Propulsion nucléaire d'un sous-marin — CCINP TSI 2012

3.1.1) Σ_f fermé $\Rightarrow m(\Sigma_f)(t) = m(\Sigma_f)(t+dt)$

$\Leftrightarrow m_c(t) + dm_e = m_c(t+dt) + dm_s$

or $m_c(t) = m_c(t+dt)$ puisque l'écoulement est stationnaire

d'où $\boxed{dm_e = dm_s}$

3.1.2). Σ_f fermé qui subit une transfo entre t et $t+dt$

1er principe : $d(U+E_c+E_p) = \delta W + \delta Q$

- $dU = U_c(t+dt) + U_{\Sigma_s} - U_c(t) - U_{\Sigma_e} = dm(u_s - u_e)$

  $= U_c(t+dt) - U_c(t)$ car écoulement stationnaire

- de même $dE_c = dm(e_{cs} - e_{ce})$ et $dE_p = dm(e_{ps} - e_{pe})$

- $\delta W = \delta W_p + \delta W_i = -P_e(0 - V_{\Sigma_e}) - P_s(V_{\Sigma_s} - 0) = P_e\, dm\, v_e - P_s\, dm\, v_s$

d'où $dm(u_s - u_e + e_{cs} - e_{ce} + e_{ps} - e_{pe} - P_e v_e + P_s v_s) = \delta W_i + \delta Q$

$\Leftrightarrow \boxed{\Delta(h + e_c + e_p) = \frac{\delta W_i}{dm} + \frac{\delta Q}{dm} = w_i + q}$

3.2). s en abscisse

$\Rightarrow$ Évolute isentropique : droite verticale

3.3). 2→3 isobare à P_2 jusqu'à $T_3 = 500°C$

3→4 isentropique (droite verticale $s = 7\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$) jusqu'à $P_1 = 1\,bar$

4→1 isobare à P_1 jusqu'à 1.

→ cf diag.

3.4).

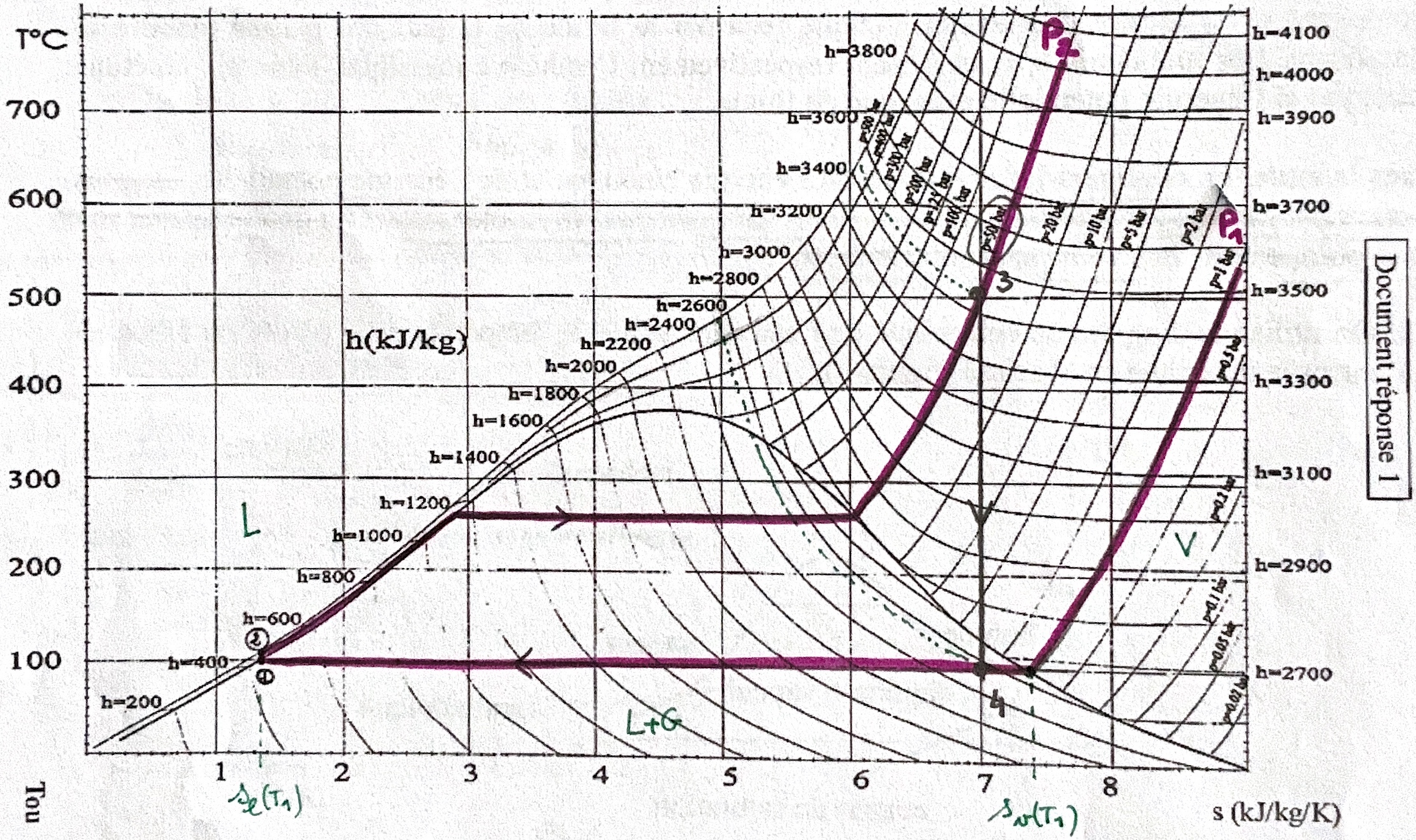
T_1	h_3	h_4	s_4	$s_v(T_1)$	$s_\ell(T_1)$
100°C	$3500\,kJ.kg^{-1}$	$2550\,kJ.kg^{-1}$	$7\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$	$7{,}4\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$	$1{,}35\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$

3.5) th. des moments : $\boxed{x_4 = \frac{s_4 - s_\ell(T_1)}{s_v(T_1) - s_\ell(T_1)} = \frac{7 - 1{,}35}{7{,}4 - 1{,}35} = 0{,}93.}$

3.6) 1er pe pour fluide en écoulement stationnaire dans organe $j \to k$: $\Delta_{j\to k}(h + e_c + e_p) = w_i + q$

avec $\Delta e_c \simeq 0 \simeq \Delta e_p$

Diagramme T- S de l'eau



- Dans le condenseur 4→1 : $h_1 - h_4 = q_{cond}$ car pas de partie mobile ds le condenseur

AN: $q_{cond} = 440 - 2550 = -2110 \text{ kJ.kg}^{-1}$

- Dans le générateur de vapeur 2→3 : $h_3 - h_2 = q_{GV}$ "

AN: $q_{GV} = 3500 - 475 = 3025 \text{ kJ.kg}^{-1}$

- Dans la pompe 1→2 : $h_2 - h_1 = w_{pompe}$ car évolut° adiab. ds la pompe

AN: $w_{pompe} = 475 - 440 = 35 \text{ kJ.kg}^{-1}$

- Dans la turbine 3→4 : $h_4 - h_3 = w_{turb}$ "

AN: $w_{turb} = 2550 - 3500 = -950 \text{ kJ.kg}^{-1}$

3.7). $w_{alt} = \underbrace{-w_{turb}}_{\text{fourni par fluide au niveau de la turbine}} \underbrace{- w_{pompe}}_{\text{reçu par fluide dans la pompe}}$ AN: $w_{alt} = 950 - 35 = 915 \text{ kJ.kg}^{-1}$

3.8). $\eta = \dfrac{\text{énergie utile}}{\text{énergie coûteuse}} = \dfrac{w_{alt}}{q_{GV}}$

AN: $\eta = \dfrac{915}{3025} = 0,30.$

8 DG cohérent pour centrale nucléaire.

Optimisate thermique d'une pièce.

CCINP TSI 2017.

I.1. Intérêt d'un double vitrage.

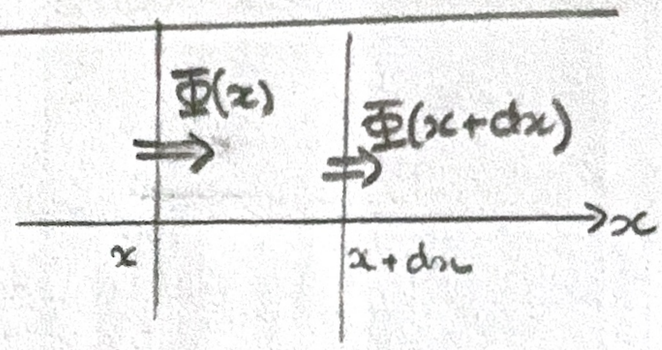
Q1). Fourier : $\vec{j}_{th} = -\lambda \cdot \overrightarrow{grad}\, T = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\vec{e}_x = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx}\vec{e}_x$

- $\vec{j}_{th} = -\lambda \cdot \overrightarrow{grad}\, T$: cas 3D
- $= -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\vec{e}_x$: cas 1D cartésien
- $= -\lambda \cdot \frac{dT}{dx}\vec{e}_x$: rég. stationnaire

---

Q2). $\Phi(x) = \iint_S \vec{j}_{th} \cdot \underbrace{\vec{dS}}_{dS\vec{e}_x} = \iint_S j_{th}(x)\vec{e}_x \cdot dS\vec{e}_x$

$\hookrightarrow$ à x fixé



(=) $\boxed{\Phi(x) = j_{th}(x) \cdot S}$

Usi de Φ : W
↳ puissance thermique.

Q3) syst {tranche de surface S d'épaisseur dx} | fermé, macro, au repos — assimilé à une PCi

1er pe entre t et t+dt : $\underbrace{dU}_{=0} = \underbrace{\delta^2 W}_{=0} + \delta^2 Q$ (PCi).
(Stationnaire)

et $\delta^2 Q = (\Phi(x) - \Phi(x+dx)) \cdot dt$

$\Rightarrow \boxed{\Phi(x) = \Phi(x+dx)}$.
→ conservat° du flux thermique

Q4)- On a $\Phi(x) = j_{th}(x) \cdot S = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \cdot S$

(=) $\boxed{\frac{dT}{dx} = -\frac{\Phi}{\lambda \cdot S} = cste}$ ⇒ $T(x) = -\frac{\Phi}{\lambda \cdot S} \cdot x + \underbrace{T(x=0)}_{=T_0}$

profil affine

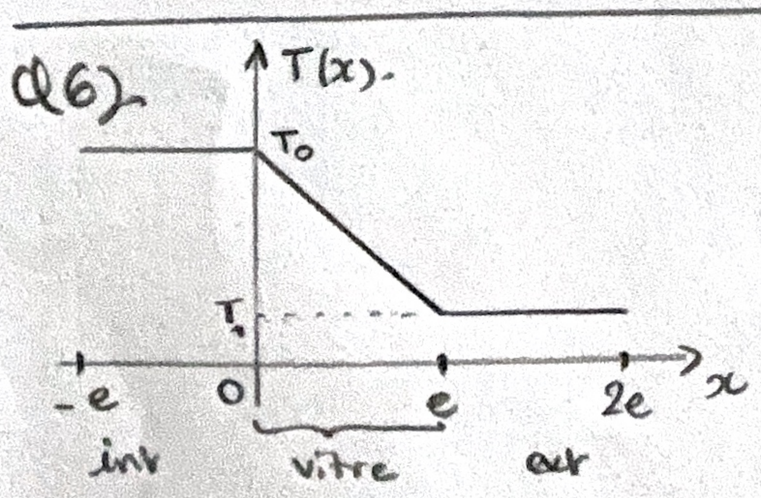
$=T_0$ en considérant le contact thermique parfait en $x=0$.

Q5)- On veut exprimer T(x) en f° de $T_0 = T(x=0)$; $T_1 = T(x=e)$ → hyp contact thermique parfait en x=e

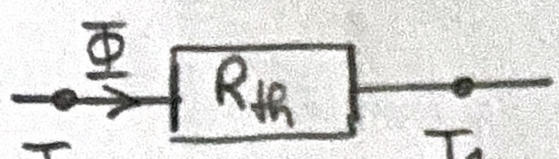
$T(x) = ax + b$ avec a et b 2 cstes

$\begin{cases} T(0) = b = T_0 \\ T(e) = ae + b = T_1 \end{cases}$ (=) $\begin{cases} b = T_0 \\ a = \frac{T_1 - T_0}{e} \end{cases}$ (=) $\boxed{T(x) = \frac{T_1 - T_0}{e} \cdot x + T_0}$.

Q6).



Q7)



$$\boxed{T_0 - T_1 = R_{th} \cdot \Phi}$$

Q4 on avait $T(x) = -\frac{\Phi}{\lambda S} \cdot x + T_0$

$$\Rightarrow \underbrace{T(e)}_{T_1} = -\frac{\Phi}{\lambda S} \cdot e + T_0$$

$$\Leftrightarrow \boxed{T_0 - T_1 = \left(\frac{e}{\lambda S}\right)_{R_{th}} \cdot \Phi}$$

Q8) $\boxed{R_{th} = \frac{4{,}0.10^{-3}}{10 \times 6{,}0} = \frac{2}{3}.10^{-3} \simeq \underline{6{,}7.10^{-4}\ K.W^{-1}}}$

Q9) Résistances thermiques toutes traversées par le même flux Φ'

$\leftrightarrow$ résistances élec. en série

$$\Rightarrow \boxed{R_{tot} = \sum_{k=1}^{3} R_{th}}$$

Q10) $\boxed{R_{tot} = \frac{e}{\lambda_v . S} + \frac{3e}{\lambda_{air} . S} + \frac{e}{\lambda_v . S} = \frac{e}{S}\left(\frac{2}{\lambda_v} + \frac{3}{\lambda_{air}}\right)}$

Q11) $\boxed{R_{tot} = \frac{4{,}0.10^{-3}}{6{,}0}\left(\frac{2}{1{,}0} + \frac{3}{1/3.10^{-1}}\right) = \frac{2}{3}.10^{-3}\left(2+90\right) \simeq \frac{93}{3} \times 2.10^{-3} = 31 \times 2.10^{-3} = \underline{6{,}2.10^{-2}\ K.W^{-1}} \gg R_{th}}$

avec $\Phi' = \frac{T_0 - T_e}{R_{tot}} < \frac{T_0 - T_e}{R_{th}} = \Phi$ → diminute des pertes thermiques

---

Q12). $^{40}_{18}Ar$: atome $\begin{cases} \text{18 protons et } 40-18 = 22 \text{ neutrons dans le noyau} \\ \text{18 e}^- \end{cases}$

Q16). avec de l'argon à la place de l'air : $\boxed{R_{tot_{Ar}} = \frac{e}{S}\left(\frac{2}{\lambda_v} + \frac{3}{\lambda_{Ar}}\right)}$

AN : $\boxed{R_{tot_{Ar}} = \frac{4{,}0.10^{-3}}{6{,}0} \times \left(\frac{2}{1{,}0} + \frac{3}{1/5.10^{-1}}\right) = \frac{2}{3}.10^{-3}.\left(2+150\right) \simeq 2.10^{-3}\,\frac{153}{3} = 51 \times 2.10^{-3} = \underbrace{1{,}02.10^{-1}\ K.W^{-1}}_{> R_{tot_{air}}}}$

Q17) $\boxed{R_{th_{\text{simple vitrage}}} \ll R_{tot_{air}} < R_{tot_{Ar}}}$

↳ vitrage le ⊕ efficace pour réduire les pertes thermiques

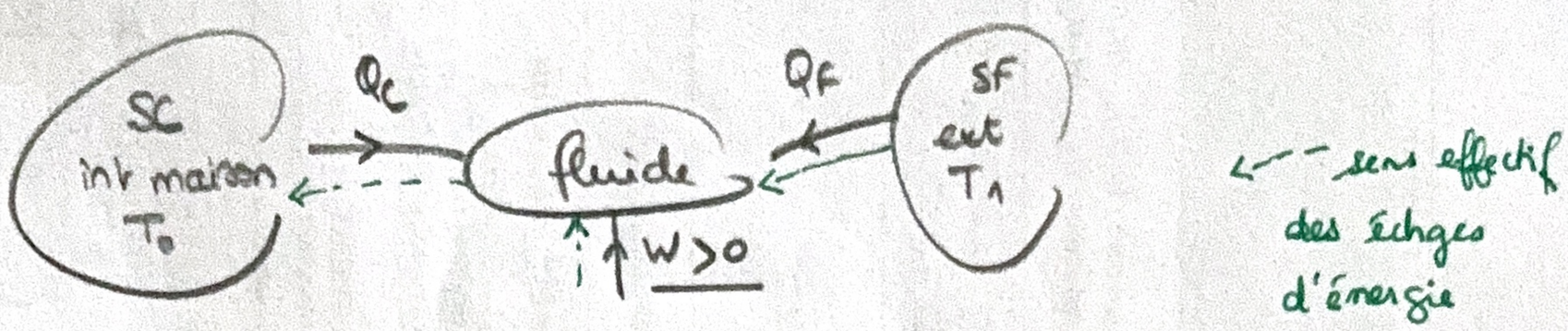
$R_{tot_{Ar}} \simeq 1{,}5 \cdot R_{tot_{air}}$ → réduit les pertes d'un facteur 1,5

$R_{tot_{air}} \simeq 100 \cdot R_{th_{\text{simple vitrage}}}$ → " 100

→ compromis coût - efficacité thermique → double vitrage avec air.

I.2. Utilisation d'une pompe à chaleur

Q18) PAC réversible



$\underline{Q_C<0 \text{ et } Q_F>0}$.

Q19) $\boxed{\varepsilon = \dfrac{-Q_C}{W}}$

$-Q_C$: chaleur cédée par fluide à la SC → énergie utile

W : travail reçu par le fluide → énergie coûteuse

Q20) syst {fluide} fermé qui subit un cycle de transfo rév

1er pe $\quad \underbrace{\Delta E_{tot}}_{=0} = W + Q_C + Q_F \quad (=) \quad -W = Q_C + Q_F$

2e pe $\quad \underbrace{\Delta S}_{=0} = S_{éch} + \underbrace{S_c}_{=0} = \dfrac{Q_C}{T_C} + \dfrac{Q_F}{T_F} \quad (=) \quad \dfrac{Q_F}{Q_C} = -\dfrac{T_F}{T_C}$

d'où $\boxed{\varepsilon = \dfrac{1}{1+Q_F/Q_C} = \dfrac{1}{1-T_F/T_C} = \dfrac{T_C}{T_C-T_F} = \dfrac{T_0}{T_0-T_1}}$

AN: $\boxed{\varepsilon = \dfrac{20,0+273}{20,0-5,0} = \dfrac{293}{15,0} \approx \dfrac{300}{15} \simeq \underbrace{20}_{>4} = \varepsilon_{réelle}}$.

cas étudié : PAC idéale : rév

Q21) $T(t=0)=T_0$ PAC arrêtée $T(t)$ ↘ de T_0 à $T_f = 15°C = T(t=3h)$.

$\underline{\forall t \in [0,3h],\ T(t) > T_1 = 5°C} \Rightarrow \underline{\delta Q'} = -aC\underbrace{(T(t)-T_1)}_{>0}.dt \ \underline{<0}$

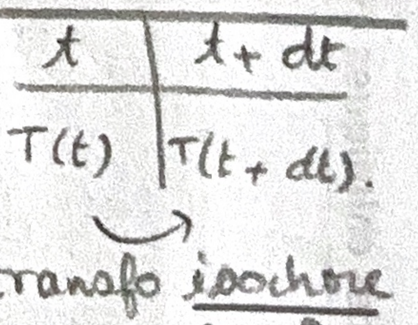
$\underline{\delta Q'}$ est le transfert thermique $\underline{\text{reçu par l'air de la pièce}}$ $\delta Q'<0$

C'est donc $\underline{\text{l'air est qui reçoit effectivement un transfert thermique}}$

Q22) $[\delta Q'] = [a].[C].[\theta].[dt]$ ainsi $\underline{\text{Usi de a}}$: $\underline{s^{-1}}$

$\delta Q'$ → J ; C → $J.K^{-1}$; θ → K ; dt → s

Q23) Syst {air intérieur} {fermé, macro au repos, assimilé à un GP} subissant transfo



transfo isochore (air occupe le même volume = volume de la pièce).

1ère loi de Joule $dU = C\,dT$

$\delta W = 0$ (isochore)

$\delta Q = \delta Q'$ (pas de source car PAC éteinte).

d'où $\quad \mathcal{C}\,dT = -a\,\mathcal{C}(T(t)-T_1).dt$

$(=) \quad \dfrac{dT}{dt} + a\,T(t) = \underbrace{a\,T_1}_{B}$

Q24) $T(t) = T_h(t) + T_p(t)$

$= K_1 e^{-a \cdot t} + K_2$

avec K_2 tq $0 + aK_2 = aT_1 \Leftrightarrow K_2 = T_1$

et $T(0) = K_1 + T_1 = T_0 \Leftrightarrow K_1 = T_0 - T_1$

d'où $\boxed{T(t) = (T_0 - T_1) e^{-a \cdot t} + T_1}$

Q25) on a $T(t_1) = (T_0 - T_1) e^{-a \cdot t_1} + T_1 = T_f$ avec $t_1 = 3h$, $T_f = 15°C$

$(*) \quad \frac{(T_0 - T_1)}{T_f - T_1} = e^{a \cdot t_1}$

$(\Leftrightarrow) \quad \boxed{a = \frac{1}{t_1} \cdot \ln\left(\frac{T_0 - T_1}{T_f - T_1}\right)} =$

AN : $a = \frac{1}{3 \times 3600} \cdot \ln\left(\frac{20-5}{15-5}\right) = \frac{1}{10800} \cdot \ln\left(\frac{15}{10}\right) \simeq 10^{-4} \times \ln(1,5)\, s^{-1} \simeq \underline{4.10^{-5} s^{-1}}$

$a = 10^{-3}$ usi donnée de l'énoncé ↵ / valeurs incohérentes ...

Q26) $\boxed{\mathcal{P} = \frac{\delta W}{dt}}$

Q27). idem Q23 $\underbrace{dU}_{C\,dT} = \delta W + \delta Q = 0 + \delta Q' + \underbrace{(-\delta Q_c)}_{\varepsilon \cdot \delta W}$

$(\Leftrightarrow) \quad C\,dT = -a\,C(T(t) - T_1)\,dt + \varepsilon \cdot \mathcal{P} \cdot dt$

$(\Leftrightarrow) \quad \frac{dT}{dt} + a\,T(t) = \underbrace{a\,T_1}_{K \cdot s^{-1}} + \frac{\varepsilon \mathcal{P}}{C}$ ($\mathcal{P}$: $W = J \cdot s^{-1}$, C : $J \cdot K^{-1}$)

avec $\varepsilon = \frac{T}{T - T_1}$ d'où $\boxed{\frac{dT}{dt} + a\,T - \frac{\mathcal{P}}{C} \cdot \frac{T}{T - T_1} = a\,T_1}$

Rq : • si $T - T_1$ varie peu $\simeq T_{moy} - T_1$

$\frac{dT}{dt} + \underbrace{\left(a - \frac{\mathcal{P}}{C(T_{moy} - T_1)}\right)}_{1/\tau} T = a\,T_1$

si $\tau > 0$ alors un rég. permanent peut-être atteint

↳ $a > \frac{\mathcal{P}}{C(T_{moy} - T_1)}$

• en rég. stationnaire $\frac{dT}{dt} = 0$, T_∞ vérifie $a\,T_\infty(T_\infty - T_1) - \frac{\mathcal{P}}{C} \cdot T_\infty - a\,T_1(T_\infty - T_1) = 0$.

→ éqe du 2nd degré en T_∞.