Correction Épreuve B – Thermo

Première partie – Étude d'un climatiseur

I - A. Transferts thermiques

Q1. On applique les principes de la thermodynamique au fluide du climatiseur sur un cycle :

- $\Delta U = W + Q \overset{\text{cycle}}{=} 0 \Rightarrow \boxed{W = -Q}$

- $\Delta S \overset{\text{cycle}}{=} 0 = \dfrac{Q}{T} + S_c \Rightarrow \boxed{S_c = -\dfrac{Q}{T}}$

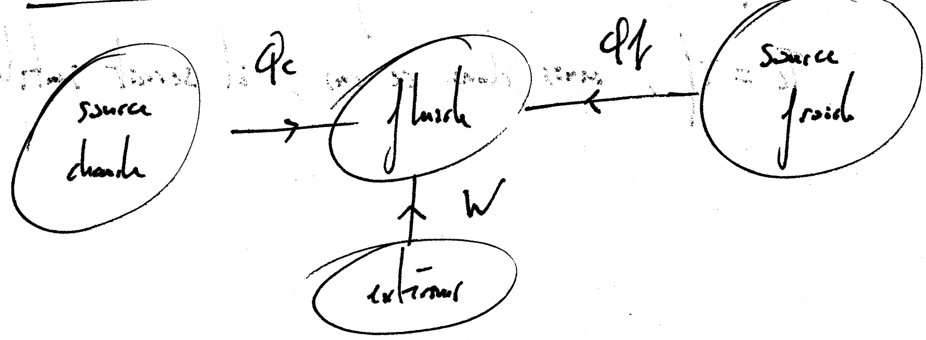
Q2. D'après les relations précédentes, on voit que Q a le signe de $-S_c \leq 0$: donc $\boxed{Q \leq 0}$. D'après le 1er principe, on a donc $\underline{W \geq 0}$.

Q3. Le but d'un climatiseur est de refroidir la pièce d'intérêt, donc de lui "retirer de la chaleur", qui est donc apportée au fluide : $\underline{Q \geq 0}$.

On voit donc d'après les signes déterminés précédemment qu'un tel dispositif n'est pas envisageable physiquement.

I - B. Efficacité d'un cycle réversible

Q4. Schéma de principe :



Q5. Nécessairement, il faut fournir un travail pour réaliser ce transfert thermique "non-naturel" : $\underline{W > 0}$.

De plus, d'après Q3 : $\begin{cases} \Phi_c < 0 \\ \Phi_f > 0 \end{cases}$

Q6. L'efficacité s'écrit : $\left[e = \dfrac{\Phi_f}{W} \right]$

Dans l'hypothèse d'un fonctionnement réversible : $S_c = 0 \Rightarrow \dfrac{\Phi_c}{T_c} + \dfrac{\Phi_f}{T_f} = 0$ (1)

(d'après le 2nd principe)

. 1er principe (sur un cycle) : $W = -\Phi_c - \Phi_f$

$$\Rightarrow e = \frac{-\Phi_f}{\Phi_c + \Phi_f}$$

or, d'après (1) : $\Phi_c = -\dfrac{T_c}{T_f}\Phi_f$ d'où $e = \dfrac{-\Phi_f}{\Phi_f - \dfrac{T_c}{T_f}\Phi_f}$

soit $e = \dfrac{-1}{1 - \dfrac{T_c}{T_f}} = \dfrac{-T_f}{T_f - T_c}$

donc $\left[e = \dfrac{T_f}{T_c - T_f} \right]$

Q7. On a d'après l'énoncé $T_f = cste$.

→ L'efficacité est maximale lorsque T_c se rapproche de T_f, et est maximale lorsque $T_c = T_f$, mais dans ce cas, il serait inutile de refroidir !

Deuxième partie - Étude thermo. d'un chauffe-eau

II.A. Chauffe-eau électrique

Q8. On applique le 1er principe à l'eau contenue dans le chauffe-eau, de l'état 1 à l'état 2 :

$$\Delta U = U_2 - U_1 \underset{\substack{W=0 \\ (\text{isochore})}}{=} Q \underset{\substack{1^{\text{ère}}\text{ loi} \\ \text{de Joule}}}{=} \rho_e V c_e (T_{e2} - T_{e1})$$

Ainsi, $\left[Q = c_e \rho_e V (T_{e2} - T_{e1})\right]$. A.N : $Q \simeq 10^3 \times 0{,}100 \times (65 - 15) \times 4{,}2 \times 10^3$

$$Q \simeq 2 \times 10^7 \text{ J}$$

Q9. Le transfert thermique est lié à la puissance fournie par la relation :

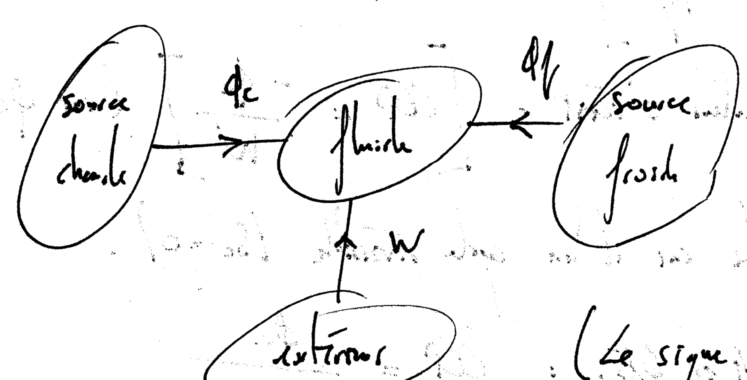
$$Q = P \Delta t \Leftrightarrow \left[\Delta t = \frac{Q}{P}\right]$$

A.N : $\Delta t = \dfrac{3 \times 10^7}{2 \times 10^3} \simeq 1{,}5 \times 10^4 \text{ s}$

$\simeq$ entre 4 et 5 heures.

II.B - Chauffe-eau thermodynamique

Q10.



$$\begin{cases} W > 0 \\ Q_f > 0 \\ Q_c < 0 \end{cases}$$

(Le signe des échanges est le même que pour le climatiseur ditherme).

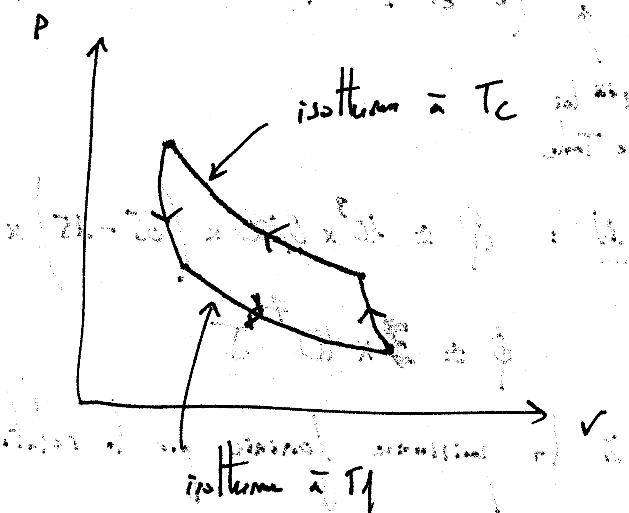
Q11. Source froide : pièce où est situé le chauffe-eau.

Source chaude : eau du chauffe-eau.

Q12. Transformation isotherme : transformation se réalisant à température constante.

Transformation adiabatique : transformation se réalisant sans transfert thermique.

Q13. Cycle de Carnot :



- Cycle récepteur donc orienté dans le sens trigonométrique.
- Isotherme : $P = \frac{cst}{V}$: hyperbole dans le diagramme de Watt.
- Adiabatique (+ réversible) : $P = \frac{cst}{V^\gamma}$: hyperbole ⊕ pentue que l'isotherme.

Q14. Au cours d'un cycle réversible, le premier principe s'écrit :

$$\left[\Delta U = 0 = W + \phi_c + \phi_f\right]$$

Q15. Au cours d'un cycle réversible, le second principe s'écrit :

$$\left[\Delta S = 0 = \frac{\phi_c}{T_c} + \frac{\phi_f}{T_f}\right]$$

Q16. Le COP d'une pompe à chaleur s'écrit : $\left[COP = \frac{-\phi_c}{W}\right]$ (car $\phi_c < 0$).

Q17. Le COP est maximal dans le cas d'un cycle réversible ($S_c = 0$).

On réécrit COP avec les Q14 et Q15. : $COP_{max} = \frac{\phi_c}{\phi_f + \phi_c}$

De plus, $\phi_f = -\frac{T_f}{T_c}\phi_c \Rightarrow COP_{max} = \frac{\phi_c}{\phi_c - \frac{T_f}{T_c}\phi_c} = \frac{1}{1-\frac{T_f}{T_c}}$

Finalement, $\boxed{COP_{max} = \frac{T_c}{T_c - T_f}}$.

Q18. A.N : $COP_{max} = \frac{338}{338-280} = \frac{338}{58} \simeq 6$.

Q19. COP_{max} est évalué dans des conditions idéales : transferts thermiques s'effectuent de manière isotherme et compressions/détentes de manière isentropiques. Les transformations réelles sont bien différentes de celles-ci, ce qui explique que $\boxed{COP_{max} > COP_{réel}}$.

Q20. On voit que pour avoir une efficacité maximale, il faut que $T_c - T_f$ soit la plus faible possible : il faut donc placer le chauffe-eau dans une pièce dont la température T_f n'est pas trop faible, idéalement.

Q21. Le premier principe s'écrit :

$$dU = \delta W + \delta\phi_c + \delta\phi_f = 0$$

Q22. Le second principe s'écrit :

$$dS = \underbrace{\delta S_c}_{=0} + \delta S_e = \frac{\delta\phi_c}{T_c} + \frac{\delta\phi_f}{T_f} = \frac{\delta\phi_c}{T_c(t)} + \frac{\delta\phi_f}{T_a}$$

$T_c = T_c(t)$, $T_f = T_a$

Q23. Le premier principe appliqué à l'eau du chauffe-eau s'écrit :

$$dU = \boxed{\delta Q_c = m_e c_e \, dT_e}$$

Q24. On reprend la Q21 : $0 = \delta W + m_e c_e \, dT_c + \delta Q_f$

or, $\delta Q_f = -\dfrac{T_a}{T_c(t)} \delta Q_c = \boxed{-\dfrac{T_a}{T_c(t)} m_e c_e \, dT_c = \delta Q_f}$

d'où $0 = \delta W + m_e c_e \, dT_c - \dfrac{T_a}{T_c(t)} m_e c_e \, dT_c$

$$0 = \delta W + m_e c_e \, dT_c \left(1 - \frac{T_a}{T_c(t)}\right) \Rightarrow \boxed{\delta W = m_e c_e \, dT_c \left(\frac{T_a}{T_c(t)} - 1\right)}$$

Q25. On intègre δW de l'état 1 à l'état 2 :

$$W = \int_1^2 \delta W = \int_1^2 -m_e c_e \, dT_c + T_a m_e c_e \int_1^2 \frac{dT_e}{T_c(t)}$$

$$W = m_e c_e (T_{e_1} - T_{e_2}) + m_e c_e T_a \ln\left(\frac{T_{e_2}}{T_{e_1}}\right)$$

$$\boxed{W = m_e c_e \left[(T_{c_1} - T_{c_2}) + T_a \ln\left(\frac{T_{c_2}}{T_{c_1}}\right) \right]}$$

Q26. A.N : $W = 4{,}33 \text{ MJ}$.

Si l'on avait fourni 4,33 MJ à l'aide d'un chauffe-eau électrique, l'élévation ΔT de température aurait été telle que :

$$m_e c_e \Delta T = W \Leftrightarrow \Delta T = \frac{W}{\rho_e V c_e}$$

A.N : $\Delta T = \dfrac{4{,}33 \times 10^6}{10^3 \times 0{,}200 \times 4{,}2 \times 10^3} \simeq \dfrac{4{,}3}{8{,}36} \times 10^1 \simeq \underline{\underline{5\,°C}}$: beaucoup moins efficace ...