

Centrale HP 215 ①
PARTIE IV - Diffusion.

A① Si le solide est isotrope et homogène, la diffusion se fait de la même façon dans toutes les directions. Or

$$l \ll a, b \text{ donc } \tau_{\text{diff}, x} = \frac{\rho c}{\lambda} l^2 \ll \tau_{\text{diff}, y, z} = \frac{\rho c}{\lambda} a^2$$

T ne varie donc pas en y et z à l'échelle de temps de sa variation en x : $T \approx f(y, z)$.

② $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{d}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$; cf. cours (je m'en suis d'ailleurs déjà servi au ①...)

③ Avec une loi $T(x) = A x + B$
et $T(0) = T_1$, $T(l) = T_0$, $T(x) = \frac{T_0 - T_1}{l} x + T_1$

$$\phi = \int_{\Sigma} \vec{j}(x) \cdot \vec{S} = - \lambda \frac{T_0 - T_1}{l} ab$$

④ cf. cours : $I = G U$ soit $G_R = \frac{\lambda ab}{l}$ ou encore $R_R = \frac{l}{\lambda ab}$ analogue à $R = \frac{l}{S \gamma(ab)}$

B ①. h s'exprime $\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. ②

• Si h et T_0 sont indépendants de y et z , ce qui est le cas ici,

$S_{cc} = h (T_0 - T_a) S$ où P_{cc} est le flux conducto-convectif à travers S
soit $R_h = \frac{T_0 - T_a}{S_{cc}} = \frac{1}{h S}$.

② $R_{K_{Si}} = 11 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$ et $R_{K_{cu}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$.

$R_h = 35 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$ pour l'air immobile et 10x moins si l'air est brassé. On voit bien que les transferts c.c gouvernent les échanges : les deux résistances sont en série donc $R_T \approx R_h$. Si l'on veut améliorer les échanges on doit renouveler l'air d'où l'intérêt d'un ventilateur et/ou augmenter la surface de contact avec l'air (d'où l'utilisation d'ailettes de refroidissement dans certains appareils : voir les générateurs continus en TP et la suite du problème...)

C. Après une lecture des données ③ on extrait les températures =

- de fusion de Si 1410°C
- de fusion de Cu 1083°C
- de jonction du processeur: 100°C

ainsi que le TDP: 15 W (qui est la seule donnée de puissance).

Après une recherche rapide sur le net:

T_{jonction} est la température maximale admise pour le processeur (si elle est atteinte celui-ci se met en sécurité pour ne pas être endommagé mais l'ordinateur fonctionne plus...) et le TDP (Thermal Design

Power ou enveloppe thermique) est le transfert thermique maximal (en puissance) du processeur vers l'extérieur.

Comme il est peu réaliste de penser que l'on puisse atteindre 1083°C même localement dans le processeur il faut

considérer que 100°C est la température ④ limite à ne pas dépasser.

Faisons un bilan d'énergie (1^{er} ppe...) Sur le processeur en le considérant comme une plaque $a \times b \times e$ de Si ($40 \times 25 \times 1,5 \text{ mm}$)

$$\underbrace{\rho_{\text{Si}} c_{\text{Si}} ab e \frac{dT}{dt}}_{\text{dt}} = (\text{TDP}) dt - h(T(t) - T_a) S dt$$

avec $S = 2ab$ (en négligeant les surfaces $2ae$ et $2be$), soit:

$$\rho_{\text{Si}} ab e c_{\text{Si}} \frac{dT}{dt} + 2hT(t)ab = \text{TDP} + 2h ab T_a$$

$$\frac{dT}{dt} + \frac{2h}{\rho_{\text{Si}} c_{\text{Si}} e} T(t) = \frac{\text{TDP} + 2h ab T_a}{\rho_{\text{Si}} ab e c_{\text{Si}}}$$

$$\text{on intègre } T(t) = T_a + \frac{\text{TDP}}{2hab} \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

$$\text{avec } \tau = \frac{\rho_{\text{Si}} c_{\text{Si}} e}{2h} = 41 \text{ s avec les données}$$

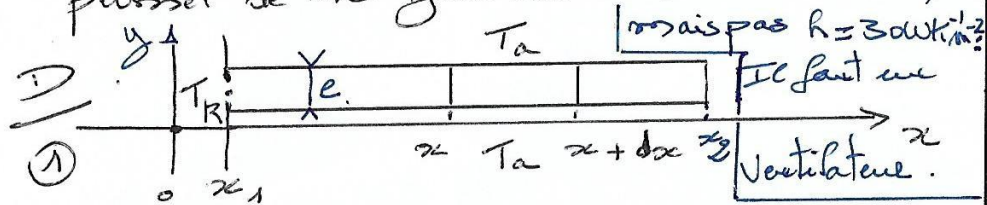
$$(e = 1,5 \text{ mm}). \text{ On obtient alors avec } T(t_f) = 100^{\circ}\text{C} : \underline{t_f = -\tau \ln \left[1 - \frac{2hab(T - T_a)}{\text{TDP}}\right]} \\ \underline{t = 16 \text{ s.}}$$

c'est très peu. Il faut prévoir un système de refroidissement performant. ⑤

R: on annule l'argument du bar pour

$$h = \frac{TDP}{\Delta T} = 94 \text{ W/m}^2 \text{K} < 300 \text{ W/m}^2 \text{K} \text{ s'il}$$

ya brassage. Donc $h = 300 \text{ W/m}^2 \text{K}$ permet de ne jamais atteindre 100°C ,



En appliquant le 1^{er} ppe à la tranche dx : $dH = \int_{\text{IR}} (x) l_z e dt - \int_{\text{IR}} (x+dx) l_z e - h(T(x) - T_a) dx$

avec $dH = 0$ en régime stationnaire car $T(x, t) = T(x, t+dt)$

$$dS = dx \cdot (2e + 2l_z)$$

$$\int_{\text{IR}} (x) = -d \frac{dT}{dx} \text{ (Fourier)}$$

En développant on obtient

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{1}{\delta^2} [T(x) - T_a] = 0; \text{ avec } \delta = \frac{e}{2h(e+l_z)}$$

La résolution donne ⑥

$$T(x) = T_a + (T_R - T_a) e^{-(x-x_1)/\delta} \text{ grâce}$$

aux conditions aux limites:

$$- T(x_1) = T_R$$

- " $T(H) = T(\infty)$ " et $T(\infty) = T_a$ qui permet d'éliminer la classe de solutions en $e^{+x/\delta}$ (Too me peut diverger).

② On peut calculer cette puissance

- soit en calculant la puissance totale latérale cédée: $\int_{\text{c.c}} (x) (2e + 2l_z) dx$

- soit en remarquant que c'est aussi, par conservation de l'énergie, la puissance qui entre en x_1 :

$$P_{\text{ailette}} = \int_{\text{IR}} (x_1) e \cdot l_z$$

$$\text{or } \int_{\text{IR}} (x_1) = -d \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x=x_1} = (T_R - T_a) \frac{1}{\delta}$$

$$\text{d'où } P_{\text{ailettes}} = 6(T_R - T_a) \frac{e l_z}{\delta}$$

En remplaçant δ et avec $h = 3000 \text{ W/m}^2$, $T_R = 70^\circ\text{C}$ ⑦
 $T_A = 20^\circ\text{C}$:

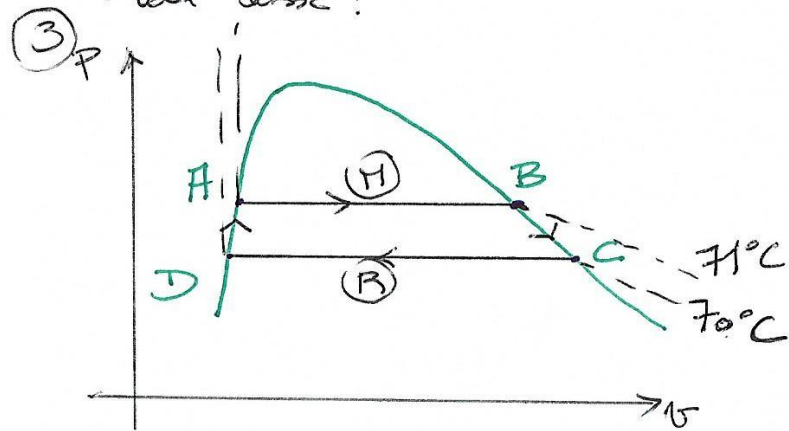
$$P_{\text{radiateur}} = 6(T_R - T_A) \sqrt{2 \delta h \epsilon_2 (e + \epsilon_3)} = 36 \text{ W}$$

$$R_{\text{radiateur}} = \frac{T_R - T_A}{P_{\text{radiateur}}} = 1,4 \text{ KW}^{-1}$$

① Caloduc = qui transporte la chaleur
 étymologiquement: calor, calories = chaleur
 dux, ducis = le chef (donc
 celui qui conduit...)

à rapprocher de gazoduc ou aqueduc ou
 oléoduc.

② Pour faire monter le liquide elles
 s'opposent au poids de celui-ci = elles travaillent
 - lent donc!



A → B: Vaporisation à 71°C : point M
 B → C la vapeur se déplace vers R

C → D la vapeur se liquéfie à 70°C en R ⑧

D → A l'eau liquide se déplace vers M.

Donc en M l'eau preleve de la chaleur
 au processeur en se vaporisant, la
 transporte sous forme de "chaleur latente"
 en R où elle est libérée par la
 liquéfaction.

F. on calcule: $R_{\text{caloduc}} = \frac{T_M - T_R}{\Phi_{\text{micro}}} = 9,05 \text{ KW}^{-1}$

Pour un barreau de cuivre $R_{\text{cu}} = \frac{1}{\lambda} \frac{y_2 - y_1}{L_2 L_3}$

soit avec les données $R_{\text{cu}} = 1,3 \text{ KW}^{-1}$

le rapport des résistances thermiques
 est de $1/100$ en et donc la puissance
 transportée par le caloduc est 100x plus
 grande pour un même écart de température.