

Physique : DS2

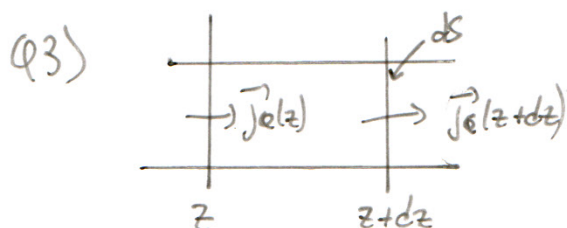
Partie I - La température du mouton (CCP MP - 2019)

Q1) Par définition: $\begin{cases} \vec{j}_Q = -\lambda \text{grad } T \\ \text{et } d\phi = \vec{j}_Q \cdot d\vec{S} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} [j_Q] = \text{Wm}^{-2} \\ [\lambda] = [j_Q] \text{K}^{-1} \text{L} \end{cases}$

$\Rightarrow [\lambda] = \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1} \text{ ou Puissance } \text{L}^{-1}\text{T}^{-1}$

Q2) Soit $T = T(z, t)$

$\Rightarrow \vec{j}_Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \vec{u}_z \quad \text{d'où} \quad \underline{\vec{j}_Q = j_Q(z, t) \vec{u}_z}$



D'après le premier principe $dU = \delta Q_{\text{éch}} + \delta Q_c$ or ici $\delta Q_c = 0$

• or $dU = \delta U(t+dt) - \delta U(t)$
 $= \mu c dS (T(t+dt) - T(t))$
 $= \mu c \frac{\partial T}{\partial t} dT dS$

• Et $\delta Q_{\text{éch}} = \phi_e dt - \phi_s dt$
 $= j_Q(z) dS dt - j_Q(z+dz) dS dt$
 $= - \frac{\partial j_Q}{\partial z} dS dt$

Donc $\mu c \frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{\partial j_Q}{\partial z} \quad (1)$

D'après la loi de Fourier : $\vec{J}_Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \vec{u}_z$ d'où $\frac{\partial T}{\partial t} = \underbrace{\frac{\lambda}{\rho c}}_{D_{th}} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$

Q4) En régime stationnaire : $\frac{\partial T}{\partial t} = 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0$

De plus d'après ① : $\frac{\partial J_Q}{\partial z} = 0 \Rightarrow \vec{J}_Q = \text{cte } \vec{u}_z$

Q5) Soit $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \Rightarrow T = Ax + B$ avec $\left. \begin{array}{l} T(0) = T_{\text{entrée}} \\ T(e) = T_{\text{sortie}} \end{array} \right\}$

d'où $T = \frac{T_{\text{sortie}} - T_{\text{entrée}}}{e} x + T_{\text{entrée}}$

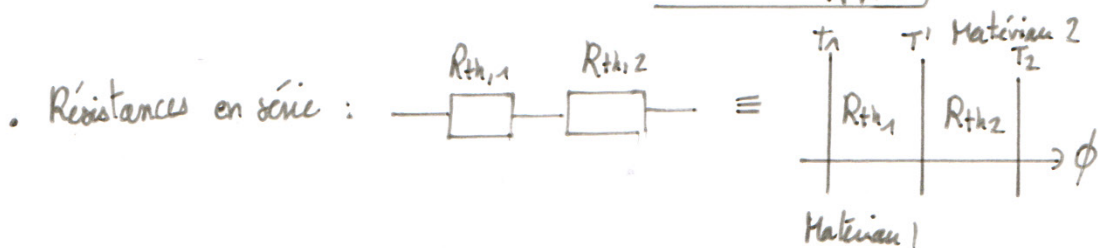
d'où $\Phi = J_Q S = -\lambda \frac{dT}{dx} \cdot \overset{HL}{S}$

$\Rightarrow \Phi = \lambda HL \cdot \frac{T_{\text{entrée}} - T_{\text{sortie}}}{e}$

Q6). La résistance thermique est telle que : $T_{\text{entrée}} - T_{\text{sortie}} = R_{th} \Phi$

$\Rightarrow R_{th} = \frac{T_{\text{entrée}} - T_{\text{sortie}}}{\Phi}$

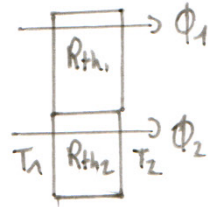
$\Rightarrow R_{th} = \frac{e}{\lambda HL}$



d'où $T_1 - T_2 = R_{th,1} \Phi + R_{th,2} \Phi = R_{th} \cdot \Phi$

$\Rightarrow R_{th} = R_{th,1} + R_{th,2}$

• Résistances en parallèle

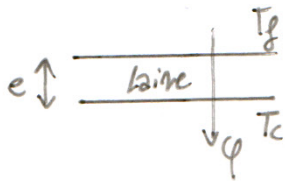


$$\text{d'où } T_1 - T_2 = \begin{cases} R_{th1} \Phi_1 \\ R_{th2} \Phi_2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{T_1 - T_2}{R_{th1}} + \frac{T_1 - T_2}{R_{th2}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{th}} = \frac{1}{R_{th1}} + \frac{1}{R_{th2}}$$

Q7)



$$\text{d'où } R_{th, laine} = \frac{e}{\lambda_{laine} S} = \frac{T_c - T_g}{\Phi}$$

$$\Rightarrow \lambda_{laine} = \frac{e \Phi}{(T_c - T_g) S}$$

Q8) Entre chaque paroi on a $T_c - T_i = R_{th} \Phi_i$ d'où une association en parallèle de 2 sections de surface H^2 et de 4 sections de surface HL d'où :

$$\frac{1}{R_{diff}} = \frac{2}{R_{th,1}} + \frac{4}{R_{th,2}}$$

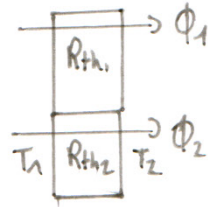
$$\Rightarrow \frac{1}{R_{diff}} = \frac{2 R_{th,2} + 4 R_{th,1}}{R_{th,1} \cdot R_{th,2}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{diff}} = \frac{2 \cdot \frac{e}{\lambda_{laine} HL} + 4 \cdot \frac{e}{\lambda_{laine} H^2}}{\left(\frac{e}{\lambda_{laine}}\right)^2 \cdot \frac{1}{HL} \cdot \frac{1}{H^2}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{diff}} = \frac{\lambda_{laine}}{e} (2H^2 + 4HL)$$

$$\Rightarrow R_{diff} = \frac{e}{\lambda_{laine} (4HL + 2H^2)} \Rightarrow \begin{cases} R_{diff, fondue} = 0,09 \text{ W}^{-1}\text{K} \\ R_{diff, non fondue} = 1,8 \text{ W}^{-1}\text{K} \end{cases}$$

• Résistances en parallèle

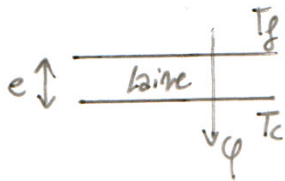


$$\text{d'où } T_1 - T_2 = \begin{cases} R_{th1} \Phi_1 \\ R_{th2} \Phi_2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{T_1 - T_2}{R_{th1}} + \frac{T_1 - T_2}{R_{th2}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{th}} = \frac{1}{R_{th1}} + \frac{1}{R_{th2}}$$

Q7)



$$\text{d'où } R_{th, laine} = \frac{e}{\lambda_{laine} S} = \frac{T_c - T_f}{\Phi}$$

$$\Rightarrow \lambda_{laine} = \frac{e \Phi}{(T_c - T_f) S}$$

Q8) Entre chaque paroi on a $T_c - T_i = R_{th} \Phi_i$ d'où une association en parallèle de 2 sections de surface H^2 et de 4 sections de surface HL d'où :

$$\frac{1}{R_{diff}} = \frac{2}{R_{th,1}} + \frac{4}{R_{th,2}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{diff}} = \frac{2 R_{th,2} + 4 R_{th,1}}{R_{th,1} \cdot R_{th,2}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{diff}} = \frac{2 \cdot \frac{e}{\lambda_{laine} HL} + 4 \cdot \frac{e}{\lambda_{laine} H^2}}{\left(\frac{e}{\lambda_{laine}}\right)^2 \cdot \frac{1}{HL} \cdot \frac{1}{H^2}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{diff}} = \frac{\lambda_{laine}}{e} (2H^2 + 4HL)$$

$$\Rightarrow R_{diff} = \frac{e}{\lambda_{laine} (4HL + 2H^2)} \Rightarrow \begin{cases} R_{diff, fondue} = 0,09 \text{ W}^{-1}\text{K} \\ R_{diff, non fondue} = 1,8 \text{ W}^{-1}\text{K} \end{cases}$$

$$Q9) \text{ soit } \vec{j}_e = -h(T_{\text{ext}} - T_{\text{air}}) \vec{n}$$

$$\Rightarrow q_{\text{tot}}^{\text{cc}} = h(T_{\text{ext}} - T_{\text{air}})S$$

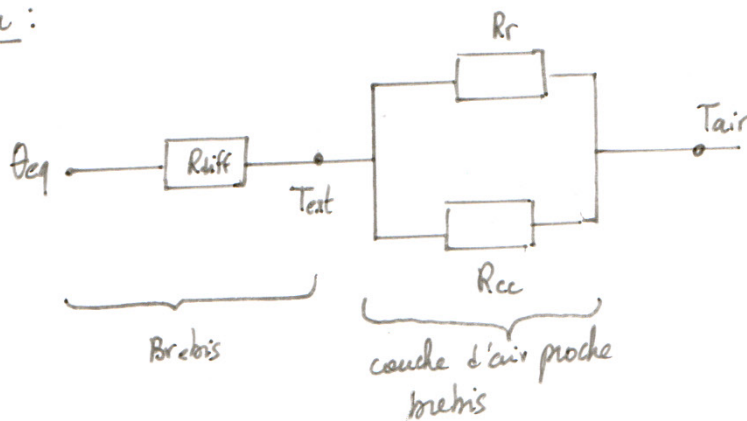
$$\Rightarrow q_{\text{tot}}^{\text{cc}} = h(T_{\text{ext}} - T_{\text{air}}) [4HL + 2H^2]$$

$$\text{Or : } R_{\text{cc}} = \frac{T_{\text{ext}} - T_{\text{air}}}{q_{\text{tot}}^{\text{cc}}} \Rightarrow R_{\text{cc}} = \frac{1}{h [4HL + 2H^2]} = 0,18 \text{ W}^{-1}\text{K}$$

$$Q10) \text{ soit } P_r = KA(T_{\text{ext}} - T_{\text{air}})$$

$$\text{or : } R_r = \frac{T_{\text{ext}} - T_{\text{air}}}{P_r} \Rightarrow R_r = \frac{1}{KA} \Rightarrow R_r = \frac{1}{K [4HL + 2H^2]} = 0,15 \text{ W}^{-1}\text{K}$$

Q11) Schéma :



$$\Rightarrow R = R_{\text{diff}} + \underbrace{\frac{R_{\text{cc}} \cdot R_r}{R_{\text{cc}} + R_r}}_{0,08 \text{ W}^{-1}\text{K}} \Rightarrow \begin{cases} R_{\text{mon, conduite}} = 1,9 \text{ W}^{-1}\text{K} = R_1 \\ R_{\text{conduite}} = 0,17 \text{ W}^{-1}\text{K} = R_2 \end{cases}$$

Q12) En confort climatique la boebris perd autant d'énergie que ce qu'elle produit :

• Perte par évaporation : $\dot{m} \cdot \overbrace{\Delta h_{\text{vap}}}^L$

• Perte thermique : $\frac{T_{\text{int}} - T_0}{R_1}$

$$\Rightarrow P_{\text{mo}} = \frac{T_{\text{int}} - T_0}{R_1} + \dot{m} L = 18 \text{ W}$$

$$Q13) \text{ De } \hat{m} : P_{\text{mo}}' = \frac{T_{\text{int}} - T_0}{R_2} + \dot{m} L = 200 \text{ W}$$

Q14a) Premier principe appliqué à la brebis : $dU = \delta Q_{th} + \delta Q_{eva} + \delta Q_{met}$.

$$\Rightarrow \mu c H^2 L \frac{\partial T}{\partial t} dt = \overset{\text{pertes}}{- \frac{T - T_{air}}{R_1} dt} - \overset{\text{pertes}}{J_m \cdot L_{vap} dt} + P_m dt$$

$$\text{or } J_m L_{vap} = P_m - \frac{T_{int} - T_0}{R_1}$$

$$\text{d'où } \mu c H^2 L \frac{\partial T}{\partial t} dt = - \frac{T - T_{air}}{R_1} dt - P_m dt + \frac{T_{int} - T_0}{R_1} dt + P_m dt$$

$$\Leftrightarrow \mu c H^2 L \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{T - T_{air}}{R_1} = P_m - P_m + \frac{T_{int} - T_0}{R_1}$$

$$\Leftrightarrow \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{T - T_{air}}{\mu R_1 c H^2 L} = \frac{P_m - P_m}{\mu c H^2 L} + \overset{= \theta_{eq}}{\frac{T_{int} - T_0}{\mu c H^2 L R_1}}$$

$$\text{d'où } \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{T - T_{air}}{C_1} = \frac{T_1 - T_{air}}{C_1}$$

$$\text{où } C_1 = \mu c R_1 H^2 L$$

$$T_1 - T_{air} = R_1 (P_m - P_m) + \theta_{eq} - T_0$$

Q14b) L'éq. diff s'écrit aussi : $\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{T}{C_1} = \frac{T_1}{C_1}$

$$\Rightarrow T = A e^{-t/C_1} + T_1$$

$$\text{or } T(0) = \theta_{eq} = A + T_1 \Rightarrow A = \theta_{eq} - T_1$$

$$\text{d'où } \underline{T(t) = T_1 + (\theta_{eq} - T_1) e^{-t/C_1}}$$

Q14c) A.N : $C_1 = 7,2 \cdot 10^5 \text{ s} = 8,3 \text{ jours}$
 $T_1 = 41^\circ \text{C}$ et $T_{air} = 17^\circ \text{C}$.

Q15)

$$\text{On a vu } \begin{cases} P_m = \frac{T_{int} - T_{air}}{R_1} + \dot{m} \Delta h_{vap} \\ P_{mo} = \frac{T_{int} - T_0}{R_1} + \dot{m} \Delta h_{vap} \end{cases} \Rightarrow P_m - P_{mo} = \frac{T_0 - T_{air}}{R_1}$$

$$\text{Or } T_{min} < T_{air} < T_{max} \Rightarrow T_{min} < T_0 - (P_m - P_{mo})R_1 < T_{max}$$

$$\Rightarrow (T_{min} - T_0)/R_1 < P_{mo} - P_m < (T_{max} - T_0)/R_1$$

$$\Rightarrow P_{mo} + \frac{T_0 - T_{max}}{R_1} < P_m < P_{mo} + \frac{T_0 - T_{min}}{R_1}$$

$$\text{A.N.: } \underline{13W < P_m < 25W}$$

Q16) De la même façon qu'en Q14a):

$$dU = S Q_{th} + S Q_{ev} + S Q_{mél}$$

$$\Rightarrow \mu c L H^2 \frac{\delta T}{\delta t} = - \frac{T - T_{air}}{R_2} \delta t - \underbrace{(\dot{m} + \dot{m}')}_{= 3\dot{m}} \Delta h_{vap} \delta t + P_m \delta t$$

$$\Rightarrow \mu c L H^2 \frac{\delta T}{\delta t} = - \frac{T - T_{air}}{R_2} - 3 \left(P_{mo} - \frac{T_{int} - T_0}{R_1} \right) + P_m$$

$$\Rightarrow \frac{\delta T}{\delta t} + \frac{T - T_{air}}{\mu c R_2 L H^2} = \left[P_m - 3P_{mo} + 3 \frac{T_{eq} - T_0}{R_1} \right] / \mu c L H^2$$

$$\Rightarrow \frac{\delta T}{\delta t} + \frac{T - T_{air}}{G_2} = \frac{T_2 - T_{air}}{G_2} \quad \text{où } \begin{cases} G_2 = \mu c R_2 L H^2 \\ T_2 - T_{air} = R_2 (P_m - 3P_{mo}) + 3(T_{eq} - T_0) \frac{R_2}{R_1} \end{cases}$$

D'où $\left| \frac{G_2}{G_1} = \frac{R_1}{R_2} \right| = 0,05 \Rightarrow$ l'établissement du régime permanent est beaucoup plus rapide pour la brebis tondue. Elle est plus sensible au coup de chaud / coup de froid

• la bobine est dans de bonnes conditions si $T_2 = \theta_{eq}$

$$\Rightarrow \theta_{eq} = T_{air,m} + R_2 (p_m - 3p_{mo}) + 3(\theta_{eq} - T_0) \frac{R_2}{R_1}$$

$$\Rightarrow T_{air,m} = \theta_{eq} - R_2 (p_m - 3p_{mo}) + 3(\theta_{eq} - T_0) \frac{R_2}{R_1}$$

$$\Rightarrow T_{air,m} = T_{air}(p_m = 13W) = \underline{36,8^\circ C}$$

Partie II : Tunnel du Fréjus (Mines PC - 2016)

1°) Par définition

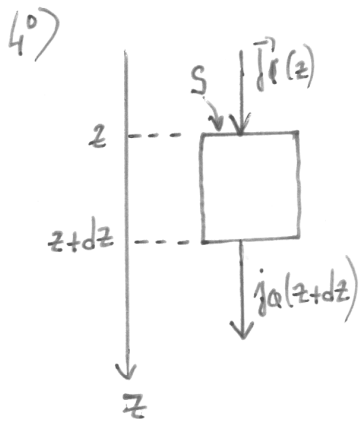
$$\begin{cases} T_{\max} = \theta_0 \\ T_{\max} = \theta_0 + T_0 \\ T_{\min} = \theta_0 - T_0 \end{cases}$$

On peut choisir $T_0 = 15^\circ\text{C}$

2°) On a : $d\Phi_Q = \vec{j}_Q \cdot d\vec{S}$ où $[j_Q] = \text{Wm}^{-2}$
 où $\vec{j}_Q$ est la densité du flux thermique homogène à une puissance surfacique.

3°) loi de Fourier : $\vec{j}_Q = -K \text{ grad } T$ valable dans un milieu isotrope avec des variations de température peu rapides.

D'où $[K] = \frac{\text{Wm}^{-2}}{\text{Km}^{-1}} = \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$



Soit $\delta Q = [j_Q(z) - j_Q(z+dz)] S dt$

$\Leftrightarrow \delta Q = - \frac{\partial j_Q}{\partial z} dz S dt$

5°) . de système doit contenir un assez grand nombre de particules pour introduire la notion de température.

. de système doit être assez petit pour tenir compte de l'inhomogénéité de la température à grand volume.

6°) En appliquant le premier principe : $dU = \delta Q \Rightarrow dU = - \frac{\partial \rho}{\partial z} S dz dt$

ou $dU = [u(t+dt) - u(t)] \rho_s dG$
 $= \frac{\partial u}{\partial t} \rho_s dG dt$

$\Rightarrow dU = c_s \rho_s \frac{\partial T}{\partial t} dG dt$ où $dG = S dz$

7°) Donc $\frac{\partial T}{\partial t} c_s \rho_s = - \frac{\partial \rho}{\partial z}$

ou $\rho = -K \frac{\partial T}{\partial z} \Rightarrow \rho_s c_s \frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$

$\Rightarrow \frac{\partial T}{\partial t} = \underbrace{\frac{K}{\rho_s c_s}}_D \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$ ①

t.q $[D] = m^2 s^{-1}$

8°) la forme de solution : $T = \theta_0 + T_0 e^{i(\omega t - k z)}$ est ondulatoire, la variation de température au sonnet se propage dans la roche.

① s'écrit $(-ik)^2 T = i\omega$

$\Rightarrow k^2 = -\frac{i\omega}{D} = e^{-i\pi/2} \omega/D$

$\Leftrightarrow k = \pm \sqrt{\frac{\omega}{D}} e^{-i\pi/4} \Leftrightarrow k = \pm \sqrt{\frac{\omega}{D}} \frac{(1-i)}{\sqrt{2}} = k' + ik''$

Pour tenir compte d'une absorption $k'' < 0$

$\Rightarrow k = k' + ik''$ où $\begin{cases} k' = \sqrt{\frac{\omega}{2D}} & \text{propagation} \\ k'' = -i \sqrt{\frac{\omega}{2D}} & \text{atténuation} \end{cases}$

Donc $T(z,t) = T_0 + T_1 \cos(\omega t - k'z) e^{-k'z}$ où $k' = \sqrt{\frac{\omega}{2D}}$

9°) Soit z_e t.q : $T_0 e^{-k'z_e} = \frac{T_0}{100}$

$$\Leftrightarrow -k'z_e = \ln\left(\frac{1}{100}\right)$$

$$\Leftrightarrow z_e = \frac{\ln 100}{k'} = \ln 100 \sqrt{\frac{2k}{\rho c_p \omega}} \approx 5,3 \text{ m}$$

D'où $z_e \ll$ altitude du Trijous $\Rightarrow$ les variations annuelles de température n'affectent pas la température des roches environnantes.

10°) Pour $\omega = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ rad.s}^{-1}$ on a z_e encore plus petit, $z_e = 0,3 \text{ m}$, les variations journalières sont encore moins ressenties en profondeur.

• les variations de basse fréquence se propagent plus facilement : c'est un passer bas

11°) En régime stationnaire : $\frac{\partial u}{\partial t} = 0$ d'où $dU = 0$

$$\Leftrightarrow \delta Q_e + \delta Q_c = 0$$

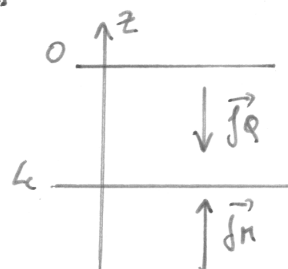
$$\Leftrightarrow \left[-\frac{\partial j_Q}{\partial z} dz \right] S dt + P dG dt = 0$$

$$\Leftrightarrow -\frac{\partial j_Q}{\partial z} + P = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{\partial j_Q}{\partial z} = P_0 e^{-z/H}$$

12°) Donc $j_Q = -P_0 H e^{-z/H} + \text{cte.}$

Or en $z = L_c$, $j_Q = -j_m$



$$\text{Donc } -P_0 H e^{-L_c/H} + \text{cte} = -j_m$$

$$\Rightarrow \text{cte} = -j_m + P_0 H e^{-L_c/H}$$

$$\text{Donc } j_q = P_0 H [e^{-L_c/H} - e^{-z/H}] - j_m \quad (1)$$

$$\text{de plus : } j_q = -K \frac{dT}{dz} \Leftrightarrow dT = \left\{ \frac{P_0 H}{K} [e^{-z/H} - e^{-L_c/H}] + \frac{j_m}{K} \right\} dz.$$

$$\Rightarrow T(z) = \frac{P_0 H}{K} \left[-H e^{-z/H} - z e^{-L_c/H} \right] + \frac{j_m z}{K} + \text{cte}.$$

$$\text{à } T(b) = \theta_0 \Rightarrow \frac{P_0 H}{K} [-H] + \text{cte} = \theta_0 \text{ d'où } \text{cte} = \theta_0 + \frac{P_0 H^2}{K}$$

$$\text{Donc } T(z) = \theta_0 + \frac{P_0 H}{K} \left[H(1 - e^{-z/H}) - z e^{-L_c/H} \right] + \frac{j_m z}{K} \quad (2)$$

13) • On a $j_s = j_q(z=0)$

$$\text{d'où } j_s = P_0 H [e^{-L_c/H} - 1] - j_m$$

14) • Comparons : j_m/K et $\frac{P_0 H}{K} e^{-L_c/H}$

$$\text{càd : } \begin{cases} j_m = 0,035 \text{ Wm}^{-2} \\ P_0 H e^{-L_c/H} = 1,11 \cdot 10^{-2} \text{ Wm}^{-2} \end{cases}$$

$$\text{Donc } T(z) \simeq \theta_0 + \frac{P_0 H^2}{K} (1 - e^{-z/H}) + \frac{j_m z}{K}$$

$$\Rightarrow \underline{T(z=1,7\text{km}) \simeq 33^\circ\text{C}} \quad (\text{qui est proche des } 30^\circ\text{C de l'énoncé})$$

$$\text{Et } \underline{j_s = -60 \text{ mWm}^{-2}}$$

15) d'équation de diffusion en régime stationnaire devient: $\Delta T = 0$

$$\cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

$$\cdot \text{En posant } T(x, z) = C_1 + f(x)g(z)$$

$$\Rightarrow f''g + g''f = 0$$

$$\Rightarrow \frac{f''(x)}{f(x)} = -\frac{g''(z)}{g(z)} = \text{cte.}$$

Or on veut une solution oscillante en x d'où: $f'' + k^2 f = 0$

$$\Rightarrow f = A \cos(kx) + B \sin(kx)$$

$$\text{et } g = C e^{-kz} + D e^{kz} = C e^{-kz} \text{ afin que la solution reste bornée}$$

$$\text{Or } T(x, z) = T_s + T_1 \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) = C_1 + (A' \cos kx + B' \sin kx)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} C_1 = T_s \\ B' = 0 \\ A' = T_1 \end{cases} \text{ et } k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\Rightarrow T(x, z) = T_s + T_1 \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) e^{-2\pi z/\lambda} \quad \text{avec } \frac{2\pi}{\lambda} = k.$$

• On remarque que le relief a une part importante dans les variations de la température en fonction de x et aussi de z .

• Vu que $\lambda = 10 \text{ km}$ cet effet est plus important que les précédents m³ pour une profondeur de l'ordre du km.

16) d'équation de chaleur étant linéaire on peut sommer les deux termes d'où :

$$T(x,z) = T_s + \frac{j_H z}{K} + \frac{P_0 H^2}{K} (1 - e^{-z/H}) + T_1 \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) e^{-2\pi z/\lambda} \quad (3)$$

17) A l'ordre 1 on peut écrire :

$$T(x, z=h) = T(x, z=0) + h \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0}$$

$$\Rightarrow T(x, z=0) = T(x, z=h) - h \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0}$$

Or en surface : $j_s = -K \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0}$

$$\text{d'où } T(x, z=0) = T(x, z=h) + \frac{j_s}{K} h.$$

$$= T_s + \frac{j_s}{K} h_0 \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

$$= \theta_0 + \beta z + \frac{j_s h_0}{K} \cos(2\pi x/\lambda)$$

or d'après (3) $T(x, 0) = T_s + T_1 \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \Rightarrow \begin{cases} T_s = \theta_0 + \beta z \\ T_1 = \frac{j_s h_0}{K} \end{cases}$

$$\text{Donc : } T(x, z) = \underbrace{\theta_0 + z \left(\frac{j_H}{K} + \beta \right)}_{C_1} + \underbrace{\frac{P_0 H^2}{K} (1 - e^{-z/H})}_{C_2} + \frac{h_0 j_s}{K} \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) e^{-2\pi z/\lambda}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} C_1 = j_H/K + \beta \\ C_2 = P_0 H^2/K & \text{et } \delta = \frac{\lambda}{2\pi} \\ C_3 = j_s/K \end{cases}$$