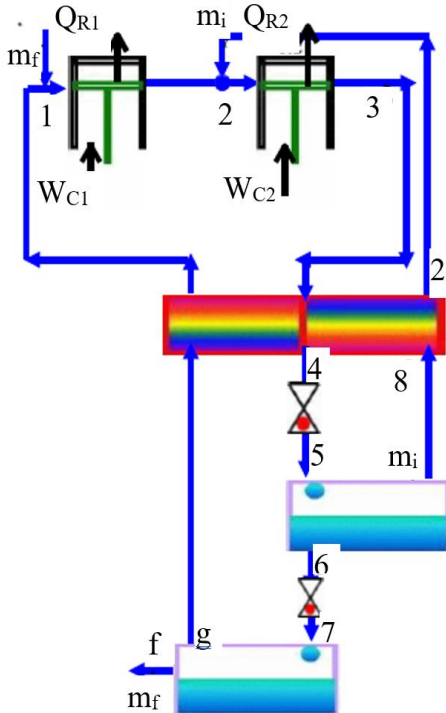


EXAMEN FINAL Cryogénie Master2 2021/2022

EXERCICE Cycle de Liquéfaction de l'azote (12pts)

Soit un cycle de liquéfaction d'azote comme indiqué dans la figure ci-dessous. L'azote subit 2 compressions isothermes, la première de 101.3 kPa (300 K) à 507 kPa et la deuxième de 507 kPa à 2030 kPa.

Une quantité m_i de gaz ayant subie la détente de 4 à 5 est réintroduite dans le point 2 pour subir une compression avec le gaz provenant du premier compresseur jusqu'au point 3 à la pression finale (2030 kPa). Le reste subit une détente jusqu'à la pression de 101,3 kPa. Une quantité m_f est retirée vers une unité de stockage. La quantité restante est dirigée vers le compresseur au point 1 avant de lui ajouter une quantité de gaz équivalente à m_f .



On donne :

$$y = m_f/m$$

$$m_i/m = 0,8$$

$$h_1 = 462 \text{ J/g à } 101.3 \text{ kPa et } 300 \text{ K}$$

$$h_2 = 452 \text{ J/g à } 507 \text{ kPa et } 300 \text{ K}$$

$$h_3 = 432 \text{ J/g à } 2030 \text{ kPa et } 300 \text{ K}$$

$$h_f = 29 \text{ J/g à } 101.3 \text{ kPa (liquide saturé)}$$

$$s_1 = 4.42 \text{ J/g K à } 101.3 \text{ kPa et } 300 \text{ K}$$

$$s_2 = 3.23 \text{ J/g K à } 507 \text{ kPa et } 300 \text{ K}$$

$$s_3 = 2.74 \text{ J/g K à } 2030 \text{ kPa et } 300 \text{ K}$$

$$s_f = 1.4 \text{ J/g K à } 101.3 \text{ kPa et } T_{sat}$$

1. Pourquoi utilise-t-on 2 compresseurs ?

Car un seul compresseur tout seul ne peut pas compresser le gaz à cette pression

2

2. Pourquoi utilise-t-on 2 séparateurs liquide-gaz ?

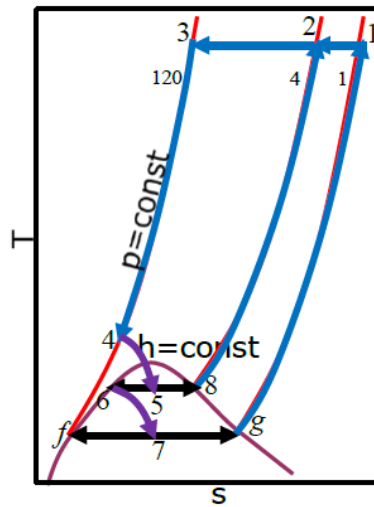
Pour obtenir le maximum de liquide

2

.....اللقب

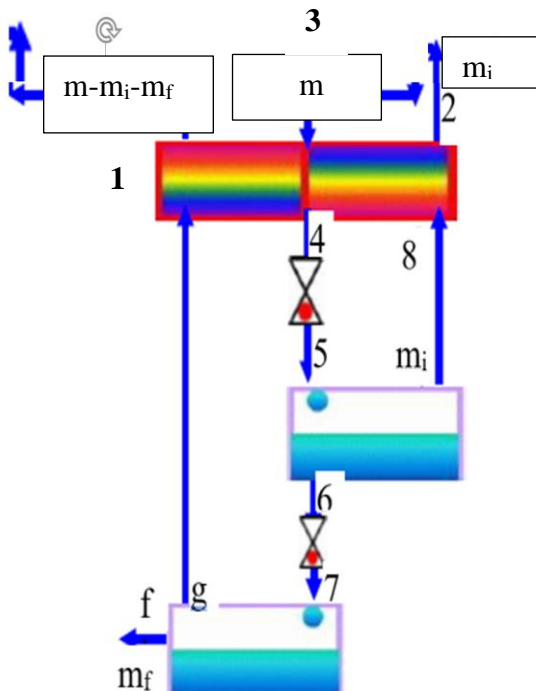
.....الإسم

3. Représentez graphiquement le cycle (T,s) ?



2

4. Faites le bilan des énergies entrantes et sortantes du système isolé et calculez la fraction liquide y obtenu lors de la liquéfaction ?



Bilan des énergies entrantes et sortantes appliqué au système isolé

$$m_3 h_3 = m_i h_i + m_f h_f + (m - m_i - m_f) h_1$$

On a $y = \frac{m_f}{m}$ et $i = \frac{m_i}{m}$

On aura donc

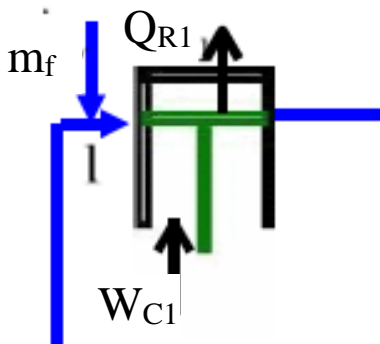
$$y = \frac{h_3 - h_1}{h_f - h_1} - i \frac{h_2 - h_1}{h_f - h_1} = 0.05 = 5\%$$

2

.....اللقب

.....الإسم

5. En appliquant le premier et le deuxième principe de la thermodynamique, calculez la chaleur dégagée par le compresseur 1 et 2 Q_{R1} et Q_{R2} ainsi que le travail fourni W_{C1} et W_{C2}



1 principe : Bilan des énergies entrantes et sortantes appliqué au système isolé compresseur 1

$$(m - m_i)h_1 + W_{C1} = (m - m_i)h_2 + Q_{R1}$$

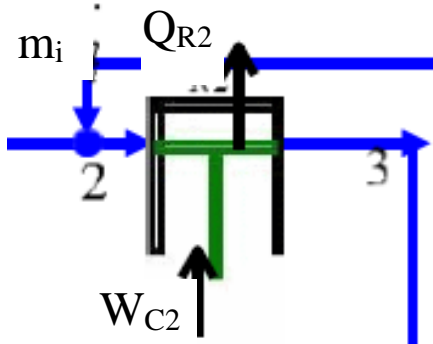
D'après le deuxième principe de la thermodynamique

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

On aura donc

$$-\frac{Q_{R1}}{\dot{m}} = \frac{W_{C1}}{\dot{m}} = (1 - i)(h_2 - h_1) + (1 - i)T_1(s_2 - s_1)$$

1



1 Principe : Bilan des énergies entrantes et sortantes appliqué au système isolé compresseur 2

$$m_2h_2 + W_{C2} = mh_3 + Q_{R2}$$

D'après le deuxième principe de la thermodynamique

$$Q_{R1} = mT_i(s_3 - s_2)$$

On aura donc

$$-\frac{Q_{R2}}{\dot{m}} = \frac{W_{C2}}{\dot{m}} = (h_3 - h_2) + T_i(s_3 - s_2)$$

1

6. Déduire le travail de compression nécessaire total par unité de masse liquide ?

$$\frac{W_C}{y} = \frac{W_{C1} + W_{C2}}{y} = (h_3 - h_2) + i[(h_2 - h_1) + (s_2 - s_1)] + T_i(s_3 - s_2) = -4142J/g$$

2

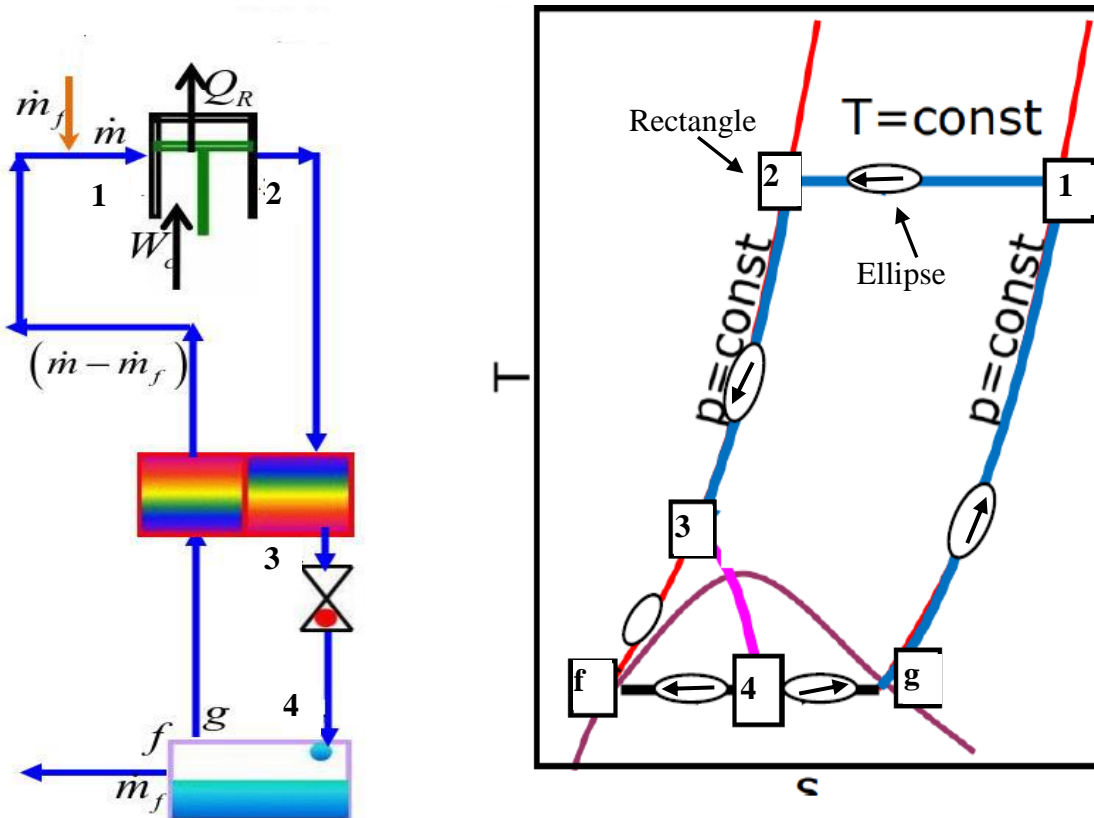
.....اللقب

.....الإسم

I- QUESTIONS DE COURS (8pts)

Soit le schéma d'un cycle de liquéfaction idéal de Linde-Hampson.

1. Complétez proprement le diagramme T-S du cycle en représentant tous les points caractéristiques (1, 2, 3, 4, f et g) dans les rectangles et le sens des flèches dans les ellipses



3

.....اللقب

.....الإسم

2. Remplir le tableau suivant.

Transformation	Nom de la transformation Ex : Compression	Signe de Q :	Signe de W	Dispositif Utilisé : ex Turbine	Etat	Phase de l'état. Liq, liq saturé, mél L/V, vapeur. Saturée ou vap. surch
1 → 2	Compression	-	+	Compresseur	1	Vap saturée
2 → 3	Transfert de chaleur	+	0	Echangeur de chaleur	2	Vap saturée
3 → 4	Détente	0	0	Detendeur	3	Vap saturée
g → 1	Transfert de chaleur	+	0	Echangeur de chaleur	4	Melange
					f	Liquide satu
					g	Vap Surch