

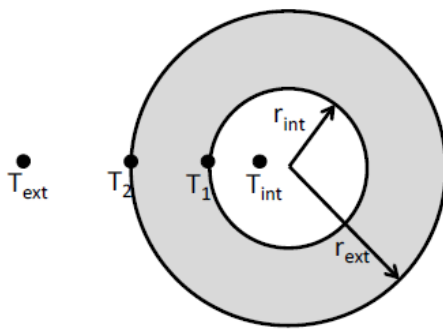
Admissibilité – session 2024
Epreuve de Physique
Sujet de Transferts Thermiques

Aucun document autorisé

Chacun des exercices peut être traité de manière indépendante.

Exercice 1 : Etude des transferts de chaleur en coordonnées cylindriques et régime permanent : cas d'un circuit de distribution d'eau chaude

Dans cette première partie, on cherche à caractériser le comportement thermique d'un tube monocouche de rayon interne r_{int} et externe r_{ext} , de longueur L , en acier de conductivité thermique λ_a ; comme présenté sur le schéma ci-dessous :



Données du problème (uSI : unité du système international) :

$$r_{int} = 11,5 \text{ mm}$$

$$r_{ext} = 16 \text{ mm}$$

$$\lambda_a = 40 \text{ uSI}$$

$$T_{ext} = 20^\circ\text{C}$$

$$T_{int} = 55^\circ\text{C}$$

$$\text{Coefficient d'échange superficiel extérieur : } h_e = 9 \text{ uSI}$$

$$\text{Coefficient d'échange superficiel intérieur : } h_i = 2000 \text{ uSI}$$

On rappelle ici que la résistance thermique totale d'un tube composé de n couches s'exprime en fonction des résistances thermiques R_i de chaque couche i :

$$R_{tot} = \frac{1}{h_i \cdot S_i} + \frac{1}{h_e \cdot S_e} + \sum_{i=1}^n R_i$$

1. Reprendre le schéma du tube ci-dessus en précisant le sens du flux de chaleur traversant la paroi. Identifier également sur ce schéma les différents phénomènes physiques intervenant dans le transfert de chaleur entre les deux ambiances (intérieure et extérieure).
2. Quelle est la signification physique des coefficients d'échange superficiels extérieur et intérieur ?
3. Comment expliquer la différence entre les valeurs de h_i et h_e ?
4. Quelles sont les unités de λ , R_{tot} , h_i et h_e ?

On se propose maintenant de retrouver l'expression de la résistance thermique d'une couche de matériau. Au sein du tube, la distribution de température est régie par l'équation de la chaleur associée à des conditions aux limites, ici, de températures :

$$\left| \begin{array}{l} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = 0 \\ T(r = r_{int}) = T_1 \\ T(r = r_{ext}) = T_2 \end{array} \right.$$

De plus la densité de flux conductif φ traversant la paroi est donné par l'équation de Fourier, qui ici s'exprime selon :

$$\varphi = -\lambda \cdot \frac{dT}{dr} \Big|_r$$

5. Par intégration de l'équation de la chaleur et par application des conditions aux limites, déterminer le profil de température $T(r)$ dans le tube. Montrer qu'il est de la forme :

$$T(r) = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)} \ln\left(\frac{r}{r_{\text{int}}}\right)$$

6. A partir de l'équation de Fourier, déterminer l'expression de la densité de flux $\varphi(r)$. En déduire l'expression du flux de chaleur traversant le tube.
7. Déduire des résultats précédents que l'expression de la résistance thermique conductive d'une couche s'écrit sous la forme :

$$R_i = \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot L}$$

On s'intéresse maintenant à caractériser le comportement thermique du tube en régime permanent.

8. Calculer la résistance thermique totale R_{tot} du tube monocouche pour unité de longueur.
9. En déduire le flux Φ traversant ce tube par unité de longueur.

Exercice 2 : Etude d'un émetteur de chaleur

Un émetteur de chaleur est dimensionné pour émettre une puissance P égale à 2 kW dans une ambiance à la température $T_i = 20^\circ\text{C}$ lorsqu'il est alimenté en eau chaude à une température $T_{ee} = 80^\circ\text{C}$ (température d'eau à l'entrée). La température de retour T_{es} (température de l'eau en sortie) est alors égale à 65°C .

1. Déterminer le débit massique d'eau qui est alors mis en circulation.

On admet alors que la loi d'émission est de type :

$$P = B \cdot \left(\frac{T_{ee} + T_{es}}{2} - T_i \right)^{1.3}$$

2. Déterminer la valeur du coefficient B caractérisant le matériel choisi.
3. A partir de la loi d'émission précédente, déterminer la nouvelle température de retour T_{es2} pour obtenir une puissance émise de 1000 W, en admettant que la température d'entrée reste égale à 80°C .
4. Quel est alors le débit massique d'eau à faire circuler ?
5. A partir des équations traduisant le bilan thermique de l'émetteur en régime permanent, déterminer la nouvelle température d'entrée T_{ee3} à imposer pour obtenir une émission de 1 kW, le débit initial calculé à la Q1 étant conservé. Préciser alors la nouvelle valeur de la température de retour T_{es3} .