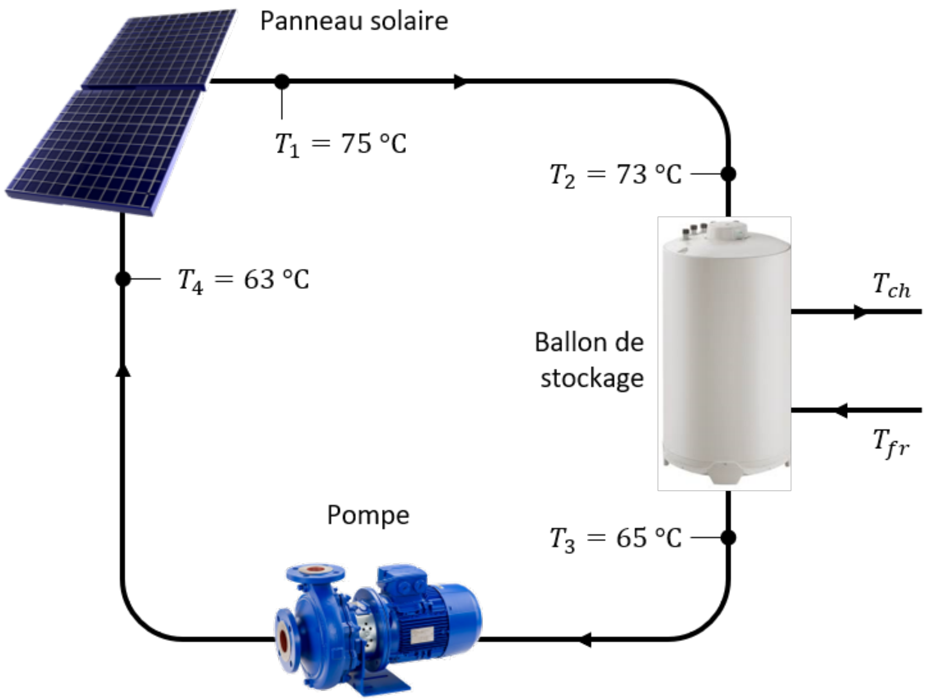
Chauffe eau solaire

L'énergie du rayonnement solaire est captée par un fluide caloporteur, qui la transfère à l'eau du ballon grâce à un échangeur thermique. Les panneaux solaires ont une surface $S = 6$ m^2 et sont inclinés pour recevoir le rayonnement solaire en incidence normale. La circulation est assurée par une pompe qui maintient un débit massique constant $D = 180$ kg·h^{-1}.

La capacité thermique de l'eau pure est $c_e = 4,2$ kJ·K^{-1}·kg^{-1}. Celle du fluide est $c = 3,9$ kJ·K^{-1}·kg^{-1}.

On néglige les variations d'énergie potentielle de pesanteur.



1) Déterminer la puissance thermique transmise au fluide caloporteur dans les panneaux. Sachant que le flux solaire est d'environ 600 W·m^{-2}, estimer le rendement de la conversion d'énergie solaire en énergie thermique.

2) Déterminer la puissance des pertes thermiques, d'après les indications données sur la figure. Comment les limiter ?

Le ballon de stockage, supposé parfaitement calorifugée, contient $V = 200$ L d'eau initialement à la température $T_i = 35$ °C. On note $T(t)$ la température de l'eau contenue dans le ballon, supposée uniforme. On suppose qu'au cours de la phase de chauffe la température du fluide à l'entrée de l'échangeur reste constante, égale à $T_2 = 73$ °C, et que sa température en sortie est égale à $T(t)$.

3) Établir l'équation différentielle vérifiée par la température $T(t)$. Calculer la valeur du temps caractéristique associé à cette équation différentielle.

4) Combien de temps faut-il pour que la température du ballon atteigne sa valeur de consigne $T_3 = 65$ °C ?

Une fois la température T_3 atteinte, la pompe s'arrête et ne se remet en route que pour la maintenir constante. De l'eau chaude est alors prélevée à la température $T_{ch} = T_3$ avec le débit massique D', remplacée dans le ballon par de l'eau froide à la température $T_{fr} = 15$ °C.

5) Déterminer le débit maximal d'eau chaude D_e pour qu'elle garde la même température T_3, la pompe fonctionnant en continu.

Correction

Une question ? Un soucis de QRCode ? nicolasperrissin@gmail.com

Correction

1) On applique le premier principe sur le fluide dans le panneau solaire (système ouvert avec débit massique constant). Les variations d'énergie mécaniques sont négligées $\Delta\mathcal{E}_m$. Il n'y a pas de pièces mobiles donc $\mathcal{P}_u = 0$.

$$D\,\Delta h = \mathcal{P}_{th} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\mathcal{P}_{th} = Dc\,(T_1 - T_4) = 2,34 \text{ kW}}$$

On en déduit le rendement de conversion :

$$\boxed{\eta = \frac{\mathcal{P}_{th}}{\mathcal{P}_{solaire}} = \frac{2340}{6 \times 600} = 0,65}$$

2) On applique le premier principe sur le fluide dans le tuyau entre le panneau solaire et le ballon (système ouvert avec débit massique constant). Les variations d'énergie mécaniques sont négligées $\Delta\mathcal{E}_m$. Il n'y a pas de pièces mobiles donc $\mathcal{P}_u = 0$.

$$D\,\Delta h = \mathcal{P}_{pertes\ 1} \quad \Rightarrow \quad \mathcal{P}_{pertes\ 1} = Dc\,(T_2 - T_1) = -390 \text{ W}$$

Même chose pour le tuyau qui passe par la pompe :

$$\mathcal{P}_{pertes\ 2} = Dc\,(T_4 - T_3) = -390 \text{ W}$$

On en déduit les pertes totales :

$$\boxed{\mathcal{P}_{pertes} = -780 \text{ W}}$$

Pour réduire les pertes, il faut mieux calorifuger les tuyaux ou les raccourcir.

3) Puisque le ballon est parfaitement calorifugée, l'intégralité de la puissance perdue par le fluide caloporteur est reçue par l'eau du ballon.

On applique le premier principe sur le fluide dans le tuyau entre le panneau solaire et le ballon (système ouvert avec débit massique constant). Les variations d'énergie mécaniques sont négligées $\Delta\mathcal{E}_m$. Il n'y a pas de pièces mobiles donc $\mathcal{P}_u = 0$.

$$\mathcal{P}_{\text{eau}\to\text{fluide}} = Dc\,(T(t) - T_2) = -390 \text{ W}$$

On applique le premier principe sur l'eau du ballon (système fermé, transformation monobare) :

$$dH = m_e c_e\,dT = Q_{\text{fluide}\to\text{eau}} = -Q_{\text{eau}\to\text{fluide}} = -Dc\,(T(t) - T_2)\,dt$$

On en déduit :

$$\boxed{\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_2}{\tau} \quad \text{avec :} \quad \tau = \frac{\rho_e V c_e}{Dc} = 4,3 \cdot 10^3 \text{ s}}$$

4) La solution est :

$$T(t) = T_2 + (T_i - T_2)\,e^{-t/\tau}$$

Il faut donc attendre un temps t_b défini par :

$$T_3 = T_2 + (T_i - T_2)\,e^{-t_b/\tau} \quad \Rightarrow \quad \boxed{t_b = \tau \ln\left(\frac{T_i - T_2}{T_3 - T_2}\right) = 6,7 \cdot 10^3 \text{ s}}$$

5) L'eau dan le ballon constitue un système ouvert qui reçoit une puissance thermique de la part du fluide caloporteur $Dc\,(T_2 - T_3)$ et perd une puissance thermique du fait de la consommation d'eau $D_e c_e\,(T_{ch} - T_{fr})$. Ainsi, en régime permanent, le premier principe donne :

$$0 = Dc\,(T_2 - T_3) - D_e c_e\,(T_{ch} - T_{fr})$$

Ainsi,

$$\boxed{D_e = \frac{Dc}{c_e}\,\frac{T_2 - T_3}{T_{ch} - T_{fr}} = 26,7 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}}$$