

Exercice 1 : Vrai ou Faux

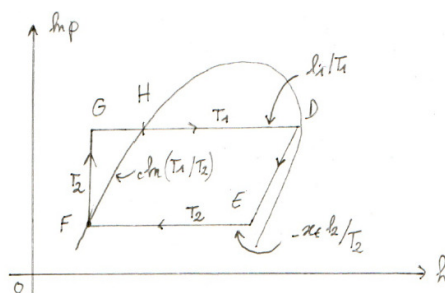
1. Faux
2. Faux
3. Vrai
4. Faux

Exercice 2 : Lecture d'un diagramme entropique

	État 1	État 2	État 3	État 4
s (kJ.K ⁻¹ .kg ⁻¹)	7.4	2.2	4	7.9
P (MPa)	0.1	1.0	10	0.02
T (°C)	100	180	310	60
État Physique	Vapeur (saturée)	Liquide (saturé)	Liquide et vapeur	Vapeur (saturée)

Exercice 3 : Turbomachine avec changement d'état †

Allure du cycle :



1. $\Delta h_{vap}(293) = h_v(293) - h_l(293) = 2454 \text{ kJ.kg}^{-1}$
2. $s_E = s_D$, soit $s_E - s_D = 0$; comme l'entropie est une fonction d'état, $0 = s_E - s_F + s_F - s_H + s_H - s_D = x_E \cdot \frac{l_2}{T_2} + c \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - \frac{l_1}{T_1}$, soit $x_E = 0,68$
3. On utilise le théorème des moments : $x_E = \frac{h_E - h_D}{\Delta h_{vap}}$, soit $h_E = h_l + x_E \cdot \Delta h_{vap} = 1753 \text{ kJ.kg}^{-1}$.
4. $w_u = h_D - h_E = 1047 \text{ kJ.kg}^{-1}$
5. $h = u + p.v$ donc $\Delta h \approx v_{liq}(P_1 - P_2) = 4 \text{ kJ.kg}^{-1}$ pour une opération quasi adiabatique ($q = 0$). On en déduit donc que le travail fourni dans la pompe est négligeable devant celui cédé par la turbine, pour une même quantité de fluide traité.
6. Chaudière : pas de travail fourni : $q_C = h_D - h_G = l_1 + c_L(T_1 - T_2) = 2675 \text{ kJ.kg}^{-1}$
 $\eta = \frac{w_u}{q_C} = 0,39$ et $\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 0,44$. L'irréversibilité du chauffage FG puis GH est responsable de cet écart.
7. D_m : débit de masse ; $P = D_m \cdot w_u$ soit $D_m = 0,0955 \text{ kg.s}^{-1}$

Exercice : Cycle industriel de réfrigération †

Voir fichier manuscrit

Exercice : Turboréacteur ††

1. La compression est adiabatique, réversible avec un gaz parfait. On peut donc appliquer les lois de Laplace pour la transformation $1 \rightarrow 2$:

$$T_1 P_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_2 P_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}. \text{ On a donc :}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 484 \text{ K}$$

On applique au compresseur le premier principe de la thermodynamique à un système ouvert en régime permanent : $\Delta h = w_i = c_p (T_2 - T_1)$.

$q_e = 0$ car la transformation est adiabatique et $\Delta h = c_p (T_2 - T_1)$ car on a un gaz parfait.

On a donc :

$$w_i = c_p (T_2 - T_1) = 196 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Le compresseur est entraîné par la turbine. Le travail fourni par la turbine est récupéré par le compresseur : $|w_{34}| = w_{12}$.

Comme $w_{34} < 0$, on a $w_{12} + w_{34} = 0 = c_p (T_2 - T_1) + c_p (T_4 - T_3)$, d'où :

$$T_4 = T_3 - T_2 + T_1 = 1054 \text{ K}$$

La transformation $3 \rightarrow 4$ est adiabatique, réversible avec un gaz parfait. On peut appliquer les lois de Laplace : $T_3 P_3^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_4 P_4^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$, donc :

$$P_4 = P_3 \left(\frac{T_3}{T_4} \right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = 3,39 \text{ bar}$$

La transformation $4 \rightarrow 5$ est adiabatique, réversible, gaz parfait. On peut appliquer les lois de Laplace pour la transformation $4 \rightarrow 5$:

$$T_4 P_4^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_5 P_5^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}. \text{ On a donc :}$$

$$T_5 = T_4 \left(\frac{P_4}{P_5} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 744 \text{ K}$$

On applique à la tuyère le premier principe pour un système ouvert en régime permanent : $h_5 - h_4 + \frac{1}{2}c_5^2 = 0$ car on néglige toutes les vitesses sauf celle en sortie de la tuyère. On a donc :

$$c_5 = \sqrt{2(h_4 - h_5)} = \sqrt{2c_p(T_4 - T_5)} = 787 \text{ m.s}^{-1}$$

2. On applique à la chambre de combustion le premier principe pour un système ouvert en régime permanent :

$$h_3 - h_2 = q_{23} = q_{\text{combustion}} = c_p (T_3 - T_2) = 766 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$w_i = 0$ car il n'y a pas de partie mobile de la machine. On a donc :

$$e_c = \frac{1}{2}c_5^2 = 310 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Le rendement thermique vaut :

$$\eta_{th} = \frac{\text{utile}}{\text{coût}} = \frac{\frac{1}{2}c_5^2}{q_{23}} = 40,4 \%$$

3. On retrouve les mêmes résultats que dans la question 1 : $T_2 = 484 \text{ K}$; $T_4 = 1054 \text{ K}$ et $P_4 = 3,39 \text{ bar}$.

La transformation $5 \rightarrow 6$ est adiabatique, réversible avec un gaz parfait. On peut appliquer les lois de Laplace pour la transformation $5 \rightarrow 6$:

$$T_5 P_5^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_6 P_6^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}.$$

On a donc :

$$T_6 = T_5 \left(\frac{P_5}{P_6} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 1362 \text{ K}$$

On applique à la tuyère le premier principe pour un système ouvert en régime permanent : $h_6 - h_5 + \frac{1}{2}c_6^2 = 0$ car on néglige toutes les vitesses sauf celle en sortie de la tuyère. On a donc :

$$c_6 = \sqrt{2(h_5 - h_6)} = \sqrt{2c_p(T_5 - T_6)} = 1066 \text{ m.s}^{-1}$$

4. On applique à la chambre de combustion le premier principe pour un système ouvert en régime permanent :

$$h_5 - h_4 = q_{45} = c_p (T_5 - T_4) = 876 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$w_i = 0$ car il n'y a pas de partie mobile de la machine.

On en déduit que :

$$q_{\text{combustion}} = q_{23} + q_{45} = 1642 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

L'énergie cinétique massique est :

$$e_c = \frac{1}{2}c_6^2 = 568 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Le rendement thermique vaut :

$$\eta_{th} = \frac{\text{utile}}{\text{coût}} = \frac{e_c}{q_{\text{combustion}}} = 34,6 \%$$

Le turboréacteur de la 2^e partie a un moins bon rendement que celui de la 1^{re} partie. On récupère moins d'énergie cinétique pour un coût identique.

Exercice : Pompe à chaleur ††