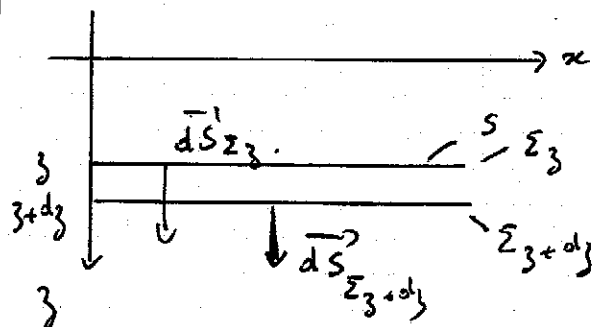




Système: tranche d'épaisseur dz , délimitée par les surfaces Σ_z et Σ_{z+dz} , d'aire S , orientées dans le sens de $z \rightarrow$.

Par hypothèse, $T(z, t)$, donc $\vec{J}_q = -\lambda \vec{\nabla} T = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \vec{e}_z$.

Appliquons le 1^{er} ppc à la tranche, qui subit une transformation isotherme, sans échange de travail, entre t et $t+dt$.

$$dH = \delta Q \quad \text{soit} \quad \rho c S dz \frac{\partial T}{\partial t} dt = \underbrace{J_{q_z}(z, t) S dt}_{\parallel \vec{J}_q \cdot d\vec{S}_{\Sigma_z}} - \underbrace{J_{q_z}(z+dz, t) S dt}_{\parallel \vec{J}_q \cdot d\vec{S}_{\Sigma_{z+dz}}}$$

$$\text{Soit} \quad \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{\partial J_{q_z}}{\partial z} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

1.2 ω_A correspond au rythme des saisons.

ω_J " " " " des variables circadiennes de T .

1.3 Avec l'expression donnée, $\frac{\partial T}{\partial t} = -\alpha \omega e^{-3/\delta} \sin(\omega t + \varphi - 3/\delta)$.

$$\frac{\partial T}{\partial z} = \alpha e^{-3/\delta} \left(-\frac{1}{\delta} \cos(\omega t + \varphi - 3/\delta) + \frac{1}{\delta} \sin(\omega t + \varphi - 3/\delta) \right)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\alpha}{\delta^2} e^{-3/\delta} \left(\cos(\omega t + \varphi - 3/\delta) - \sin(\omega t + \varphi - 3/\delta) - \sin(\omega t + \varphi - 3/\delta) - \cos(\omega t + \varphi - 3/\delta) \right)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = -\frac{2\alpha}{\delta^2} e^{-3/\delta} \sin(\omega t + \varphi - 3/\delta)$$

En reportant ces expressions dans l'éq. de la chaleur, il vient:

$$\frac{\rho c}{\lambda} \left(-\alpha \omega e^{-3/\delta} \sin(\omega t + \varphi - 3/\delta) \right) = -\frac{2\alpha}{\delta^2} e^{-3/\delta} \sin(\omega t + \varphi - 3/\delta)$$

$$\text{Donc} \quad \delta = \sqrt{\frac{2\lambda}{\rho c \omega}}$$

1.4 δ représente l'épaisseur de la couche limite de T_p se propage dans le sol.

1.5 L'effet de peau dans les conducteurs électriques.

1.6 $\delta_J \approx 0,1 \text{ m}$; $\delta_A \approx 1,8 \text{ m}$.

Dans les nuits très froides, il faut enterrer la canalisation d'eau à $\approx 3\delta_J \approx 30 \text{ cm}$ pour éviter qu'elle se gèle.

Pour qu'une cave garde une $T_p \approx$ constante toute l'année, il faut qu'elle ait 3-4 m de profondeur.

1.7 On veut $e^{-z/\delta} = \frac{1}{5}$, soit $z = \delta \ln 5 = \delta_A \ln 5 = 2,9 \text{ m}$.

2.1. On doit renouveler l'air du logement pour évacuer l'humidité (respiration, utilisation de gaz pour la cuisson des aliments), les polluants tels que CO_2 (respiration, utilisation du gaz) et les autres polluants volatils (peintures, vernis, produits d'entretien...).

Inconvénients : en hiver, on remplace l'air intérieur (chaud) par de l'air extérieur (froid) : augmentation des dépenses de chauffage

Dur $t = V_{\text{ext, air}} = S \times H = 200 \text{ m}^3$, $t = \frac{V_{\text{ext, air}}}{D_v} = 4 \text{ h}$.

de puis la canalisation sert à préchauffer l'air extérieur

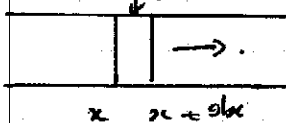
2.2 Si le puits est assez long, on peut atteindre T_0 .

la puissance reçue par l'air dans le puits canotien vaut alors,

$P = D_v \rho c_p (T_0 - T_{\text{ext}})$ AN: $P \approx 3 \cdot 10^2 \text{ W}$.

L'énergie consommée serait facturée $200 \times P$ chaque jour, ce qui n'est pas très important, et ne semble pas nécessiter un investissement.

2.3. $\frac{d\theta}{dx} = 2\pi R \frac{dx}{dx}$



En régime stationnaire, on peut écrire :

$\frac{h_a - h_c}{\text{enthalpie massique}} = q$, soit $c_p \frac{d\theta}{dx} dx = - \frac{h (T_0 - T_{\text{ext}}) 2\pi R dx}{P D_v}$

Donc $\frac{\partial \theta(x)}{\partial x} = -k$, avec $k = \frac{2\pi R h}{\rho D v c_p}$ Et $\theta(x) = \theta(0) e^{-kx}$

Rq: le signe "-" qui intervient dans la mise en équation provient du fait que $\theta(x) < 0$, alors que le flux surfacique φ reçu par l'air est > 0 .

Au dénominateur, $\rho D v$ est le débit massique de l'air, et permet de passer des W au J kg⁻¹.

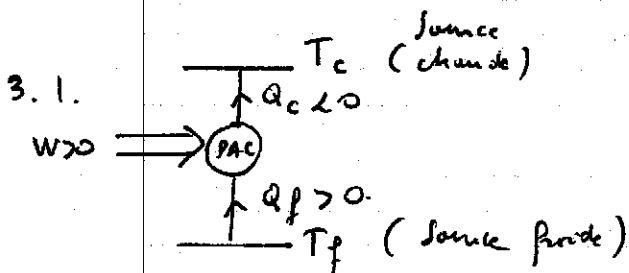
2.4. On veut $\theta(L) = -4 \cdot 10^{-2} T_0$, soit $4 \cdot 10^{-2} T_0 = \theta(0) e^{-kL}$.

$$L = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{\theta(0)}{4 \cdot 10^{-2} T_0} \right) = \frac{1}{0,15} \ln \left(\frac{100}{3} \right) \text{ m} = \frac{1}{0,15} \times 3,5 \text{ m} = 23 \text{ m}$$

2.5. L est $\propto \frac{1}{k} = \frac{\rho D v c_p}{2\pi R h} = \frac{\rho D v c_p R^{0,8}}{2\pi k D v^{0,8}}$, avec $k = 1,18 \text{ u SI}$.

$$L \propto \frac{\rho D^{0,2} c_p R^{0,8}}{2\pi k} : \quad \% , \text{ si } D \nearrow, L \nearrow, \text{ mais } \underline{\text{lentement}}.$$

2.6 L est $\propto R^{0,8}$, donc si $R \nearrow, L \nearrow$.



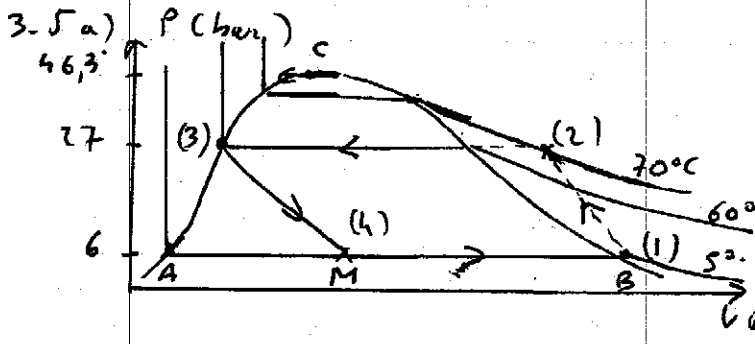
La PAC reçoit un travail > 0 , prélève de la chaleur à la source froide, et en fournit à la source chaude.

3.2 L'évaporation est un processus endothermique, qui prélève de la chaleur à l'est. Le circuit capteur doit donc être en contact avec l'évaporateur "source" froide.

3.3 La consommation annuelle est de 7000 kWh.

$$P_{\text{moy}} = \frac{E_{\text{chauff}}}{6 \text{ mois}} = 1,6 \text{ kW}$$

3.4 Cette puissance permettra de chauffer la maison même les jours de très grand froid. ($P_{max} \approx h \times P_{moyen}$).



b) La transformation 3-4 est isenthalpique, et $h_3 = h_4$ (27 bar).
En 4, le fluide est diphasé,
et $h_4 = x h_v(6 \text{ bar}) + (1-x) h_L(6 \text{ bar})$.
D'où $x = \frac{h_L(27 \text{ bar}) - h_L(6 \text{ bar})}{h_v(6 \text{ bar}) - h_L(6 \text{ bar})} = 0,42$

3.5.c La position du point (4) utilise la valeur de $x = \frac{AM}{AB}$.

$$3.6 q_c = q_{23} = h_3 - h_2 = h_L(27 \text{ bar}) - h_v(27 \text{ bar}, 70^\circ\text{C}) = -140 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ AB}$$

$$q_f = q_{41} = h_1 - h_4 = h_1 - h_3 = h_v(6 \text{ bar}) - h_L(27 \text{ bar}) = 115 \text{ kJ kg}^{-1}$$

$$w_c = h_2 - h_1 = h_v(70^\circ\text{C}, 27 \text{ bar}) - h_v(6 \text{ bar}) = 25 \text{ kJ kg}^{-1}$$

Rq Sur 1 cycle $\Delta h = 0$, d'où $q_c + q_f + w_c = 0$, et $q_f = -q_c - w_c = 115 \text{ kJ kg}^{-1}$.
(Valeur déjà obtenue par ailleurs)

$$3.7.a) \eta = \frac{-q_c}{w_c} = 5,6 \quad \eta_{\text{Carnot}} = \frac{-Q_c}{W} \text{ avec } -W = Q_c + Q_f \text{ (1-ppc)}$$

$$\text{et } \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} = 0 \text{ (2-ppc)}$$

$$\text{D'où } \eta_{\text{Carnot}} = \frac{+Q_c}{Q_c(1 - \frac{T_f}{T_c})} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

On retrouve bien $\eta < \eta_c$,
mais, 5,6 est proche de 6,1

$$3.7.b. P_{elec} = \frac{P_{comp}}{0,75} = \frac{P_{th, max}}{0,75 \times \eta} = 1,7 \text{ kW}$$

$$3.7.c. E'_{annuelle} = \frac{E_{annuelle}}{0,75 \times \eta} = 1,7 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

$$3.7.d: G_{ann} = (E_{annuelle} - E'_{annuelle}) \times \text{prix/kWh} = 800 \text{ €}$$

%: Il faudra plusieurs années pour amortir l'installation de la P.A.C.