

Contrôle Cryogénie licence énergétique

ExoN°1 (10 pts)

A

- Tracez un schéma clair d'une turbine à gaz à cycle de Brayton idéal, en indiquant les composants principaux.
- Représentez le cycle de Brayton idéal correspondant sur un diagramme T-s (Température-Entropie) et décrivez les étapes thermodynamiques qui composent le cycle, en précisant les transformations subies par le fluide de travail dans chaque étape.
- Démontrez que le rendement thermique du cycle de Brayton idéal peut être exprimé par la formule :

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

B

- Quel est le but de la liquéfaction des gaz ?
- Quelles sont les conditions de (P, T) pour liquéfier un gaz ?
- Tracez le schéma du procédé de Linde.

ExoN°2 (8pts)

On liquéfie le Nitrogène (N₂) par le procédé de Claude qui fonctionne entre 1atm et une température de 260 K et 30 atm

La Turbine reçoit 0.6 du débit total du gaz à 250 K

- 1 Sur le diagramme (T-S) de N₂ tracer le cycle de Claude.
- 2 Déterminer
 - La fraction liquéfiée.
 - Le travail produit par (Turbine).
 - Le travail du compresseur
 - Le travail spécifique.
 - FOM.

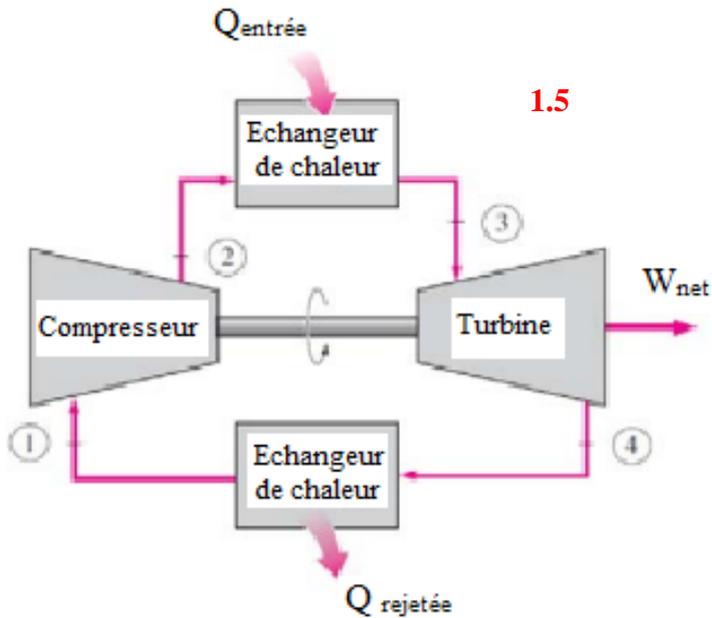
Bonne chance

Corrigé type du contrôle Cryogénie (Licence énergétique)

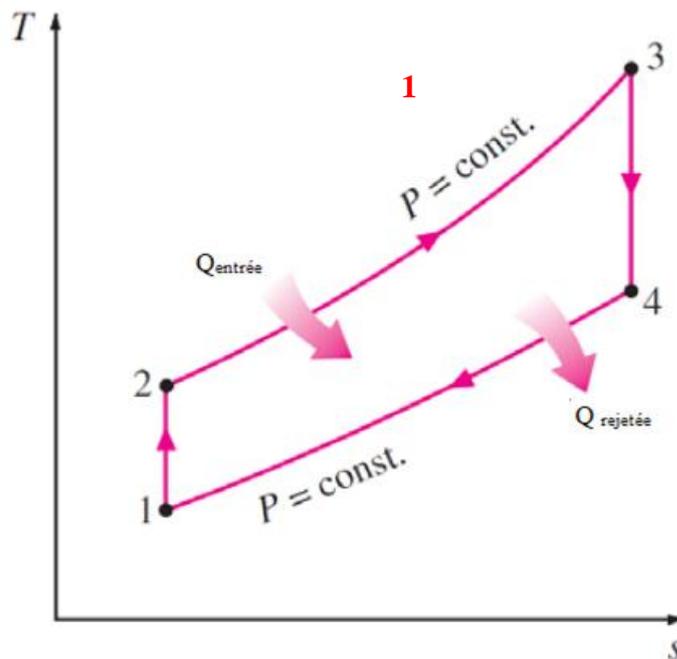
Exercice N°1

A

- Le schéma de la turbine à gaz



- le cycle de Brayton idéal



Le cycle de Brayton idéal est composé de quatre processus réversibles :

- 1-2 : Compression isentropique de l'air dans le compresseur. 0.5
- 2-3 : Ajout de chaleur à pression constante dans un échangeur de chaleur. 0.5

- **3-4** : Détente isentropique des gaz dans la turbine. 0.5
- **4-1** : Rejet de chaleur à pression constante dans un échangeur de chaleur. 0.5
- Démonstration de la relation

$$Q_F = Cp(T4 - T1) \quad \underline{0.25}$$

$$Q_C = Cp(T3 - T2) \quad \underline{0.25}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_F}{Q_C} = 1 - \frac{Cp(T4 - T1)}{Cp(T3 - T2)} = 1 - \frac{T1}{T2} \times \left(\frac{\frac{T4}{T1} - 1}{\frac{T3}{T2} - 1} \right) \dots\dots\dots (1) \underline{0.25}$$

D'autre part on a pour une évolution isentropique :

$$\left(\frac{P2}{P1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{T2}{T1} \quad \underline{0.25}$$

$$\left(\frac{P3}{P4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{T3}{T4} \quad \underline{0.25}$$

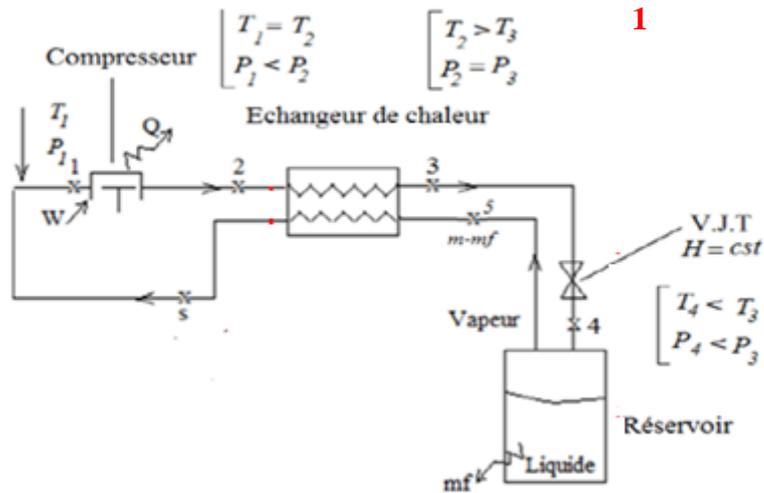
Mais $P3 = P2$ et $P1 = P4 \Rightarrow \frac{T2}{T1} = \frac{T3}{T4} \quad \underline{0.25}$

$\Rightarrow \frac{T3}{T2} = \frac{T4}{T1} \quad \underline{0.25}$ remplaçant dans (1) on trouve :

$$\eta = 1 - \frac{T1}{T2} \quad \underline{0.25}$$

B

- Le but de la liquéfaction des gaz :
 - Obtenir des gaz purs à partir d'un mélange de gaz. 0.5
 - Facilité et économie de transport. 0.5
 - Usage des basses températures 0.5
- Les conditions pour liquéfier un gaz :
 - La condition de température $T < T_C$ T_C : température critique -0.5
 - La condition de pression $P > P_{sat}$ P_{sat} : pression de saturation 0.5
- Le schéma du procédé de Linde simple



Exercice N°2

- La courbe **1**

Points	1	2	3	e	F
T(K)	260	260	250	-	-
P(Atm)	1	30	30	1	1
h(J/g)	420.5	412.3	401.1	245.5	34
s (J/gK)	4.27	3.23	3.2	3.2	0.5

(0.25x10)

➤ La fraction liquide

$$y = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_f - h_1)} + e \frac{(h_e - h_3)}{(h_f - h_1)} = \frac{(412.3 - 420.5)}{(34 - 420.5)} + 0.6 \frac{(245.5 - 401.1)}{(34 - 420.5)}$$

0.5

$$y = 0.263 \quad \mathbf{0.5}$$

➤ Le travail produit par la turbine

$$w_i = e(h_3 - h_e) \quad \underline{0.5}$$

$$w_i = 0.6 \times (401.1 - 245.5) = 93.36 \text{ J / g} \quad \underline{0.5}$$

➤ **Le travail consommé par le compresseur**

$$w_c = T_c (s_1 - s_2) - (h_1 - h_2) \quad \underline{0.5}$$

$$w_c = 260(4.27 - 3.23) - (420.5 - 412.3) = 262.2 \text{ J / g} \quad \underline{0.5}$$

➤ **Le travail spécifique**

$$w_0 = \frac{w}{y} \quad \underline{0.5}$$

$$w = T_c (s_1 - s_2) - (h_1 - h_2) - e(h_3 - h_e) \quad \underline{0.25}$$

$$w = 260(4.27 - 3.23) - (420.5 - 412.3) - 0.6(401.1 - 245.5) = 168.84 \text{ J / g} \quad \underline{0.25}$$

$$w_0 = \frac{w}{y} = \frac{168.84}{0.263} = 641.97 \text{ J / g} \quad \underline{0.5}$$

➤ **Le FOM**

$$FOM = \frac{w_{min}}{w_0} \quad \underline{0.5}$$

$$w_{min} = T_c (s_1 - s_f) - (h_1 - h_f) = 260(4.27 - 0.5) - (420.5 - 34) \quad \underline{0.5}$$

$$w_{min} = 593.7 \text{ J / g} \quad \underline{0.5}$$

$$FOM = \frac{w_{min}}{w_0} = \frac{593.7}{641.97} = 0.92 = 92\% \quad \underline{0.5}$$