Centre universitaire Abdelhafid Boussouf, Mila
Institut des Sciences et Technologies
Département de génie mécanique
Transfert de chaleur II
Pr. S. Saouli

# Examen final

## Transfert de chaleur II

**Durée : 1h 30 min**

**Exercice n°1 (6 points)**

Le coefficient de frottement pariétal local sur une plaque plane de longueur $2L$ est

$$Cf_{Px}\, Re_x^n = A$$

où $A$ et $n$ sont des constantes réelles positifs, calculer sa valeur moyenne $\overline{Cf_P}$ .

**Exercice n°2 (8 points)**

Un fluide à la température de 20 °C s'écoule le long de la largeur d'une plaque plane rectangulaire de dimensions 1,5 m x 6 m et de température 40 °C avec la vitesse 28,8 km/h. Calculer :

a) Le coefficient de frottement pariétal moyen $\overline{Cf_P}$ sur la plaque,
b) La force de frottement $F_f$ qui s'exerce sur la plaque et
c) La quantité de chaleur échangée $Q$ entre la plaque et l'air.

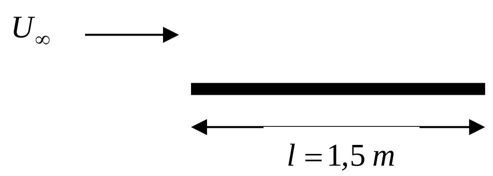
**Données :**

$C_P = 1007\ J.kg^{-1}.°C^{-1}$

$\lambda = 0{,}02953\, W.m^{-1}.°C^{-1}$

$\mu = 3{,}068 \times 10^{-5}\ kg.m^{-1}.s^{-1}$

$\rho = 1{,}204\ kg.m^{-3}$




**Exercice n°3 (6 points)**

Si un cylindre noir de diamètre $D = 5\, cm$, de longueur $L = 20\, cm$ et de température $T = 1000\ K$ est suspendu dans l'air, calculer :

a) Le pouvoir émissif total $E_b$,
b) La quantité d'énergie rayonnée $Q_{rad}$ pendant cinq minutes,
c) La longueur d'onde $\lambda_{\max}$ en micromètre.

**Donnée :** $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$

Centre universitaire Abdelhafid Boussouf, Mila
Institut des Sciences et Technologies
Département de génie mécanique
Transfert de chaleur II
Pr. S. Saouli

**Corrigé type de l'examen final**

**Transfert de chaleur II**

**Durée : 1h 30 mn**

**Exercice n°1 (6 points)**

Nous avons

$$Cf_{Px} = \frac{A}{\mathrm{Re}_x^n}$$

le coefficient de frottement pariétal moyen, sur la distance $2L$, est par définition

$$\overline{Cf_P} = \frac{1}{2L}\int_0^{2L} Cf_{Px}\,dx \quad \boxed{2.0}$$

En y insérant l'expression du $Cf_{Px}$, nous obtenons

$$\overline{Cf_P} = \frac{1}{2L}\int_0^{2L} \frac{A}{\left(\frac{U_\infty}{\nu}\right)^n} x^{-n}dx = \frac{1}{2L}\frac{A}{\left(\frac{U_\infty}{\nu}\right)^n}\frac{1}{-n+1}\left[x^{-n+1}\right]_0^{2L} = \frac{1}{2L}\frac{A}{\left(\frac{U_\infty}{\nu}\right)^n}\frac{1}{1-n}(2L)^{1-n} \quad \boxed{1.0}$$

$$\overline{Cf_P} = \frac{1}{2L}\frac{A}{\left(\frac{U_\infty}{\nu}\right)^n}\frac{1}{1-n}(2L)^{1-n} = \frac{A}{1-n}\frac{1}{\left(\frac{U_\infty}{\nu}\right)^n(2L)^n} \quad \boxed{1.0}$$

d'où la valeur du coefficient de frottement pariétal moyen

$$\overline{Cf_P} = \frac{A}{2^n(1-n)\mathrm{Re}_L^n} \quad \boxed{2.0}$$

**<u>Exercice n°2</u> (8 points)**

Avant de commencer les calculs, il faut connaitre le régime d'écoulement dans cette direction, pour cela, nous calculons la distance critique $x_C$ à partir de la valeur $\mathrm{Re}_C = 5\times10^5$ ( avec $U_\infty = 28{,}8\,km/h = 8\,ms^{-1}$), soit

$$x_C = \frac{\mu Re_C}{\rho U_\infty} = \frac{3{,}068\times10^{-5}\times5\times10^5}{1{,}204\times8} = 1{,}59\,m \quad \boxed{1.0}$$

Par conséquent, l'écoulement est laminaire sur toute la largeur, car la transition vers la turbulence se fait au-delà de la plaque puisque la distance critique est supérieure à la largeur.

a) Calcul du coefficient de frottement pariétal moyen $\overline{Cf_P}$ :

En régime laminaire, le coefficient de frottement pariétal moyen $\overline{Cf_P}$ est donné par la formule

$$\overline{Cf_P} = \frac{1{,}328}{\sqrt{\mathrm{Re}_L}} \quad \boxed{1.0}$$

$$\overline{Cf_P} = \frac{1{,}328}{\sqrt{\frac{\rho U_\infty L}{\mu}}} = \frac{1{,}328}{\sqrt{\frac{1{,}204\times8\times1{,}5}{3{,}068\times10^{-5}}}} = 1{,}935\times10^{-3} \quad \boxed{0.5}$$

b) La force de frottement $F_f$ qui s'exerce sur la plaque :

La force de frottement est

$$F_f = \tau_P S = \frac{1}{2}\rho U_\infty^2 \overline{Cf_P} S \quad \boxed{1.0}$$

$$F_f = \frac{1}{2}\rho V_\infty^2 \overline{Cf_P} S = \frac{1}{2}\times1{,}204\times8^2\times1{,}935\times10^{-3}\times6\times1{,}5 = 0{,}670\,N \quad \boxed{0.5}$$

c) La quantité de chaleur échangée $Q$ :

La relation utilisée pour calculer le nombre de Nusselt moyen est celle d'un écoulement laminaire, soit

$$\overline{Nu} = 0{,}664\sqrt{Re_L}\,Pr^{\frac{1}{3}} \quad \boxed{1.0}$$

$$Pr = \frac{\mu C_P}{\lambda} = \frac{3{,}068\times10^{-5}\times1007}{0{,}02953} = 1{,}046 \quad \boxed{1.0}$$

$$\overline{Nu} = 0{,}664\left(\frac{1{,}204\times8\times1{,}5}{3{,}068\times10^{-5}}\right)^{\frac{1}{2}}(1{,}046)^{\frac{1}{3}} = 462{,}545 \quad \boxed{0.5}$$

$$\bar{h} = \frac{\lambda\overline{Nu}}{L} = \frac{0{,}02953\times462{,}545}{1{,}5} = 9{,}106\,W/m^2{}^\circ C \quad \boxed{0.5}$$

$$Q = \bar{h}S\left(T_P - T_\infty\right) = 9{,}106\times1{,}5\times6\times\left(40-20\right) = 1639{,}08\,W \quad \boxed{1.0}$$

**Exercice n°3 (6 points)**

a) Le pouvoir émissif total $E_b$ est donné par la loi de Stefan-Boltzmann

$$E_b = \varepsilon \sigma T^4 \quad \boxed{1.0}$$

avec $\varepsilon = 1$ (cylindre noir), nous obtenons

$$E_b = 5,67 \times 10^{-8} (1000)^4 = 56700 \, W/m^2 \quad \boxed{1.0}$$

b) La quantité d'énergie rayonnée $Q_{rad}$ pendant cinq minutes est

$$Q_{rad} = E_b S \Delta t \quad \boxed{1.0}$$

La surface totale du cylindre est

$$S = \frac{\pi D^2}{2} + \pi D L \quad \boxed{1.0}$$

d'où

$$Q_{rad} = 56700 \times \left( \frac{3,14 \times (0,05)^2}{2} + 3,14 \times 0,05 \times 0,2 \right) (5 \times 60) = 600878,25 \, J \quad \boxed{1.0}$$

c) La longueur d'onde $\lambda_{\max}$ en micromètre est

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \, \mu m \quad \boxed{0.5}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{1000} = 2,898 \, \mu m \quad \boxed{0.5}$$