Physique : DM4

PARTIE A – Cycle de Claude (CCP PSI 2014)

A.1.1)

$$\underbrace{dm}_{\text{masse de fluide}}\left[\underbrace{\left(h_2+\frac{1}{2}c_2^2+gz_2\right)}_{\text{Energie massique sortante}}-\underbrace{\left(h_1+\frac{1}{2}c_1^2+gz_1\right)}_{\text{Energie massique entrante}}\right]=\underbrace{\delta W_u}_{\text{travail utile}}+\underbrace{\delta Q}_{\text{chaleur ou transfert thermique}}$$

où $\begin{cases} h : \text{enthalpie massique} \\ \frac{1}{2}c^2 : E_{\text{cinétique}} \\ gz : E_{\text{potentielle}} \text{ massique.} \end{cases}$

A.1.2) En divisant par dt : $\boxed{D_m\left[\left(h_2+\frac{1}{2}c_2^2+gz_2\right)-\left(h_1+\frac{1}{2}c_1^2+gz_1\right)\right]=P_u+P_{th}}$

A.2.1) Au point de repère 14 on retrouve le débit massique D_m d'où :

$$D_m=D_{m\ell}+D_{m13}\Rightarrow \boxed{D_{m13}=D_m-D_{m\ell}}$$

A.2.2) Le système reçoit $-P_{T1}-P_{T2}$ de la part des turbines

Le système a 2 sorties et 1 entrée d'où :

$$\underbrace{D_{m13}h_{13}+D_{m\ell}h_{liq}}_{\text{sorties}}-\underbrace{D_m h_1}_{\text{entrée}}=-P_{T1}-P_{T2}$$

Or $D_{m13}=D_m-D_{m\ell}\Rightarrow \boxed{D_m(h_{13}-h_1)+D_{m\ell}(h_{liq}-h_{13})=-P_{T_1}-P_{T_2}}$ (1)

A.2.3) 1PP appliqué à la turbine 1 $D_{m11}h_{11}-D_{m12}h_{12}=-P_{T_1}$

Or $D_m=D_{m2}+D_{m12}=(1-x_1)D_m+D_{m12}\Rightarrow D_{m12}=x_1D_m$

De plus $\begin{cases} D_{m12}=D_{m11} \\ h_2=h_{12} \end{cases}\Rightarrow \boxed{x_1D_m(h_{11}-h_2)=-P_{T_1}}$ (2)

A.2.4) Sur T_2 : $D_{m9} h_9 - D_{m10} h_{10} = -P_{T_2}$

or $\begin{cases} h_{10} = h_4 \\ D_{m9} = D_{m10} \\ D_{m4} + D_{m10} = D_{m2} \end{cases}$ $\Leftrightarrow (1-x_1)(1-x_2) D_m + D_{m10} = (1-x_1) D_m = D_{m2}$

$\Leftrightarrow D_{m10} = (1-x_1) D_m x_2$

Donc $\boxed{(1-x_1) x_2 D_m \left[h_9 - h_4\right] = -P_{T_2}}$ (3)

A.2.5) En regroupant 1, 2, 3 :

$D_m (h_{13} - h_1) + D_{me} (h_{liq} - h_1) = x_1 D_m (h_{11} - h_2) + x_2 (1-x_1) D_m (h_9 - h_4)$

or $y = \dfrac{D_{me}}{D_m} \Rightarrow y(h_{liq} - h_1) = x_1 (h_{11} - h_2) + x_2 (1-x_1)(h_9 - h_4) - (h_{13} - h_1)$

Donc $\boxed{y = \dfrac{x_1 (h_{11} - h_2) + x_2 (1-x_1)(h_9 - h_4) + h_1 - h_{13}}{h_{liq} - h_1}}$ (4)

A.2.6) Au niveau de E_1 on a : $D_m (h_2 - h_1) + D_{m13} (h_{13} - h_{12}) = 0$

or $D_{m13} = D_m - D_{me} \Rightarrow D_m (h_2 - h_1) + D_m (h_{13} - h_{12}) = D_{me} (h_{13} - h_{12})$

$\Rightarrow D_{me} = D_m \cdot \dfrac{h_2 - h_1 + h_{13} - h_{12}}{h_{13} - h_{12}}$

$\Rightarrow D_{me} = D_m \left[1 + \dfrac{h_2 - h_1}{h_{13} - h_{12}}\right]$

$\Rightarrow \boxed{y = 1 + \dfrac{h_2 - h_1}{h_{13} - h_{12}}} = 1 + \dfrac{1060 - 1476}{1454{,}2 - 1017{,}9}$

$= \underline{\underline{0{,}046}}$

A.2.7) Sur E_2 : $D_{m_2}(h_3-h_2) + D_{m_{13}}(h_{12}-h_{11}) = 0$

$$\Leftrightarrow D_m(1-x_1)(h_3-h_2) + (D_m - D_{me})(h_{12}-h_{11}) = 0$$

$$\Leftrightarrow (1-x_1)(h_3-h_2) + (1-y)(h_{12}-h_{11}) = 0$$

$$\Leftrightarrow (1-x_1) = -\frac{(1-y)(h_{12}-h_{11})}{h_3-h_2}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{x_1 = 1 + (1-y)\frac{h_{12}-h_{11}}{h_3-h_2}} = 1 + (1-0{,}046) \times \frac{1017{,}9-527{,}2}{540{,}3-1060} = \underline{\underline{0{,}100}}$$

A.2.8) Sur E_4 : $D_{m_4}(h_5-h_4) + D_{m_9}'(h_{10}-h_9) = 0$ où $D_{m_4} = (1-x_1)(1-x_2)D_m$.

or $D_{m_9}' + D_{m_{11}} = D_{m_{12}}$ avec $\begin{cases} D_{m_{12}} = D_{m_{13}} = D_m - D_{me} \\ D_{m_{11}} = x_1 D_m \end{cases}$

$$\Leftrightarrow D_{m_9}' = (D_m - D_{me}) - x_1 D_m = (1-x_1)D_m - D_{me}$$

Donc : $(1-x_1)(1-x_2)D_m(h_5-h_4) + \left[(1-x_1)D_m - D_{me}\right](h_{10}-h_9) = 0$

$$\Leftrightarrow (1-x_1)(1-x_2)(h_5-h_4) + \left[(1-x_1) - y\right](h_{10}-h_9) = 0$$

$$\Leftrightarrow 1-x_2 = -\frac{(1-x_1-y)(h_{10}-h_9)}{(1-x_1)(h_5-h_4)}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{x_2 = 1 + \frac{(1-x_1-y)(h_{10}-h_9)}{(1-x_1)(h_5-h_4)}} = 1 + \left(\frac{1-0{,}1-0{,}046}{1-0{,}46}\right)\left(\frac{250-118}{110{,}5-277{,}4}\right) = \underline{\underline{25\%}}$$

A.2.9) Sur le Détendeur : $h_6 = h_7$ et $h_7 = x_{liq} h_{liq} + (1-x_{liq}) h_{vap}$.

$$\Leftrightarrow \boxed{x_e = \frac{h_6 - h_{vap}}{h_{liq} - h_{vap}}}$$ (Théorème des moments chimiques)

On a $D_{me} = x_e D_{m_7}$ avec $D_{m_7} = D_{m_6} = D_{m_4} = (1-x_1)(1-x_2)D_m$

$$\Rightarrow x_e = \frac{D_{me}}{D_{m_7}} = \frac{D_{me}}{D_m} \cdot \frac{1}{(1-x_1)(1-x_2)} \Rightarrow \boxed{y = x_e(1-x_1)(1-x_2)} = \underline{\underline{0{,}046}}$$

A.2.10) Soit $D_{ml} = \frac{\delta m}{dt} = \rho_l \frac{\delta V}{dt} \Rightarrow D_{ml} = \rho_l D_{vl}$.

or $y = x_l (1-x_1)(1-x_2) \Rightarrow \boxed{D_{vl} = \frac{D_m}{\rho_l} x_l (1-x_1)(1-x_2)} = \underline{0{,}595\ L.s^{-1}}$

A.2.11) Soit $P_{f,eq} = D_{ml} L_{vm} = D_{ml} (h_{vap} - h_{liq})$

$\Leftrightarrow \boxed{P_{f,eq} = \rho_l D_{vl} (h_{vap} - h_{liq})}$

$= 125{,}4 \times 0{,}595.10^{-3} (30{,}74 - 9{,}90).10^3$

$= \underline{\underline{1{,}55\ kW}}$

A.2.12) La somme de toutes les puissances doit correspondre à la puissance nécessaire pour comprimer le gaz d'où :

$\underbrace{P_C + P_{T1} + P_{T2}}_{P_{TOT,C}} = D_m h_{14} - \underbrace{D_{m13}}_{D_m - D_{ml}} h_{13} - D_{ml} h_{13}$

$\Leftrightarrow P_C = D_m (h_{14} - h_{13}) - P_{T1} - P_{T2}$

$= D_m (h_{14} - h_{13}) + x_1 D_m (h_{11} - h_2) + (1-x_1) x_2 D_m (h_9 - h_4)$

$\Leftrightarrow \boxed{P_C = D_m \left[h_{14} - h_{13} + x_1 (h_{11} - h_2) + (1-x_1) x_2 (h_9 - h_4) \right]}$

$= 1600.10^{-3}.10^3 \left[1900 - 1454{,}2 + 0{,}1 (527{,}2 - 1060) + 0{,}9 \times 0{,}25 (30{,}74 - 277{,}4) \right]$

$\Leftrightarrow P_C = 570\ kW$.

A.2.13) Or $\begin{cases} \text{l'efficacité est définie par } \boxed{e = \frac{P_{f,eq}}{P_c} = \frac{1{,}55}{570} = 2{,}7.10^{-3}} \\ \text{et l'efficacité de Carnot vaut : } e_c = \frac{T_F}{T_C - T_F} = \frac{4{,}2}{280 - 4{,}2} = \underline{\underline{1{,}52.10^{-2}}} \end{cases}$

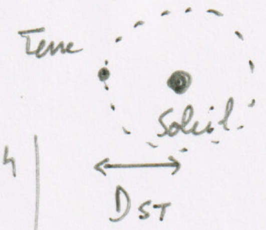
$\Rightarrow \boxed{\frac{e}{e_c} = 18\%}$, on est assez proche de la machine du CERN

PARTIE B – La Lune (MP – Mines - 2003)

1) . Loi de Stefan : $\boxed{P_S = 4\pi R_S^2 \cdot \sigma T_S^4}$

. La terre reçoit une partie de la puissance émise par le soleil.

$$P_0 = P_S \times \frac{\pi R_T^2}{4\pi D_{ST}^2}$$



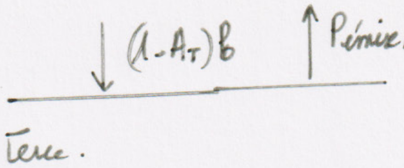
$$\Leftrightarrow \boxed{P_0 = \pi \cdot \frac{R_T^2 R_S^2}{D_{ST}^2} \cdot \sigma T_S^4}$$

. Equilibre thermique : $P_0 = P_{\text{émise terre}}$

$$\Leftrightarrow \cancel{\pi} \frac{R_T^2 R_S^2}{D_{ST}^2} \cancel{\sigma} T_S^4 = 4\cancel{\pi} R_T^2 \cdot \cancel{\sigma} T_T^4$$

$$\Leftrightarrow \boxed{T_T = T_S \cdot \sqrt{\frac{R_S}{2D_{ST}}}}$$

2) Le bilan thermique est modifié par l'albédo :



$$(1-A_T)P_0 = P_{\text{émise,terre}}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{T_T^4 = (1-A_T)\,T_S^4 \left(\frac{R_S}{2D_{ST}}\right)^2}$$

3) A.N : $\underline{T_T = 252\,K}$

4) Le soleil et la terre émettent dans des domaines spectraux différents : autour de 0,5 µm pour le soleil et 10 µm pour la terre d'où la différence d'absorption de l'atmosphère.

5). L'ensemble terre/atmosphère absorbe $(1-A_T)P_0$ dont :

- $\alpha(1-A_T)P_0$ absorbé par l'atmosphère
- $P_1 = (1-\alpha)(1-A_T)P_0$ ——— " la terre.

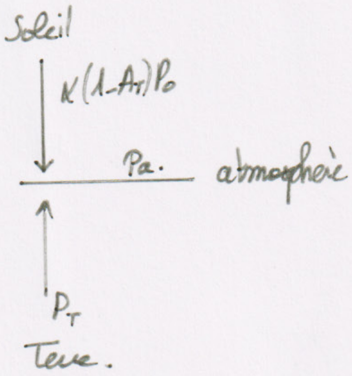
$\Leftrightarrow P_1 = (1-\alpha)\, 4\pi R_T^2 \sigma T_T^4$

- La moitié de l'énergie rayonnée par l'atmosphère l'est en direction de la terre où elle est totalement absorbée :

$$P_2 = \frac{1}{2} P_a = 4\pi R_T^2 . \sigma T_a^4$$

- <u>Bilan thermique sur l'atmosphère :</u>

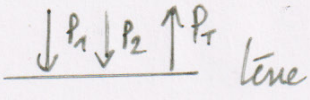
$$P_a = \alpha(1-A_T)P_0 + P_T$$



D'où : $8\pi R_T^2 \sigma T_a^4 = \alpha\, 4\pi R_T^2 . \sigma T_T^4 + 4\pi R_T^2 . \sigma T_T'^4$

$$\Leftrightarrow \quad \boxed{T_a^4 = \frac{1}{2}\left(\alpha T_T^4 + T_T'^4\right)} \quad (1)$$

- <u>Bilan thermique sur la terre :</u>



$$P_1 + P_2 = P_t$$

$$\Leftrightarrow (1-\alpha)\, 4\pi R_T^2 . \sigma T_T^4 + 4\pi R_T^2 \sigma T_a^4 = 4\pi R_T^2 \sigma T_T'^4$$

$$\Leftrightarrow \quad T_T'^4 = T_a^4 + (1-\alpha) T_T^4$$

$$(1) \Rightarrow \quad T_T'^4 = \frac{1}{2}\left(\alpha T_T^4 + T_T'^4\right) + (1-\alpha) T_T^4$$

$$\Rightarrow \quad T_T'^4 \left[1 - \frac{1}{2}\right] = T_T^4 \left(1 - \alpha + \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{T_T'^4 = (2-\alpha)\, T_T^4} \quad (2)$$

6) A.N : $\underline{T'_T = 285\,K}$

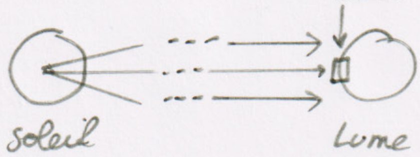
7) ① et ② $\Rightarrow T_a^4 = \frac{1}{2}\left(\alpha T_T^4 + (2-\alpha) T_T^4\right)$

$\Rightarrow \boxed{T_a = T_t}$

8) De même qu'à la question 2 : $\boxed{T_{L,soleil}^4 = (1-A_L)\, T_S^4 \left(\frac{R_S}{2D_{ST}}\right)^2}$

A.N : $\underline{T_{L,soleil} = 275\,K}$

9) La zone de température la plus élevée est la zone de la lune où les rayons arrivent perpendiculairement à la surface.



10) Bilan thermique sur d^2S :

$$P_{L,émise} = (1-A_L) P_0$$

$$\Leftrightarrow d^2S \cdot \sigma T_{L,max}^4 = (1-A_L)\, d^2S \cdot \frac{4\pi R_S \sigma T_S^4}{4\pi D_{ST}^2}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{T_{L,max}^4 = (1-A_L)\, T_S^4 \left(\frac{R_S}{D_{ST}}\right)^2}$$

11) Atmosphère terrestre :

$$\varphi_A = (1-A_L) \cdot \left(\frac{R_T}{D_{LT}}\right)^2 \sigma T_a^4$$

Flux solaire réfléchi par la terre

$$A_T P_0 = \frac{\pi R_T^2}{4\pi D_{ST}^2} \cdot 4\pi R_S^2 \cdot \sigma T_S^4 = \boxed{\pi A_t \left(\frac{R_T}{D_{ST}} R_S\right)^2 \sigma T_S^4 = A_t P_0}$$

Ce rayonnement est renvoyé de façon isotrope dans un $\frac{1}{2}$ espace. La fraction arrivant sur d^2S de la lune est t.q :

$$d^2P = (1-A_L).\,A_T P_0 \frac{d^2S}{\frac{4\pi D_{LT}^2}{2}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\varphi_S = (1-A_L) A_T \cdot \left(\frac{R_T R_S}{D_{ST} D_{LT}}\right)^2 \sigma T_S^4}$$

A.N : $\begin{cases} \varphi_A = 9{,}6.10^{-2}\ W/m^2 \\ \varphi_S = 6{,}3.10^{-2}\ W/m^2 \end{cases}$

12) Bilan thermique sur d^2S : $P_{L/T} = P_A + P_S$

$$\Rightarrow \boxed{T'^4_{L,Terre} = \frac{\varphi_A + \varphi_S}{\sigma}} = \underline{\underline{41K}}\ (\ll 120K)$$

13) La modification serait négligeable en effet $\varphi_{S,direct} = (1-A_L)\frac{R_S^2}{D_{ST}^2}\sigma T_S^4 = \underline{1{,}3 kW/m^2}$

14) Or $\begin{cases} \lambda_{visible} = [0{,}38\ ;\ 0{,}78]\ \mu m \\ \lambda_{IR} = [0{,}78\ ;\ 100]\ \mu m \end{cases}$

15). D'après la loi de Wien avec $T_{L,soleil} = 275\ K \Rightarrow \lambda_m T = 2898\ \mu m K$.

$\Rightarrow$ $\underline{\lambda \sim 10 \mu m \text{ dans l'IR}}$

. Le clair de lune est dû au rayonnement solaire réfléchi par la lune.

16) La chaleur due à la radioactivité est évacuée par rayonnement d'où :

$$4/3\,\pi R_L^3 . p_L = 4\pi R_L^2 \sigma T^4_{L,ROCHES} \Rightarrow \boxed{T^4_{L,ROCHE} = \frac{R_L p_L}{3\sigma}} = \underline{\underline{18K}}$$

17) Non, la radioactivité ne modifie pas notre raisonnement car $\underline{T_{L,ROCHES} \ll T_{L,max}}$

PARTIE C – Caloduc (Centrale MP – 2015)

IV.A.1

On a : $a \gg l$ et $b \gg l$, on peut donc considérer la plaque comme "infini" : pas d'effets de bord. Il y a donc invariance par translation suivant $\vec{u_y}$ et $\vec{u_z}$ d'où :

$$\boxed{T(x,y,z,t) = T(x,t)} \quad (1)$$

IV.A.2 On fait un bilan thermique sur une tranche d'épaisseur dx et de section S entre t et $t+dt$:

$$dU = \delta Q + \delta W$$

$$\Leftrightarrow U(t+dt) - U(t) = \delta Q$$

$$\Leftrightarrow \rho \frac{\partial u}{\partial t} dt d\tau = \left[j_{th}(x) - j_{th}(x+dx) \right] S dt$$

$$\Leftrightarrow \rho \frac{\partial u}{\partial t} dt d\tau = - \frac{\partial j_{th}}{\partial x} dx S dt$$

Or d'après la loi de Fourier $\vec{j_{th}} = -\lambda \frac{dT}{dx} \vec{u_x}$

$$\Rightarrow \rho \frac{\partial u}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

Or $du = c\,dT$ $\Rightarrow$ $\boxed{\frac{\partial T}{\partial t} = D_{th} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \text{ où } D_{th} = \frac{\lambda}{\rho c}} \quad (2)$

IV.A.3 . En régime stationnaire : $\frac{\partial T}{\partial t} = 0 \Rightarrow T = Ax + B$

Avec les C.L : $\boxed{T = \frac{T_0 - T_1}{\ell} x + T_1} \quad (3)$ $T(0)$

. Donc : $\phi = -\lambda \frac{dT}{dx} ab$

$$\Leftrightarrow \boxed{\phi = \lambda \frac{T_1 - T_0}{\ell} ab} \quad (4)$$

IV.A.4 D'où $\phi = \dfrac{(T_1 - T_0)}{R_{th}}$ où $\boxed{R_{th} = \dfrac{l}{\lambda ab}}$ (5)

Analogue à : $I = \dfrac{V_1 - V_0}{R}$ où $R = \dfrac{L}{\lambda ab}$

IV.B.1 Soit $\delta Q_{cc} = h(T_0 - T_a)\,dy\,dz\,dt \Rightarrow \Phi_{cc} = h(T_0 - T_a)\,dy\,dz$

$\Rightarrow \underline{[h] = W K^{-1} m^{-2}}$

De plus $\Phi_{cc} = \dfrac{\Delta T}{R_h} \Rightarrow \underline{R_h = \dfrac{1}{hab}}$ (6)

IV.B.2 Donc $\begin{cases} R_{th} = \dfrac{l}{\lambda ab} = \underline{\underline{1{,}1.10^{-2}\ K W^{-1}}} \\ R_h = \dfrac{1}{hab} = \underline{\underline{35\ K W^{-1}}} \end{cases}$

Ces deux résistances étant en série $\Rightarrow \underline{R_{tot} \sim R_h}$

→ C'est l'air qui limite le transfert thermique ⇒ ça ne sert à rien d'améliorer les parois, mais remplacer l'air ou augmenter la surface de contact peut-être utile.

IV.C. Question ouverte :

. Le microprocesseur est composée de fils de Cu et de puces en silicium, sur un support en silicium. On va utiliser le TDP = 15 W, et supposer que le processeur est détruit quand le cuivre fond : $T_{fus}(Si) > T_{fus}(Cu)$.

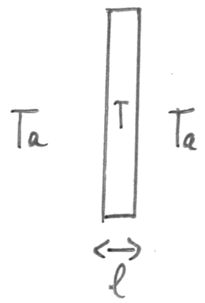
. On suppose que la plaque est à température uniforme et qu'elle n'échange de transfert thermique qu'avec l'air ($R_h \gg R_{th}$) :

Calcul de la surface de contact : $S = 2ab + 2bl + 2al$

$= 2b(a + l)$

$\sim \underline{2ab}$

1er principe appliqué à la plaque



Soit $dU = m c_{si} dT = \delta W + \delta Q$

$$= \mathcal{P}_c dt - h(T - T_a) S dt.$$

$$\Leftrightarrow \rho_{si} c_{si} abl \frac{dT}{dt} = \mathcal{P}_c - h(T - T_a) S$$

$$\Leftrightarrow \frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_a}{\tau} + \frac{P_c}{\rho_{si} c_{si} \times abl}$$

Donc $T = Ae^{-t/\tau} + T_a + \frac{P_c \tau}{\rho_{si} c_{si} \cdot abl}$ où $\tau = \frac{\rho_{si} c_{si} abl}{hS}$

$$= \frac{\rho_{si} c_{si} l}{2h}$$

Donc $T = T_a + Ae^{-t/\tau} + \frac{P_c}{2hab}$.

Hypothèse : $T(0) = T_a$ d'où $T = T_a + \frac{P_c}{2hab}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$

A.N : $\begin{cases} T_a = 293K \\ T(t \to \infty) = 553K \end{cases}$ et $\tau = 41s$.

• Ni le métal, ni le silicium ne fondent dans ces conditions. Mais on a aussi à respecter $T_{jonction} = 100°C$ (Spécification du microprocesseur)

Or $T_{lim} = T(t_{lim}) = T_a + \frac{P_c}{2hab}\left(1 - e^{-t_{lim}/\tau}\right)$

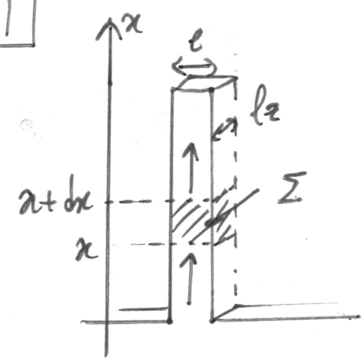
$$\Leftrightarrow \frac{T_{lim} - T_a}{P_c} \cdot 2hab = 1 - e^{-t_{lim}/\tau}$$

$$\Leftrightarrow t_{lim} = -\tau \ln\left(1 - \frac{(T_{lim} - T_a) 2hab}{P_c}\right) = \underline{15s}$$

• Sans système de refroidissement efficace le processeur arrêtera de fonctionner après

$\boxed{\Delta t = 15s}$ 7

IV.D.1



D'après le premier principe appliqué à Σ :

$$dU = \delta W + \delta Q$$

En régime stationnaire : $0 = (\Phi_e + \Phi_s + \Phi_{lat})dt$

$$\Leftrightarrow \Phi(x) - \Phi(x+dx) - h(T - T_a)\,dx.(2e + 2l_z) = 0$$

$$\Leftrightarrow -\frac{\partial j_{th}}{\partial x} S dx - h(T - T_a)\,dx\,(2e + 2l_z) = 0$$

or $\begin{cases} j_{th} = -\lambda \dfrac{\partial T}{\partial x} \\ \text{et} \\ S = e l_z \end{cases} \Rightarrow e l_z . \lambda \dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2} - h(T - T_a)(2e + 2l_z) = 0$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{1}{\delta^2}(T - T_a) = 0 \quad \text{où } \delta = \sqrt{\frac{\lambda e l_z}{h(2e + 2l_z)}}} \quad (8)$$

Dont la solution est : $T - T_a = Ae^{-x/\delta} + Be^{x/\delta}$

or $B = 0$ sinon T diverge.

et $T(x_1) = T_R = T_a + Ae^{-x_1/\delta} \Rightarrow A = (T_R - T_a)e^{x_1/\delta}$

Donc $\boxed{T(x) = T_a + (T_R - T_a)\,e^{-(x - x_1)/\delta}}$

IV.D.2

Soit Pailette, $\Phi(x_1) = j_{th}(x_1)\, e l_z$

$$= -\lambda \left.\frac{dT}{dx}\right|_{x_1} e l_z$$

$$= (T_R - T_a)\,\frac{\lambda e l_z}{\delta}$$

Donc $\boxed{P_{radiateur} = 6(T_R - T_A)\,\frac{\lambda e l_z}{\delta}}$ (9)

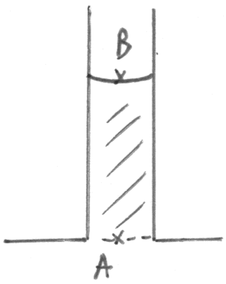
et $\boxed{R_{radiateur} = \frac{\delta}{6\lambda e l_z}}$

A.N : $P_{rad} = 44\,W$

$R_{Rad} = 1{,}1\,K W^{-1} \ll R_a = 35\,K.W^{-1}$: le système est efficace.

IV.E.1 Caloduc = tube transportant de chaleur proche de gazoduc et aqueduc.

IV.E.2



Les forces appliquées au fluide sont :
- les forces de pression en B et A
- le poids
- les forces de capillarité.

Les forces de pression sont t.q $\vec{F}_{P_A} = -\vec{F}_{P_B}$, de plus le poids travaille négativement si le fluide monte : $\mathcal{P} = -\vec{P}\cdot\vec{v} < 0$ donc il faut un travail positif pour que le fluide monte :
$\Rightarrow$ Ce sont ces forces de capillarité qui permettent au fluide de monter (10)