Exercice 5 : Turboréacteur

1. (a) L'évolution dans le compresseur est adiabatique réversible, donc :

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

$$\boxed{T_2 = \frac{T_1}{\tau^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}} = T_1 \tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

(b) Par application du premier principe industriel à l'air entre ① et ② :

$$\Delta h_{1\to2} = w_{u,1\to2} + q_{1\to2} \quad \text{or } q_{1\to2} = 0.$$

donc $\Delta h_{1\to 2} = w_{u,1\to2}$

Par application de la 2^{nde} loi de Joule :

$$\Delta h_{1\to2} = c_p (T_2 - T_1) \Rightarrow \underline{w_{u,1\to2} = c_p T_1 \left(\tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right)}$$

2. (a) A.N $\underline{T_2 = 579\,K}$.

(b) Dans la turbine, comme en 1(b) on peut écrire :

$$\Delta h_{3\to4} = w_{u,3\to4} = c_p (T_4 - T_3)$$

Or d'après l'énoncé, la turbine permet d'entraîner le compresseur donc

$$w_{u,3\to4} = - w_{u,1\to2}$$

Ainsi $\underline{T_4 = T_3 - \dfrac{w_{u,1\to2}}{c_p} \underset{A.N}{=} 921\,K}$.

3. (a) D'après la loi de Laplace.

$$T_3^{\gamma} P_3^{1-\gamma} = T_4^{\gamma} P_4^{1-\gamma} \Leftrightarrow P_4 = \left(\frac{T_3}{T_4}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \times P_3 \text{. (avec } P_3 = P_2\text{)}$$

A.N

$$\underline{P_4 = 3,96 \text{ bar.}}$$

(b) De même :

$$T_3^{\gamma} P_3^{1-\gamma} = T_5^{\gamma} P_5^{1-\gamma} \Leftrightarrow T_5 = T_3 \times \left(\frac{P_3}{P_5}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \text{ (avec } P_5 = P_1\text{)}$$

A.N

$$\underline{T_5 = 621 \text{ K.}}$$

4. Le 1er principe industriel s'écrit entre ④ et ⑤ :

$$\Delta h_{4\to5} + \Delta e_{c\,4\to5} = w_{u\,4\to5} + q_{4\to5} \quad \text{(ici on ne néglige pas } \Delta e_c \text{ !)}$$

or adiabatique donc $q_{4\to5} = 0$

et pas de partie mobile donc $w_{u,4\to5} = 0$

Finalement.

$$\Delta h_{4\to5} = c_p(T_5 - T_4) = -\Delta e_{c\,4\to5}$$

d'où

$$\underline{\mathcal{P}_{cin} = D_m c_p (T_4 - T_5) \underset{A.N.}{=} 1,5.10^7 \text{ W.}}$$

5. (a) Le 1er principe industriel entre ② et ③ s'écrit :

$$\Delta h_{2\to3} = q_{2\to3} + \underbrace{w_{u,2\to3}}_{=0} \text{ donc}$$

$$\underline{\mathcal{P}_{th} = D_m q_{2\to3} = D_m c_p (T_3 - T_2)}$$

Finalement :

(b) $$\eta_{th} = \frac{T_4 - T_5}{T_3 - T_2} \underset{A.N}{=} 48,3\,\%$$

6. Par définition $\mathcal{P}_{th}$ est due à la combustion de kérosène donc

$$\mathcal{P}_{th} = D_k P_k = D_m c_p (T_3 - T_2)$$

$$\Leftrightarrow D_k = \frac{D_m c_p (T_3 - T_2)}{P_k} \underset{A.N}{=} 6,2 \cdot 10^{-1}\ \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Exercice 6 : REP

1.

2. (a) Lors d'une vaporisation totale :

$$\Delta h_{vap} = h_G - h_L = 2455 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

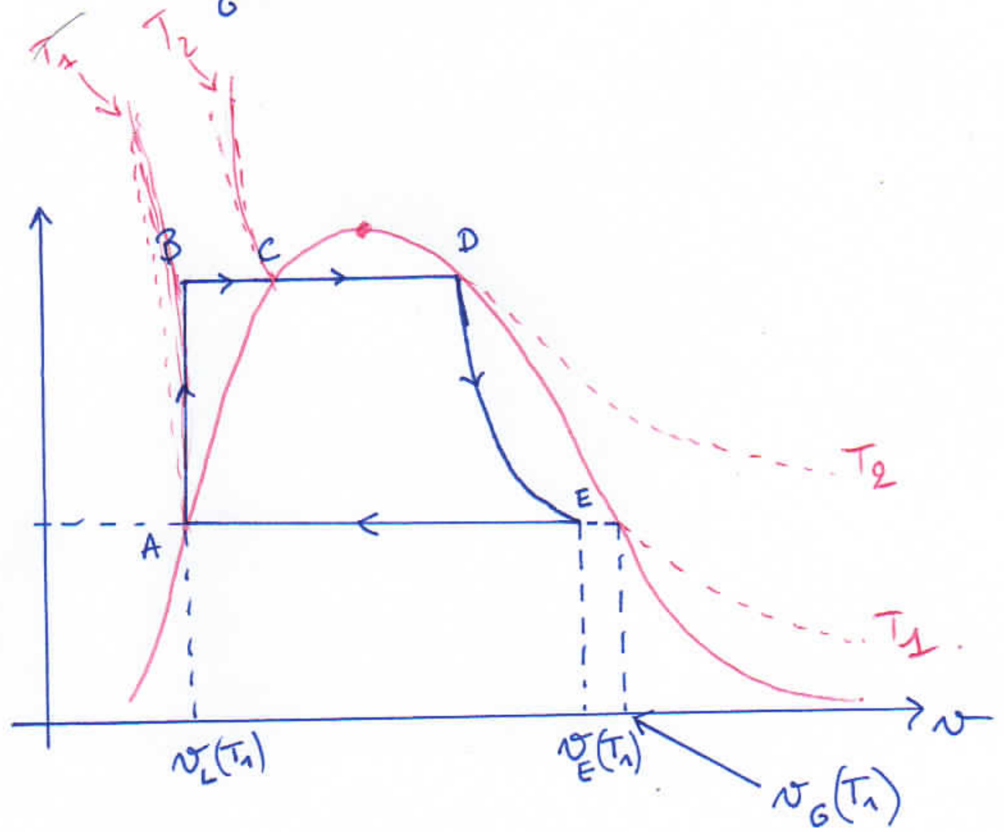
(b) D'après l'EEGP :

$$PV = nRT \overset{n=\frac{m}{M}}{\Leftrightarrow} v_G = \frac{RT}{P \times M}$$

D'où

A.N $v_G(T=293) = 58{,}1 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$

3.



4. Dans la turbine, le fluide est en écoulement stationnaire. Ainsi, d'après le 1er principe industriel :

$h_E - h_D = w_{DE}$ avec w_{DE}, le travail massique reçu par le fluide dans la turbine (pas de transfert thermique car la turbine est calorifugée.

Le travail est l'opposé du travail reçu par l'alternateur

donc :

$$w_a = -w_{DE} = h_D - h_E .$$

Or : • en D, le fluide est sous forme de vapeur en totalité

donc $h_D = h_G\,(T_2 = 573\,K)$

• en E, il y a une fraction x sous forme de vapeur

donc $h_E = x\, h_G\left(T_1 = 293K\right) + (1-x)\, h_L\left(T_1 = 293K\right)$

$\Rightarrow$ $\underline{w_a = h_G\left(T_2 = 573K\right) - \left(x\, h_G\left(T_1 = 293K\right) + (1-x)\, h_L\left(T_1 = 293K\right)\right)}$

$\underline{w_a \underset{A.N}{=} 1,140 \cdot 10^3\ kJ \cdot kg^{-1}}$

5. (a) Par application du premier principe en écoulement stationnaire à l'eau entre B et D :

$$q_{BD} = \Delta h_{BD} = h_D - h_B \quad \text{(aucun travail ici)}.$$

Or $h_D - h_B = \underbrace{h_D - h_C}_{\text{vaporisation isotherme}} + \underbrace{h_C - h_B}_{\text{échauffement isobare de l'eau liquide.}}$

$$\underline{h_D - h_B = \overbrace{h_G(T_2) - h_L(T_2)} + \overbrace{c\left(T_2 - T_1\right)}}$$

d'où $\underline{q_{BD} = 2,78 \cdot 10^3\, kJ \cdot kg^{-1}}$

(b) Le rendement est : $e = \dfrac{1{,}140 \cdot 10^3}{2{,}78 \cdot 10^3} = 0{,}41$

Dans ce calcul, on a négligé le travail nécessaire pour faire fonctionner la pompe.

(c) Le rendement de Carnot pour un moteur réversible est :

$$e_c = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 0{,}49 > e$$

$\Rightarrow$ il y a des irréversibilités notamment dans les transformations AB et BC.