

Examen final TF42/PS81 Mécanique des fluides et transferts thermique

Portables rangés, document du cours autorisé, calculatrice autorisée

Exercice 1 : Coefficient d'échange moyen sur une plaque plane (3 points)

On trouve dans les régions froides d'Europe des terrains de football avec une pelouse sous laquelle un réseau de résistances chauffantes permet d'éviter à celle-ci de geler pendant l'hiver. Pour estimer la puissance à installer, on suppose que la résistance chauffante est d'épaisseur négligeable, placée entre une couche parfaitement isolante en-dessous, et la pelouse au-dessus, constituée de 10 cm de terre (on néglige la présence de l'herbe).

La conductivité thermique de la terre est de $0,6 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Pour le calcul, on se place dans le cas défavorable d'un hiver rigoureux, avec une température d'air égale à -10°C ainsi qu'un rayonnement nocturne de type ciel clair qui impose une densité de flux de refroidissement valant 100 W m^{-2} .

La convection avec l'air se fait avec un coefficient d'échange h égal à $5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Le régime est permanent.

1. Après avoir fait un schéma en coupe du sol en y indiquant les résistances thermique et les flux de chaleur, calculer la densité de puissance à installer pour éviter à la pelouse de geler ?
2. En déduire la température de la résistance chauffante.

Exercice 2 : Calcul de pertes de charge dans un pipe-line (3 points)

Du fuel lourd, de viscosité dynamique $\mu = 0,11 \text{ Pa.s}$ et de masse volumique $\rho = 932 \text{ kg.m}^{-3}$, circule dans un conduit de longueur $L = 1650 \text{ m}$ et de diamètre $D = 25 \text{ cm}$, à un débit volumique $QV = 19,7 \text{ litres.s}^{-1}$.

Données :

Le coefficient de perte de charges linéaire λ peut être calculé à l'aide des corrélations suivantes :

En régime laminaire $\Rightarrow \lambda = 64/\text{Re}$

En régime turbulent $\Rightarrow \lambda = 0,316.\text{Re}^{-0,25}$

1- Calculer la viscosité cinématique ν du fuel.

2- Calculer, en [bar], les pertes de charges linéaires ΔP_L le long du conduit exprimées par la relation :

$$\Delta P_L = \frac{\lambda L}{D} \frac{\rho V^2}{2}$$

Exercice 3 : Transfert convectif entre deux plaques planes parallèles (5 pts)

On désire réchauffer de l'air circulant entre deux plaques planes parallèles. Ces deux plaques ont une longueur L , une largeur b et sont espacées d'une hauteur $2H$ (Figure 1). La plaque supérieure est maintenue à une température constante T_p . La plaque inférieure est maintenue à la température d'entrée de l'écoulement d'air et est isolée thermiquement de l'extérieur.

L'air s'écoule entre ces deux plaques suivant la direction x , pénétrant avec une vitesse moyenne U_E et une température T_E

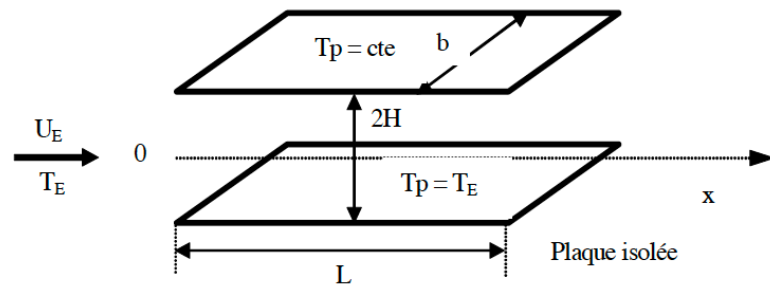


Figure 1

Données :

- ♦ $L = 2 \text{ m}$
- ♦ $U_E = 0,1 \text{ m/s}$
- ♦ propriétés thermophysiques de l'air : cf annexe 1
- $b = 1 \text{ m}$
- $T_E = 20^\circ\text{C}$
- $2H = 3 \text{ cm}$
- $T_p = 100^\circ\text{C}$

Remarque :

Les propriétés thermophysiques de l'air seront prises à la température moyenne de film $T_{mf} = 1/2(T_p + T_E)$.

- 1 - Montrer par un calcul simple que le diamètre hydraulique DH de la configuration proposée est équivalent à $DH = 4H$.
- 2 - Déterminer les longueurs d'entrée dynamique et thermique. Que peut-on en conclure quant à la nature de l'écoulement entre les plaques ?
- 3 - Calculer la puissance calorifique échangée entre l'air et les plaques.

Exercice 4 : Transfert de chaleur à l'intérieur d'un tube (4 points)

La figure 2 ci-dessous représente un piston qui se déplace sans frottement dans un cylindre de section S_1 et de diamètre $d_1 = 4 \text{ cm}$ rempli d'un fluide parfait de masse volumique $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$. Le piston est poussé par une force F d'intensité $62,84 \text{ N}$, à une vitesse V_1 constante. Le fluide peut s'échapper vers l'extérieur par un cylindre de section S_2 et de diamètre $d_2 = 1 \text{ cm}$ à une vitesse V_2 et une pression $P_2 = P_{atm} = 1 \text{ bar}$.

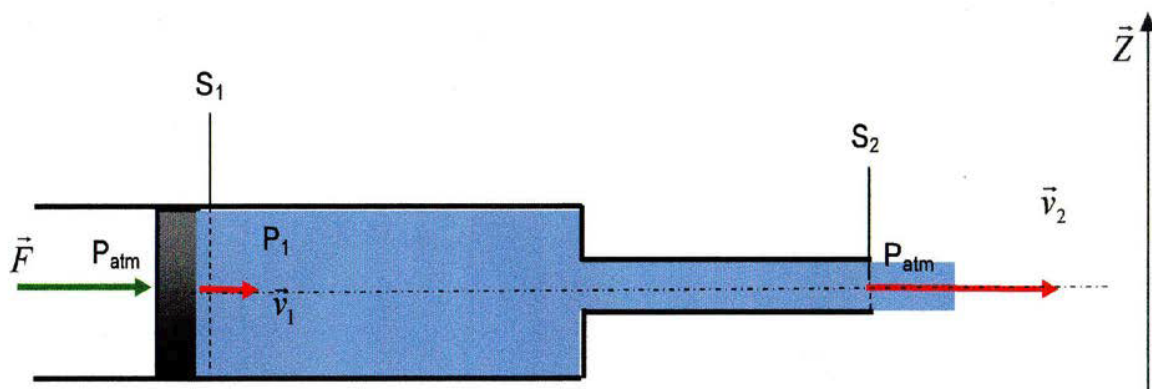


Figure 2

1. Déterminer l'expression de la pression P_1 du fluide au niveau de la section S_1 en fonction de F , P_{atm} et d_1 . En déduire la valeur numérique de P_1 .
2. Déterminer l'expression de la vitesse V_1 en fonction de V_2 .
3. En appliquant l'équation de Bernoulli, déterminer la vitesse d'écoulement V_2 en fonction de P_1 , P_{atm} et ρ .
On suppose que l'ensemble piston-cylindre est dans une position horizontale ($Z_1 = Z_2$).
4. En déduire le débit volumique Q_v .

Exercice 5 : Convection naturelle autour d'un fil parcouru par un courant électrique (sur 5 pts)

Un fil résistif de diamètre $D = 0,5$ mm est disposé horizontalement dans l'air à température $T_a = 20^\circ\text{C}$.

L'air s'écoule autour du fil avec une vitesse $U_a = 1$ cm/s.

Le fil, dont la résistivité est $3,3 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$, est parcouru par un courant électrique d'intensité I . Déterminer l'intensité du courant maximale admissible dans le fil en régime permanent pour que la température du fil ne dépasse pas 300°C .

Pour faire cette étude, on pourra choisir, selon la nature du phénomène, parmi les corrélations suivantes :

En convection forcée : $Nu_D = C \cdot Re^m \cdot Pr^n$
Avec : $C = 0,75$, $n = 0,37$ et $m = 0,5$ pour $Re < 100$
 $C = 0,26$, $n = 0,37$ et $m = 0,6$ pour $Re > 100$

En convection naturelle : $Nu_D = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n$
Avec : $C = 1,02$ et $n = 0,148$ pour $Ra < 10000$
 $C = 0,53$ et $n = 0,25$ pour $Ra > 10000$

Données :
♦ Propriétés thermophysiques de l'air à 160°C :
- Conductivité thermique : $\lambda_a = 0,0364 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Viscosité cinématique : $\nu_a = 30,09 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- Nombre de Prandtl : $Pr_a = 0,682$

NB : Vous justifierez les hypothèses adoptées pour mener à bien cette étude