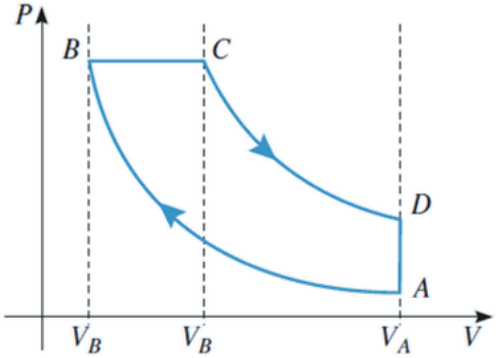
TD Machines thermiques - Correction

Exercice 1 : Moteur Diesel (243, 244, 245, 246, 247)

1. On a les conditions de Laplace alors $p_2V_2^\gamma = p_1V_1^\gamma$ alors $p_2 = a^\gamma p_1$. La transformation étant isobare alors $p_2 = p_3$. De même que précédemment $p_3V_3^\gamma = p_4V_4^\gamma$ alors $p_4 = (\frac{a}{b})^\gamma p_1$.
2. $V_2 = \frac{V_1}{a}$. La détente isochore donne $V_4 = V_1$. Alors $V_3 = \frac{V_1}{b}$.
3.

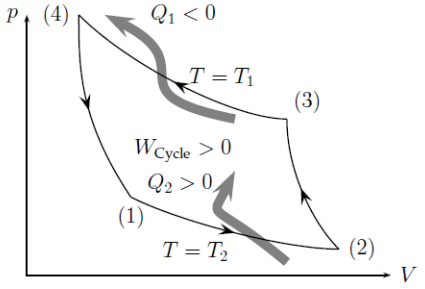
État	P (bar)	V (L)	T (K)
E1	1 bar	24,9 L	300 K
E2	22,7 bar	2,77 L	756 K
E3	22,7 bar	8,3 L	2266 K
E4	4,66 bar	24,9 L	1396 K

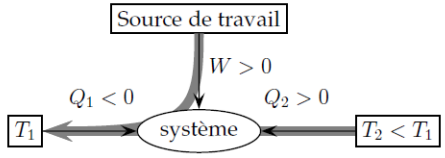
4. 

5. $Q_{12} = 0$ et $W_{12} = \Delta U_{12} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_2 - T_1) = 9{,}48\ kJ$
   $Q_{23} = Q_c = \Delta_{23} - W_{23} = \gamma\frac{nR}{\gamma-1}(T_3 - T_2) = 43{,}9\ kJ$ et $W_{23} = -p_2(V_3 - V_2) = -12{,}6\ kJ$
   $Q_{34} = 0$ et $W_{34} = \Delta U_{34} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_4 - T_3) = -18{,}1\ kJ$
   $W_{41} = 0$ et $Q_{41} = \Delta U_{41} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_1 - T_4) = -22{,}8\ kJ$
6. $\Delta U = W + Q = 0$ donc $W = -Q_{41} - Q_{23}$
7. $\eta = -\frac{W}{Q_c} = \frac{Q_{41}+Q_{23}}{Q_c} = 0{,}48$
8. $\eta = \frac{\frac{nR}{\gamma-1}(T_1-T_4)+\gamma\frac{nR}{\gamma-1}(T_3-T_2)}{\gamma\frac{nR}{\gamma-1}(T_3-T_2)} = \frac{\frac{1}{\gamma}(T_1-T_4)+(T_3-T_2)}{T_3-T_2} = 0{,}48$
9. $\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 0{,}87$

Exercice 2 : Pompe à chaleur (246, 247)

1. L'efficacité de la pompe à chaleur sera maximale si son fluide caloporteur (le système) décrit le cycle réversible de Carnot.





   Pour que ce cycle soit effectivement récepteur la compression isothermes se fera au contact de la source chaude (l'appartement à chauffer) à T_1 et la détente isotherme à celui de la source froide (par exemple l'air extérieur) à T_2.
   La détente adiabatique devra s'effectuer de T_1 à T_2 et la compression adiabatique de T_2 à T_1. Le fluide parcours alors le cycle dans le sens trigonométrique et on a bien $W > 0$ (cycle récepteur).
2. En appliquant le premier principe de la thermodynamique au fluide, sur un cycle, $\Delta Ucycle = 0 = W + Q_1 + Q_2$ alors $W = -Q_1 - Q_2$ et de même le second principe entraîne $\Delta Scycle = 0 = Se + Sc = Se$ alors $0 = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2}$ (égalité de Clausius).

On en déduit $Q_2 = -\frac{T_2}{T_1}Q_1$ d'où $W = -Q_1[1 - \frac{T_2}{T_1}]$le travail apporté par la source de travail. Si on raisonne sur une durée Δt, on en déduit la puissance à fournir $P = \frac{W}{\Delta t} = -\frac{Q_1}{\Delta t}\left[1 - \frac{T_2}{T_1}\right] = 2{,}84\ kW$ avec ici, d'après l'énoncé, $Q_1 = -2108\ J$ pour $\Delta t = 1\ h$.

3. On peut définir l'efficacité thermique de la pompe à chaleur $e_{T,max} = -\frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_1+Q_2} = \frac{T_1}{T_1-T_2} = 19{,}5$ en utilisant à nouveau le premier principe sur un cycle et l'égalité de Clausius.
   Cela signifie que pour chaque joule dépensé sous forme de travail, on récupère (théoriquement) 19,5 joule pour maintenir l'appartement à la température T_1 (si on parlait en terme de rendement, celui-ci serait de 1950 %!).
4. L'efficacité $e_{T,max}$ sera maximale si le cycle est effectivement celui de Carnot (récepteur) et si T_2 est proche de T_1 . Elle tend même théoriquement vers l'infini lorsque $T_2 = T_1$ mais il est vrai qu'il est alors inutile de chauffer l'appartement !
   La pompe est surtout utile lorsqu'il fait froid dehors ! On a alors$T_2 - T_1$ important d'où une efficacité moindre ... mais toujours supérieure à ce qu'on pourrait obtenir avec un simple radiateur électrique qui présente un rendement de 100 % "seulement".

Exercice 3 : Réfrigérateur (244)

1. La transformation $4 \rightarrow 1$ est isenthalpique donc $\Delta h_{4\rightarrow 1} = 0 = \Delta h_{liq} + \Delta h_{chgt}$ en décomposant la transformation en deux étapes, d'abord on change la température à l'état liquide puis on change d'état.
   Donc $0 = c_l(T_1 - T_4) + x_1 l_{vap(-30°C)}$
   Donc $x_1 = -\frac{c_l(T_1-T_4)}{l_{vap(-30°C)}} = 0{,}37$
2. La transformation $2 \rightarrow 3$ est isentropique on utilise la loi de Laplace $p^{1-\gamma}T^{\gamma} = cst$ donc $T_3 = T_2\left(\frac{p_2}{p_3}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 60°C$
3. Le transfert thermique avec la source froide se fait lors de la transformation isobare $1 \rightarrow 2$ donc $q_F = h_2 - h_1 = h_2 - h_{2'} + h_{2'} - h_1 = c_{pg}(T_2 - T_{2'}) + (1 - x_1)l_{vap(-30°C)} = 146\ kJ/kg$.
   Le travail est fourni au fluide lors de la compression isentropique $2 \rightarrow 3$ et $w_u = h_3 - h_2 = c_{pg}(T_3 - T_2) = 54\ kJ/kg$
   L'efficacité frigorifique est donc de $e_F = \frac{q_F}{w_u} = 2{,}7$.
4. L'efficacité frigorifique de Carnot $e_{F,C} = \frac{T_F}{T_C-T_F} = 3{,}5 > e_F$