

Thermodynamique 2 TD 01

Exercice 01 :

Un gaz parfait décrit le cycle ABCD constitué des transformations suivantes :

AB : Compression isotherme.

BC : chauffage isochore jusqu'à la température T_0 .

CD : détente isotherme.

DA : refroidissement isochore jusqu'à la température T_A .

- 1- Représenter le cycle sur le diagramme de Clapeyron.
- 2- Exprimer les travaux et les quantités de chaleur échangées par le gaz au cours des quatre transformations en fonction de P_A , V_A , V_B , n , T_C , C_V et R .
- 3- Calculer le travail total W_{Cycle} échangé au cours du cycle. S'agit-il d'un cycle moteur ou d'un cycle réfrigérateur ?
- 4- Donner l'expression du rendement de la machine.

Données :

$$P_A = 10^5 \text{ Pa}; \quad V_A = 1.40 \text{ m}^3; \quad V_B = 0.38 \text{ m}^3; \quad n = 64 \text{ moles}; \quad T_C = 270 \text{ K}; \quad C_V = 20.8 \text{ J.mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Exercice 02 :

Au cours d'un cycle, une machine thermique échange :

- Une quantité de chaleur Q_2 avec une source chaude à la température $T_2 = 600 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Une quantité de chaleur Q_1 avec une source froide à la température T_1
- Un travail W avec le milieu extérieur.

Les cycles suivants sont -ils possibles ?

- a. $Q_1 = -60 \text{ kJ}$; $Q_2 = -150 \text{ kJ}$; $W = -210 \text{ kJ}$; $T_2 = 1200 \text{ K}$; $T_1 = 300 \text{ K}$
- b. $Q_1 = -60 \text{ kJ}$; $Q_2 = 150 \text{ kJ}$; $W = -90 \text{ kJ}$; $T_2 = 650 \text{ K}$; $T_1 = 300 \text{ K}$
- c. $Q_1 = 150 \text{ kJ}$; $Q_2 = -180 \text{ kJ}$; $W = 30 \text{ kJ}$; $T_2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_1 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$

2. Une pompe à chaleur fonctionnant entre $T_1 = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ et $T_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ peut -elle avoir un coefficient d'efficacité $\eta = 15$?

Exercice 03 :

1. Dans une machine frigorifique, le système que l'on assimilera à un gaz parfait dont le rapport est-constant, décrit un cycle de Carnot. Au cours d'un cycle le gaz échange une quantité de chaleur Q_1 avec la source chaude à la température $T_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, une quantité de chaleur Q_2 avec la source froide à la température $T_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ et un travail W avec le milieu extérieur.

a- Représenter le cycle dans le diagramme (P, V) puis (T, S).

b- Exprimer en fonction de T_1 , T_2 et de Q_2 le travail théorique W reçu par le gaz au

Cours d'un cycle.

2. Du fait de l'irréversibilité de la machine, le rapport $\left| \frac{Q_2}{Q_1} \right|$ est égal à $0.8 \frac{T_2}{T_1}$.

a- Exprimer W' , travail reçu, en fonction de T_1 , T_2 et de Q_2 .

b- Quel travail faut-il fournir pour congeler 0.5 l d'eau prise à $0 \text{ }^\circ\text{C}$? (on donne la chaleur latente de congélation de l'eau: $L = 334 \text{ kJ/kg}$).

3. Exprimer en fonction de T_1 et T_2 puis calculer le coefficient d'efficacité de la machine dans les deux cas. Conclusion ?

Thermodynamique 2 TD 01

Exo1

1- Le cycle :

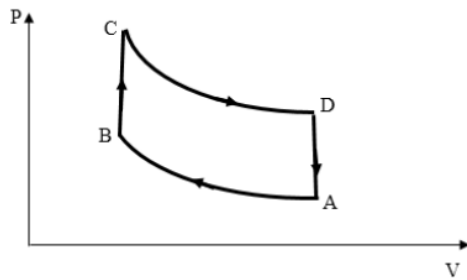


Figure III.8

2- Le calcul de W et Q

$$W_{AB} = - \int_A^B P dV = P_A V_A \ln \frac{V_A}{V_B} \Rightarrow Q_{AB} = - P_A V_A \ln \frac{V_A}{V_B} \quad (\text{III.52})$$

$$W_{BC} = 0 \Rightarrow Q_{BC} = nC_V \left(T_C - \frac{P_A V_A}{nR} \right) \quad (\text{III.53})$$

$$W_{CD} = nRT_C \ln \frac{V_B}{V_C} \Rightarrow Q_{CD} = - nRT_C \ln \frac{V_B}{V_C} \quad (\text{III.54})$$

$$W_{DA} = 0 \Rightarrow Q_{DA} = nC_V \left(\frac{P_A V_A}{nR} - T_C \right) \quad (\text{III.55})$$

A.N :

$$T_A = 263,23 \text{ K}$$

$$W_{AB} = 182.56 \text{ KJ}$$

$$Q_{AB} = -182.56 \text{ KJ}$$

$$Q_{BC} = 3.6 \text{ KJ}$$

$$W_{CD} = -187.26 \text{ KJ}$$

$$Q_{CD} = 187.26 \text{ KJ}$$

$$Q_{DA} = -3.6 \text{ KJ}$$

3-

$$W_{\text{Cycle}} = \Sigma W = -4.7 \text{ KJ} < 0 \Rightarrow \text{Cycle moteur} \quad (\text{III.56})$$

4-

$$\eta = \frac{|W_{\text{Cycle}}|}{Q_{\text{requis}}} = \frac{4.7}{3.6 + 187.26} = 2.46 \% \quad (\text{III.57})$$

Exo 02

Thermodynamique 2 TD 01

1. On doit vérifier :

Le premier principe pour un cycle : $(\Delta U = 0) \Leftrightarrow (W + Q_1 + Q_2 = 0)$

Le deuxième principe : $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$

a. $(Q_1 + W + Q_2 = -60 - 150 - 210 \neq 0) \Leftrightarrow$ (Le premier principe n'est pas vérifié)

b. $\left(\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0.43 > 0\right) \Leftrightarrow$ (Le deuxième principe n'est pas vérifié)

c. $\left(\begin{array}{l} \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = -0.21 \leq 0 \\ W + Q_1 + Q_2 = 0 \end{array}\right) \Leftrightarrow$ (Les deux principes sont vérifiés et qui correspondent le cas d'une machine frigorifique)

2. Le rendement η doit être inférieur ou égale à η_{Carnot}

$$\eta_{\text{Carnot}} = \left| \frac{Q_2}{W} \right| = \frac{-Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 11.72 < 15 \quad (\text{IV.20})$$

Non, la pompe ne peut pas avoir un coefficient d'efficacité $\eta = 15$ car dans ce cas $\eta > \eta_{\text{Carnot}}$

Exo 03

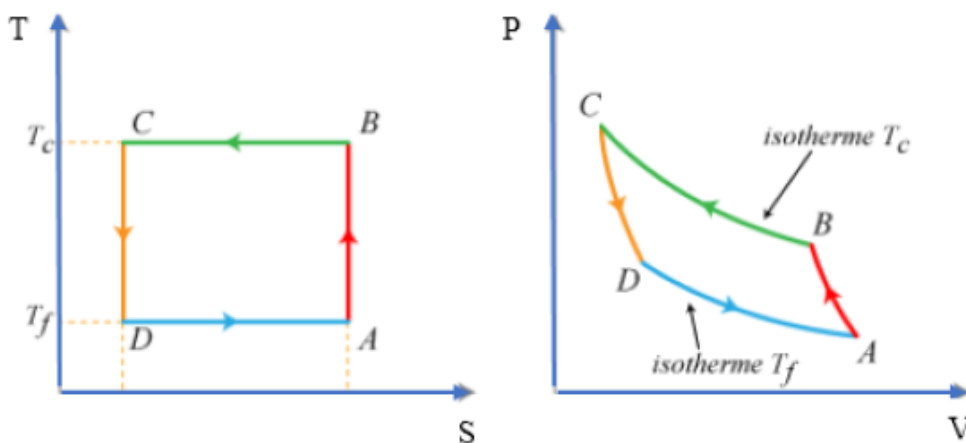
a) Machine frigorifique de Carnot :

AB : compression adiabatique (isentropique) amenant le système de T_1 à T_2 .

BC: compression isotherme ($T = T_2$), le système reçoit la quantité de chaleur $Q_2 > 0$ de la source chaude.

CD : détente adiabatique (isentropique) ramenant le système de T_2 à T_1

DA : détente isotherme ($T = T_1$), le système reçoit la quantité de chaleur $Q_1 < 0$ de la source froide.



Thermodynamique 2 TD 01

b) Calcul du travail W

$$\text{(Machine thermique)} \Leftrightarrow \begin{cases} \Delta U_{\text{Cycle}} = 0 \\ \Delta S_{\text{Cycle}} = 0 \end{cases}$$

$$\left(\begin{array}{c} \text{machine frigorifique} \\ \text{de Carnot} \end{array} \right) \Leftrightarrow (S_{\text{créé}} = 0) \Leftrightarrow \begin{cases} W + Q_1 + Q_2 = 0 \\ S_{\text{échangé}} = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \end{cases}$$

$$\left(\begin{array}{l} W = -(Q_1 + Q_2) \\ \frac{Q_1}{Q_2} = -\frac{T_1}{T_2} \end{array} \right) \Leftrightarrow W = -\left(-\frac{T_1}{T_2}Q_2 + Q_2\right) = Q_2\left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right)$$

$$\boxed{W = Q_2\left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right)} \quad (\text{IV.21})$$

2. Du fait de l'irréversibilité de la machine :

a)

$$\frac{Q_2}{Q_1} = -0.8 \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow Q_1 = \frac{T_1}{0.8 \times T_2} Q_2 \Rightarrow \boxed{W' = Q_2\left(\frac{T_1}{0.8 \times T_2} - 1\right)} \quad (\text{IV.22})$$

b)

$$Q_2 = \rho V L_{\text{fusion}} \Rightarrow \boxed{W' = \rho V L_{\text{fusion}}\left(\frac{T_1}{0.8 \times T_2} - 1\right)} \quad \text{avec } T_1 = 300 \text{ K et } T_2 = 273 \text{ K} \quad (\text{IV.23})$$

3. Le calcul de l'efficacité de la machine :

$$e_{\text{réversible}} = \frac{Q_2}{W} \Rightarrow e = \frac{Q_2}{Q_2\left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right)} \quad (\text{IV.24})$$

$$e_{\text{réversible}} = \frac{1}{\left(\frac{300}{273} - 1\right)} = 10$$

$$e = \frac{Q_2}{W} \Rightarrow e = \frac{Q_2}{Q_2\left(\frac{T_1}{0.8 \times T_2} - 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{T_1}{0.8 \times T_2} - 1\right)} \quad (\text{IV.25})$$

$$e_{\text{irréversible}} = \frac{1}{\left(\frac{300}{0.8 \times 273} - 1\right)} = 2.67$$

$$\boxed{e_{\text{irréversible}} < e_{\text{réversible}}} \quad (\text{IV.26})$$

Le résultat satisfait le théorème de Carnot