9. Pour la détente isotherme réversible $2 \to 3$, on peut écrire :

$$\delta Q_{\mathrm{ch}} = T_{\mathrm{ch}} \mathrm{d}S = -\frac{M P_1 V_1}{R T_1} T_{\mathrm{ch}} (c_P - c_V) \frac{\mathrm{d}P}{P} = -\frac{P_1 V_1 T_{\mathrm{ch}}}{T_1} \frac{\mathrm{d}P}{P}$$

On en déduit :

$$Q_{\mathrm{ch}} = \frac{P_1 V_1 T_{\mathrm{ch}}}{T_1} \ln\left(\frac{P_2}{P_3}\right) = \frac{P_1 V_1 T_{\mathrm{ch}}}{T_{\mathrm{fr}}} \ln\left(\frac{P_2}{P_3}\right)$$

De même, pour la compression isotherme réversible $4 \to 1$, on obtient :

$$Q_{\mathrm{fr}} = \frac{P_1 V_1 T_{\mathrm{fr}}}{T_1} \ln\left(\frac{P_4}{P_1}\right) = P_1 V_1 \ln\left(\frac{P_4}{P_1}\right)$$

Numériquement, on trouve :

$$\begin{cases} Q_{\mathrm{ch}} = \dfrac{10^5 \times 10^{-7} \times 330}{300} \ln(1{,}4) = 1{,}1 \times 0{,}3 \times 10^{-2} = 3{,}3 \text{ mJ} \\ Q_{\mathrm{fr}} = 10^5 \times 10^{-7} \times \ln(0{,}7) = -3{,}0 \text{ mJ} \end{cases}$$

10. Le travail vaut donc :

$$W^{\mathrm{ext}} = -Q_{\mathrm{ch}} - Q_{\mathrm{fr}} = -0{,}3 \text{ mJ}$$

L'expression littérale s'écrit :

$$W^{\mathrm{ext}} = -P_1 V_1 \left(\frac{T_{\mathrm{ch}}}{T_{\mathrm{fr}}} \ln\left(\frac{P_2}{P_3}\right) + \ln\left(\frac{P_4}{P_1}\right)\right)$$

Or, $\ln\left(\frac{P_2}{P_3}\right) = -\ln\left(\frac{P_4}{P_1}\right)$. Par conséquent, travail se récrit :

$$W^{\mathrm{ext}} = -P_1 V_1 \ln\left(\frac{P_2}{P_3}\right)\left(\frac{T_{\mathrm{ch}}}{T_{\mathrm{fr}}} - 1\right) = -Q_{\mathrm{ch}} \frac{T_{\mathrm{fr}}}{T_{\mathrm{ch}}}\left(\frac{T_{\mathrm{ch}}}{T_{\mathrm{fr}}} - 1\right) = -Q_{\mathrm{ch}}\left(1 - \frac{T_{\mathrm{fr}}}{T_{\mathrm{ch}}}\right) = -\eta_{\mathrm{Carnot}}\, Q_{\mathrm{ch}}$$

C'est cohérent, le cycle étant un cycle de Carnot !

11. Les changements d'état mettent en œuvre des quantités de chaleur beaucoup plus élevées. Comme le rendement s'écrit $\eta = \frac{-W^{\mathrm{ext}}}{Q_{\mathrm{ch}}} = 1 + \frac{Q_{\mathrm{fr}}}{Q_{\mathrm{ch}}}$, on a intérêt à augmenter Q_{ch} ce qu'un changement d'état permet de faire.