Machines à écoulement de fluide : Cycle d'une centrale nucléaire REP

1 Il s'agit d'**éviter les fuites de radioactivité** dans l'environnement, seule l'eau du circuit primaire étant directement en contact avec la matière radioactive.

2 Il s'agit d'une machine **motrice**, dans laquelle la source chaude est l'eau du circuit primaire et la source froide l'eau du circuit de refroidissement.

3 Voir figure 3.

4 On lit $T_2 = 180\,°\mathrm{C}$ (encoche horizontale), $T_5 \simeq 35\,°\mathrm{C}$ (encoche verticale mais lecture précise difficile) et $x_2 = x_4 = 0{,}90$.

5 Par application du premier principe industriel à la turbine haute pression (étape 1-2),

$$h_2 - h_1 \underset{\text{1er P}}{\overset{}{=}} w_{12} + \cancel{q_{12}} \qquad \text{d'où} \qquad w_{12} \simeq 2550 - 2780 = -230\,\mathrm{kJ\cdot kg^{-1}}\,.$$

De même pour la turbine basse pression,

$$w_{34} = h_4 - h_3 = 2330 - 3050 = -720\,\mathrm{kJ\cdot kg^{-1}}\,.$$

Le travail algébrique total fourni par les turbines vaut donc

$$\boxed{w_\mathrm{turb} = w_{12} + w_{34} = -950\,\mathrm{kJ\cdot kg^{-1}}\,.}$$

6 En supposant le rendement de l'alternateur égal à 100 %,

$$\mathcal{P} = D\,w_\mathrm{turb} \qquad \text{d'où} \qquad \boxed{D = \frac{\mathcal{P}}{w_\mathrm{turb}} = 1{,}4\cdot 10^3\,\mathrm{kg\cdot s^{-1}}\,.}$$

7 L'eau échange du transfert thermique avec la source chaude dans le générateur de vapeur et dans le surchauffeur. Les transformations y sont isobares, donc sans travail indiqué. D'après le premier principe appliqué au générateur de vapeur,

$$q_{61} = h_1 - h_6 \simeq 2780 - 130 = 2650\,\mathrm{kJ\cdot kg^{-1}}\,.$$

De même, pour le surchauffeur

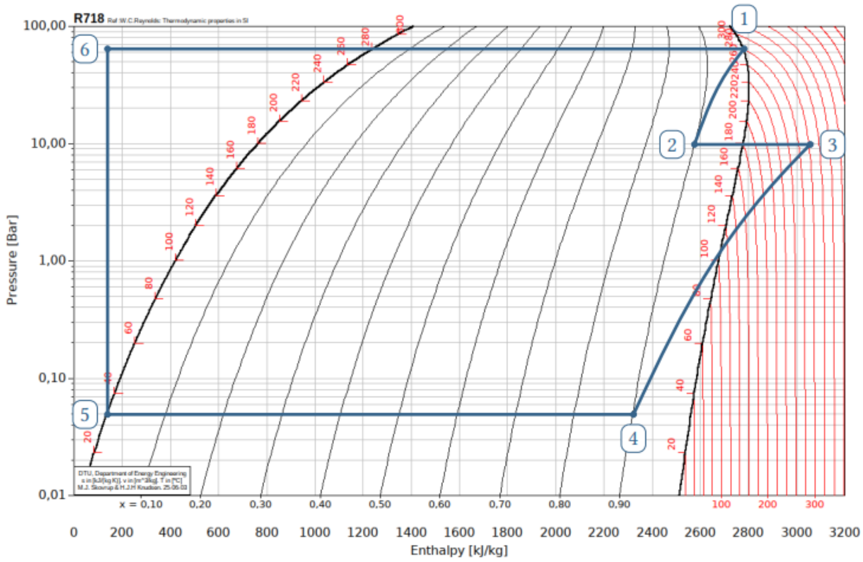
$$q_{23} = h_3 - h_2 \simeq 3050 - 2550 = 500\,\mathrm{kJ\cdot kg^{-1}}\,.$$

Au total,

$$\boxed{q_\mathrm{ch} = q_{61} + q_{23} = 3150\,\mathrm{kJ\cdot kg^{-1}}\,.}$$

Le rendement thermodynamique vaut donc

$$\boxed{\eta = -\frac{w_\mathrm{turb}}{q_\mathrm{ch}} = 0{,}30\,.}$$



Machines à pistons : Moteur Diesel à double combustion

1 La transformation $1 \longrightarrow 2$ est une adiabatique réversible d'un gaz parfait. D'après la loi de Laplace en température et volume, $TV^{\gamma-1} = \text{cte}$, d'où

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \qquad \text{soit} \qquad \boxed{T_2 = \beta^{\gamma-1}\, T_\mathrm{m} = 9{,}1 \cdot 10^2\,\mathrm{K}\,.}$$

La transformation $2 \longrightarrow 3$ est isochore, d'où on déduit de l'équation d'état

$$\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_2}{T_2} \qquad \text{avec} \qquad \begin{cases} T_2 = \beta^{\gamma-1}\, T_\mathrm{m} \\ P_3 = p_\mathrm{M} \\ P_2 = \left(\dfrac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} P_1 = \beta^{\gamma}\, p_\mathrm{m} \end{cases}$$

ce qui conduit à

$$\boxed{T_3 = \frac{p_\mathrm{M}}{\beta\, p_\mathrm{m}} T_\mathrm{m} = 1{,}0 \cdot 10^3\,\mathrm{K}\,.}$$

Enfin, la loi de Laplace appliquée sur $4 \longrightarrow 5$ qui est adiabatique réversible donne

$$T_5 = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{\gamma-1} T_4$$

où le volume V_4 s'exprime en fonction de $V_3 = V_\mathrm{m}$ par la caractéristique de l'isobare,

$$\frac{V_4}{T_4} = \frac{V_3}{T_3}$$

ce qui donne

$$T_5 = \left(\frac{V_3}{V_5}\,\frac{T_4}{T_3}\right)^{\gamma-1} T_4 = \left(\frac{1}{\beta}\,\frac{T_\mathrm{M}}{T_\mathrm{m}}\,\frac{\beta\, p_\mathrm{m}}{p_\mathrm{M}}\right)^{\gamma-1} T_\mathrm{M} \qquad \text{donc} \qquad \boxed{T_5 = \left(\frac{T_\mathrm{M}\, p_\mathrm{m}}{T_\mathrm{m}\, p_\mathrm{M}}\right)^{\gamma-1} T_\mathrm{M} = 8{,}8 \cdot 10^2\,\mathrm{K}\,.}$$

2 Notons n la quantité de matière de gaz du mélange. Le transfert thermique Q_c est fourni au cours des étapes $2 \longrightarrow 3$ et $3 \longrightarrow 4$. En utilisant d'une part le bilan d'énergie (premier principe) appliquée à $2 \longrightarrow 3$ qui est isochore et d'autre part le fait que le système soit un gaz parfait, on trouve

$$\Delta_{2\to3} U \underset{\substack{\uparrow \\ \text{1er P isoV}}}{=} 0 + Q_{2\to3} \underset{\substack{\uparrow \\ \text{GP}}}{=} C_V (T_3 - T_2)$$

De même, pour $3 \longrightarrow 4$ qui est une isobare sans travail autre que celui des forces de pression apparentes, on obtient

$$\Delta_{3\to4} H \underset{\substack{\uparrow \\ \text{1er P isoP}}}{=} 0 + Q_{3\to4} \underset{\substack{\uparrow \\ \text{GP}}}{=} C_P (T_4 - T_3) = \gamma C_V (T_4 - T_3)$$

Finalement,

$$Q_\mathrm{c} = Q_{2\to3} + Q_{3\to4} \qquad \text{donc} \qquad \boxed{Q_\mathrm{c} = C_V \left[T_3 - T_2 + \gamma (T_4 - T_3)\right]}$$

3 Comme $5 \longrightarrow 1$ est une isochore d'un gaz parfait, on a

$$\Delta_{5\to1} U \underset{\substack{\uparrow \\ \text{1er P}}}{=} 0 + Q_{5\to1} \underset{\substack{\uparrow \\ \text{GP}}}{=} C_V (T_1 - T_5) \qquad \text{d'où} \qquad \boxed{Q_\mathrm{f} = C_V (T_1 - T_5)\,.}$$

4 D'après le premier principe appliqué sur l'ensemble du cycle,

$$\Delta U \underset{\substack{\uparrow \\ \text{1er P}}}{=} W + Q_\mathrm{c} + Q_\mathrm{f} \underset{\substack{\uparrow \\ \text{cycle}}}{=} 0$$

et ainsi

$$W = -C_V \left[T_3 - T_2 + \gamma (T_4 - T_3)\right] - C_V (T_1 - T_5)$$
$$\boxed{W = C_V \left[T_2 - T_3 + T_5 - T_1 + \gamma (T_3 - T_4)\right]}$$

5 Le rendement du moteur est défini par

$$\boxed{\eta = \left|\frac{W}{Q_\mathrm{c}}\right| = -\frac{W}{Q_\mathrm{c}} = 63\,\%\,.}$$