accroissement de la température. 1.0