

**Transfert de Chaleur  
 Examen final**

**Questions de cours : (2 Pts)**

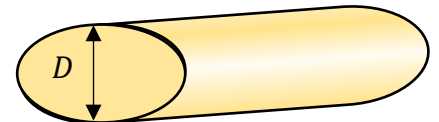
- Citer les modes de transfert de chaleur que vous connaissez ?
- Quelle est la différence entre la conduction et la convection ?
- Quelle est la différence entre la convection et le rayonnement ?
- Quelle est la différence entre la convection forcée et la convection naturelle ?

**Exercice 1 : (4 Pts)**

Déterminer le flux de chaleur échangé entre la barre de section elliptique et le milieu ambiant si :

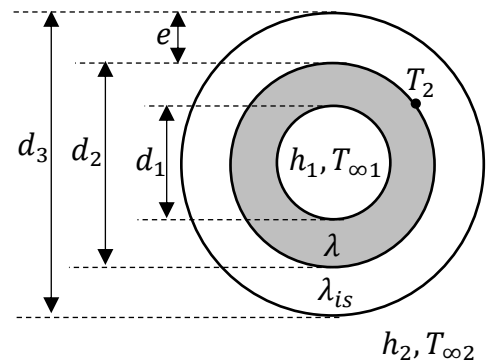
$$\nu = 1.77 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}; \lambda = 0.0275 \frac{W}{mK}; Pr = 0.71;$$

$$D = 8cm; Ts = 90^\circ C, T_\infty = 7^\circ C, U_\infty = 50.4 km/h$$



**Exercice 2 : (6 Pts)**

De la vapeur d'eau à une température  $T_{\infty 1} = 320^\circ C$  circule dans une conduite de diamètre intérieur  $d_1 = 50 mm$  et de diamètre extérieur  $d_2 = 55 mm$ . La conduite est recouverte d'une couche isolante en laine de verre de  $e = 6 cm$  d'épaisseur. La surface extérieure de la couche isolante est exposée à un courant d'air de température  $T_{\infty 2} = 5^\circ C$ .

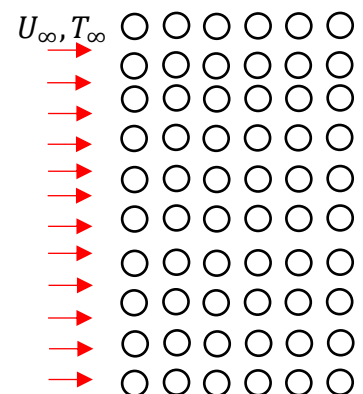


- Tracer le schéma électrique équivalent .
- calculer la valeur de chaque résistance thermique. En déduire la valeur de la résistance thermique équivalente.
- Calculer les déperditions thermiques par unité de longueur de conduite.
- Calculer la température  $T_2$ , à l'interface (conduite/couche isolante).

$$\lambda = 15 \frac{W}{mK}, \lambda_{is} = 0.038 \frac{W}{mK}, h_1 = 80 \frac{W}{m^2K}, h_2 = 15 \frac{W}{m^2K}$$

**Exercice 3 : (8 Pts)**

De l'air s'écoule perpendiculairement à un faisceau de tubes arrangés en ligne. Le faisceau est constitué de 6 rangées de tubes dans le sens du flux d'air avec 10 tubes dans chaque rangée. Le diamètre extérieur des tubes est de  $D = 1,5 cm$  et  $P_L = P_T = 5 cm$ . Dans des conditions de fonctionnement typiques, la température de surface du cylindre est de  $T_p = 120^\circ C$ , tandis que la température et la vitesse de l'air en amont sont respectivement  $T_\infty = 20^\circ C$  et  $U_\infty = 4.5 m/s$ . Le facteur de correction du Nombre de Nusselt pour un faisceau constitué de 6 rangées de tubes dans le sens d'écoulement  $F = 0.945$ .



- Déterminer le taux de transfert de chaleur par unité de longueur des tubes.
- Calculer la température d'air à la sortie du faisceau  $T_s$ .

$$\nu = 18.94 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}; Pr_p = 0.7073; Pr = 0.7202; Cp = 1007 \frac{J}{K kg}; \rho = 1.06 \frac{kg}{m^3}; \lambda = 0.02808 \frac{W}{mK}$$

**Transfert de Chaleur**  
**Examen final**

<b>Exercice 1 : (4Pts)</b>		
$U_{\infty} = 50.4 \text{ km/h} = 14 \text{ m/s}$		<b>0.5</b>
$Re = \frac{U_{\infty} D}{\nu} = \frac{14 * 0.08}{1.77 * 10^{-5}} = 6.32 * 10^4$		<b>0.5</b>
$Nu_{moy} = C Pr^{1/3} Re^m$		<b>0.5</b>
avec $C = 0.197 ; m = 0.612$ (tableau 3.1)		<b>0.5</b>
$Nu_{moy} = 0.197 Pr^{1/3} Re^{0.612} \Rightarrow Nu_{moy} = 0.197 * 0.71^{1/3} * (6.32 * 10^4)^{0.612} = 152.38$		<b>0.5</b>
$Nu_{moy} = \frac{hD}{\lambda} \Rightarrow h = \frac{Nu_{moy} \lambda}{D} = \frac{152.38 * 0.0275}{0.08} = 52.38 \frac{W}{m^2 K}$		<b>0.5</b>
$q = h(T_s - T_{\infty})$		<b>0.5</b>
$q = 52.38 * (90 - 7) = 4347.59 \text{ W/m}^2$		<b>0.5</b>
<b>Exercice 2 : (6Pts)</b>		
Le schéma électrique		
<p style="text-align: center;"> <math>R_{conv1} = \frac{1}{L 2\pi r_1 h_1}</math>                     <math>R = \frac{1}{\lambda L 2\pi} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)</math>                     <math>R_{is} = \frac{1}{\lambda L 2\pi} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)</math>                     <math>R_{conv2} = \frac{1}{L 2\pi r_3 h_2}</math> </p>		<b>1</b>
calcul des resistances thermiques.		
$R_{conv1} = \frac{1}{L 2\pi r_1 h_1} = \frac{1}{1 * 2 * \pi * 0.025 * 80} = 0.08 \text{ K/W}$		<b>0.5</b>
$R = \frac{1}{\lambda L 2\pi} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) = \frac{1}{15 * 1 * 2\pi} \ln\left(\frac{27.5}{25}\right) = 1.01 * 10^{-3} \text{ K/W}$		<b>0.5</b>
$R_{is} = \frac{1}{\lambda_{is} L 2\pi} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) = \frac{1}{0.038 * 1 * 2\pi} \ln\left(\frac{87.5}{27.5}\right) = 4.848 \text{ K/W}$		<b>0.5</b>
$R_{conv2} = \frac{1}{L 2\pi r_3 h_2} = \frac{1}{1 * 2\pi * 0.0875 * 15} = 0.121 \text{ K/W}$		<b>0.5</b>
la résistance thermique équivalente.		
$R_{eq} = R_{conv1} + R + R_{is} + R_{conv2} = 5.05 \text{ K/W}$		<b>0.5</b>
Calculer les déperditions thèrmiques par unité de longueur de conduite.		
$q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{eq}}$	<b>0.5</b>	$q = \frac{320 - 5}{5.05} = 62.38 \text{ W/m}$
la température $T_2$ , à l'interface (conduite/couche isolante).		
Méthode 1	Méthode 2	
$q = \frac{T_{\infty 1} - T_2}{R_{conv1} + R} \Rightarrow T_2 = T_{\infty 1} - q(R_{conv1} + R)$	$q = \frac{T_2 - T_{\infty 2}}{R_{is} + R_{conv2}} \Rightarrow T_2 = q(R_{is} + R_{conv2}) + T_{\infty 2}$	<b>1</b>
$T_2 = 320 - 62.38(0.08 + 1.01 * 10^{-3})$	$T_2 = 62.38(4.848 + 0.121) + 5$	<b>0.25</b>
$T_2 = 315^{\circ}C$	$T_2 = 315^{\circ}C$	<b>0.25</b>

**Transfert de Chaleur  
 Examen final**

Exercice 3 : 8Pts			
$U_{max} = \frac{P_T}{P_T - D} \cdot U_{\infty} = \frac{0.05}{0.05 - 0.015} * 4.5 = 6.43m/s$		<b>0.5</b>	
$Re_D = \frac{U_{max} D}{\nu} = \frac{6.43 * 0.015}{18.94 * 10^{-6}} = 5.092 * 10^3$		<b>0.5</b>	
$Nu_D = C Re_D^m Pr^n \left( \frac{Pr}{Pr_p} \right)^{0.25}$		<b>0.5</b>	
$10^3 < Re_D < 2 * 10^5 \Rightarrow C = 0.27, m = 0.63, n = 0.36$		<b>0.5</b>	
$Nu_D = 0.27 * (5.092 * 10^3)^{0.63} * 0.7202^{0.36} \left( \frac{0.7202}{0.7073} \right)^{0.25} = 52.2$		<b>0.5</b>	
Le nombre de rangées est égal à 6, il est inférieur à 16 ( $N_L < 16$ ), donc :		<b>0.25</b>	
$Nu_{D,N_L} = F * Nu_D$			
$Nu_{D,N_L} = 0.945 * 52.2 = 49.33$		<b>0.25</b>	
$Nu_D = \frac{h D}{\lambda} \Rightarrow h = \frac{Nu_{D,N_L} \lambda}{D} = h = \frac{49.33 * 0.02808}{0.015} = 92.35 \frac{W}{m^2K}$		<b>0.5</b>	
Le nombre total de tubes : $N = N_L * N_T = 6 * 10 = 60 tubes$			
La somme des surfaces latérales de tous les tubes du faisceau :			
$S = N * \pi D L \Rightarrow S = 60 * \pi * 0.015 * 1 = 2.872m^2$		<b>0.5</b>	
Le débit massique d'air : $\dot{m} = \rho U_{\infty} P_T L N_T = 1.06 * 4.5 * 0.05 * 1 * 10 = 2.385 kg/s$		<b>1</b>	
La température de sortie : $T_s = T_p - (T_p - T_e) \exp\left(-\frac{h_m S}{\dot{m} C_p}\right)$		<b>0.5</b>	
$T_s = 120 - (120 - 20) \exp\left(-\frac{92.35 * 2.872}{2.385 * 1007}\right) = 30.46^{\circ}C$		<b>0.5</b>	
Le flux de transfert de chaleur échangé par unité de longueur des tubes :			
Méthode 1		Méthode 2	
$q = \dot{m} C_p (T_s - T_e)$ $q = 2.385 * 1007 * (30.46 - 20)$ $q = 2.51 * 10^4 \frac{W}{m}$	<b>2Pts</b>	$\Delta T_{Lm} = \frac{T_e - T_s}{\ln\left(\frac{T_p - T_s}{T_p - T_e}\right)}$	<b>0.5</b>
		$\Delta T_{Lm} = \frac{20 - 30.46}{\ln\left(\frac{120 - 30.46}{120 - 20}\right)} = 94.67^{\circ}C$	<b>0.5</b>
		$q = h S \Delta T_{Lm}$	<b>0.5</b>
		$q = 92.35 * 2.872 * 94.67 = 2.51 * 10^4 \frac{W}{m}$	<b>0.5</b>