

Fiche TD N=4

Exercice 1

Une plaque mince d'une longueur de 3m et d'une largeur de 1,5m est sous l'effet d'un écoulement d'air à la vitesse de 2,0m/s et de température de 20°C, dans la direction longitudinale.

La température des surfaces de la plaque est de 84°C. Il est demandé de calculer:

1. Le coefficient d'échange de la chaleur par convection suivant la longueur (pour $Pr=0,71$);
2. Le flux de chaleur transmis par la plaque à l'air.

Les caractéristiques de l'air à 20°C sont:

$$\rho=1,175 \text{ kg/m}^3, \mu=1,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}, k=0,026 \text{ W/m.oK} \text{ et } C_p=1006 \text{ J/kg.}^\circ\text{K}.$$

Exercice 2

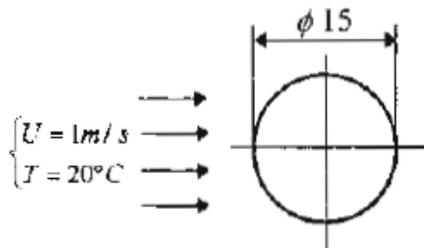
Il est demandé de calculer la quantité de chaleur transmise par le passage d'une eau qui se déplace d'une manière forcée dans un serpentin constitué d'un tube de 20mm de diamètre. Le débit de l'eau est de 0,28 kg/s et sa température est de 120°C. La température de la paroi interne de la conduite dont la longueur est de 4 m est considérée constante et égale à 95°C.

Les caractéristiques de l'eau à 120°C sont:

$$\rho=945,3 \text{ kg/m}^3, \mu=2,34 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}, k=0,68 \text{ W/m.}^\circ\text{K} \text{ et } C_p=4250 \text{ J/kg.}^\circ\text{K}.$$

Exercice 3

Une barre de section circulaire de diamètre 15mm est refroidie par un courant d'air transversal de vitesse 1 m/s et de température 20°C. Calculez la quantité de chaleur transmise à l'air par unité de longueur de la barre si la température de la paroi de cette dernière est de 80°C.



Exercice 4

Calculez les pertes de chaleur par unité de temps et par mètre carré de surface d'un échangeur horizontal dont le corps cylindrique est refroidi par un courant d'air fibre de température 30°C. Le diamètre extrême de la conduite est de 400mm et la température de sa paroi 200°C.

Solution de fiche TD N 4

EXERCICE 1

Solution

1. Le coefficient d'échange de chaleur par convection h:

– La nature de l'écoulement:

$$Re = \frac{\rho LU}{\mu} = \frac{1,175 \text{ kg/m}^3 \cdot 3 \text{ m} \cdot 2,0 \text{ m/s}}{1,80 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}} = 391666,67 < 500.000$$

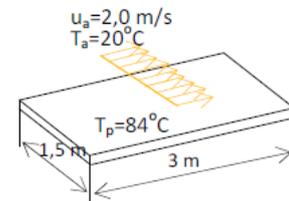
⇒ Le régime est donc laminaire, on applique dans ce cas:

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0,66 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \Rightarrow h = \frac{0,66 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \cdot k}{L}$$

$$h = \frac{0,66 \cdot (391666,67)^{0,5} \cdot (0,71)^{0,33} \cdot 0,026 \text{ W/m.K}}{3 \text{ m}} = 3,1972 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

2. Le flux de chaleur transmis par la plaque (cette dernière possède deux parois, inférieure et supérieure) à l'air est donné par:

$$\phi = 2 \cdot h \cdot S \cdot (T_p - T_a) = 2 \cdot 3,1972 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot (3 \cdot 1,5) \text{ m}^2 \cdot (357 - 293) \text{ K} = 1841,587 \text{ W}$$



EXERCICE 2

Solution

1. Le coefficient d'échange de chaleur par convection h:

– La nature de l'écoulement:

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu};$$

$$Q = \rho \cdot S \cdot U \Rightarrow U = \frac{Q}{\rho \cdot S} = \frac{0,28 \text{ kg/s}}{945,3 \text{ kg/m}^3 \cdot \pi (0,01)^2 \text{ m}^2} = 0,943 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{945,3 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,943 \text{ m/s} \cdot 0,02 \text{ m}}{2,34 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}} = 76189,56 > 2300$$

⇒ Le régime d'écoulement est donc turbulent, pour calculer h, on doit appliquer la relation de

Colburn, mais pour cela on doit vérifier d'abord que: $\frac{L}{D} > 60$, $1000 < Re < 120000$ et $Pr > 0,7$

$$\checkmark 10000 < Re < 120000;$$

$$\checkmark \frac{L}{D} = \frac{4 \text{ m}}{0,02 \text{ m}} = 200 > 60;$$

$$\checkmark Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k} = \frac{2,34 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s} \cdot 4250 \text{ J/kg.K}}{0,685 \text{ W/m.K}} = 1,45 > 0,7$$

$$Nu = \frac{hD}{k} = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \Rightarrow h = \frac{0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \cdot k}{D}$$

$$h = \frac{0,023 \cdot (76189,56)^{0,8} \cdot (1,45)^{0,33} \cdot 0,685 \text{ W/m.K}}{0,02 \text{ m}} = 7164,01 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$



2. Le flux de chaleur transmis par l'eau (à la paroi intérieure de tube) est donné par:

$$\phi = h.S.(T_e - T_p) = h.\pi DL.(T_e - T_p) = 7164,01 W/m^2K.\pi.(0,024)m^2.(393 - 368)K$$

$$\phi = 45,012kW$$

Exercice 3

Solution

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3, \mu = 1,8.10^{-5} \text{ kg/ms}, k = 0,0259 \text{ W/mK}, C_p = 1006 \text{ J/kg.K}$$

L'écoulement est perpendiculaire à la barre on peut donc appliquer la relation d'Hilper (donner dans le document supplémentaire).

Calculons d'abord le nombre de Reynolds :

$$Re_D = \frac{\rho.U.D}{\mu} = \frac{1,20.1,0,015}{1,8.10^{-5}} = 1000 \Rightarrow C = 0,615 \text{ et } m = 0,466$$

$$h = \frac{k}{D}.Nu_D = \frac{k}{D}.C.(Re_D)^m = \frac{0,0259}{0,015}.0,615(1000)^{0,466} = 26,55 \text{ W/m}^2K$$

Et

$$\phi = h.S.\Delta T = 26,55.\pi.0,015(80 - 20) = 75 \text{ W/m}$$

Exercice 4

Solution

On est dans le cas d'une convection libre avec comme fluide de l'air. La relation ((1.13)(de l'annexe)) peut donc être utilisée. Le choix des constantes B et m nécessite la connaissance du régime d'écoulement qui dans le cas d'un échange par convection naturelle est décrit par le nombre de Rayleigh. Calculons d'abord la température du film de fluide:

$$T_f = \frac{T_{par} + T_{air}}{2} = \frac{200 + 30}{2} = 115^\circ\text{C} = 388K$$

A cette température les caractéristiques de l'air sont :

$$\rho = 0,885 \text{ kg/m}^3, \mu = 2,2.10^{-5} \text{ kg/ms}, k = 0,033 \text{ W/mK}, C_p = 1013 \text{ J/kgK}$$

$$\text{Donc : } Gr_f = \frac{g.\beta.\rho^2.D^3(T_{par}-T_{film})}{\mu^2} = \frac{1}{388}.9,81.(0,885)^2.(0,4)^3.(200-115)}{(2,2.10^{-5})^2} = 2,22.10^8$$

$$Pr_f = \frac{\mu.C_p}{k} = \frac{2,2.10^{-5}.1013}{0,033} = 0,675$$

D'où

$$Ra_f = Gr_f.Pr_f = 2,22.10^8.0,675 = 1,5.10^8 < 10^9$$

Le régime est donc laminaire. La conduite étant horizontale, les constantes de l'équation (1.13) et le tableau sont donc égales à :

$$B=0,49 \quad \text{et} \quad m=0,25$$

Finalement :

$$h = \frac{k}{D} \cdot Nu_f = \frac{k}{D} \mathbf{B} \cdot (\mathbf{Gr}_f)^m = \frac{0,033}{0,4} \cdot 0,49 (2,2 \cdot 10^8)^{0,25} = 4,93 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Et

$$\phi = h \cdot \Delta T = 4,93 \cdot (200 - 30) = 838 \text{ W/m}^2$$