UTBM – Dépt Energie le 25 juin 2018
UV TF 42

Examen Final UV TF 42

Mécanique des fluides et transferts thermiques

Durée : 2h ***Cours autorisé – TD interdits*** ***Portables rangés***

Partie Mécanique des fluides (J-C. Roy) : Exercices 1 à 3 (12 points)

Exercice 1 : Couche limite dynamique
Une plaque flottante de longueur *L* et de largeur *l* doit être remorquée en mer à la vitesse U_O. Deux options sont possibles :
- Remorquage de la plaque entière (force de frottement = *F*) ;
- Découpage de la plaque en *n* morceaux identiques de longueur *L/n* remorqués parallèlement (force de frottement totale = *F'*).

Déterminer quelle est la solution la plus économe en énergie. On calculera pour cela le rapport des efforts de frottement *F/F'*:
On rappelle l'expression du coefficient de frottement moyen en régime laminaire pour une plaque :
$Re < 10^5 \ : C_f = 1,328. Re^{-0.5}$

Remarques : On considérera dans tous les cas que la face supérieure des plaques n'est pas immergée ; on rappelle que le coefficient de frottement est défini ainsi :

$$C_f = \frac{\tau_P}{0,5\,\rho U_0^2}$$

τ_P étant la tension de paroi, c'est-à-dire la force de frottement par unité de surface.

Exercice 2 : Convection naturelle
Un conducteur électrique est constitué d'une barre horizontale de grande longueur, de hauteur *H = 100 mm* et d'épaisseur *e = 3 mm*. Pour des raisons de sécurité, la température de la barre ne doit pas excéder $T_{MAX} = 70°C$, la barre étant refroidie par convection naturelle dans l'air ambiant à température $T_0 = 30°C$,

1) Vérifier que la convection naturelle se développe en régime laminaire ($Ra < 10^9$).

2) Déterminer le coefficient d'échange convectif *h* entre la barre et l'air à partir de la corrélation :
$Nu = 0,54\, Ra^{0,25}$

3) Calculer l'intensité maximale I_{MAX} du courant électrique que l'on peut faire circuler si la résistivité du métal constituant la barre est $r = 1,3.10^{-7}\ \Omega.m$.

Remarques : On considérera que les faces inférieures et supérieures (sur l'épaisseur e) ont un rôle négligeable dans le transfert de chaleur convectif.
Résistance d'une barre de longueur L et de section S : $R = r\frac{L}{S}$
Les propriétés de l'air sont choisies dans le tableau ci-dessous à la température de film $T_f = (T_{max} + T_0)/2$
Coefficient de dilatation de l'ait $\beta = \frac{1}{T_f}$ (T_f en Kelvin !)

Exercice 3 : Convection forcée

Pour estimer la quantité de chaleur échangée entre les feuilles d'une plante et l'air ambiant on fait l'hypothèses que chaque feuille peut être assimilée à un carré de 10 cm de côté en position horizontale
- Température de la feuille mesurée : *Tp = 30°C*
- Vitesse du vent $U_0 = 2\ m.s^{-1}$
- Température de l'air ambiant : *Ta = 20°C*

1) Déterminer le flux de chaleur échangé par convection forcée entre une feuille et l'air ambiant (se reporter aux notes de cours pour déterminer la corrélation à utiliser).

2) En déduire la densité de flux échangée.

Remarque : Les caractéristiques de l'air seront choisies dans le tableau ci-dessous à la température de film $T_f = (T_p + T_a)/2$

Propriétés de l'air à 1 atm						
θ	ρ	c_p	λ	$10^5 \cdot \mu$	$10^5 \cdot \nu$	Pr
(°C)	(kg/m³)	(J/kg.°C)	(W/m.°C)	(Pa.s)	(m²/s)	
0	1,292	1006	0,0242	1,72	1,86	0,72
20	1,204	1006	0,0257	1,81	2,12	0,71
40	1,127	1007	0,0272	1,90	2,40	0,70
60	1,059	1008	0,0287	1,99	2,69	0,70
80	0,999	1010	0,0302	2,09	3,00	0,70

Partie transferts thermiques (L. Thiery) : Exercices 4 à 6 (8 points)

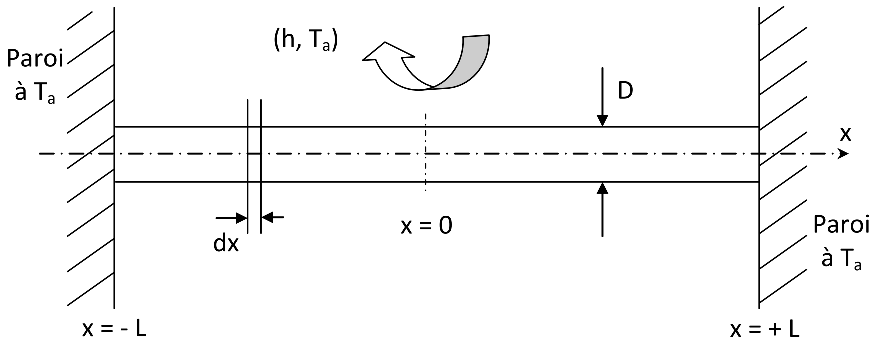
Exercice 4. Une ailette en aluminium (k = 200 W m^{-1} K^{-1}) de longueur L = 7,5 cm et d'épaisseur e = 3 mm est encastrée dans un mur. La base de l'ailette (largeur) est b = 15 cm. Le pied d'ailette (sur la paroi) est à 300°C. La température ambiante est de 30°C et le coefficient de transfert convectif est de 10 W m^{-2} K^{-1}.
1. Calculer son rendement.
2. Calculer le flux de chaleur qu'elle évacue.
3. Calculer la température de son extrémité.

Exercice 5. Un satellite est placé en orbite solaire à mi-distance Terre-Soleil. Sa forme est sphérique, de diamètre D. Compte tenu de sa rotation continuelle, sa température est supposée uniforme et stationnaire. A cette distance du soleil (75×10^6 km), la densité de flux radiatif qu'il reçoit de l'astre vaut 5 kW m^{-2}.
Calculer la température d'équilibre du satellite sachant que la température du fond de l'univers est de 2,7 K et que l'émissivité du satellite est égale à son facteur d'absorption.

Exercice 6. Considérons un fil métallique de diamètre D, et de longueur ℓ très grande (supposée infinie). Il est parcouru par un courant d'intensité i. L'effet Joule créée un échauffement et il est refroidi par convection avec l'air ambiant à la température T_a. Le régime étant permanent, sa température est homogène de valeur T_f constante dans le temps. Le coefficient de transfert surfacique global sur l'ambiance h est connu.

1. A partir du bilan de puissance appliqué au fil, déterminer l'expression de sa température (T_f) sachant que sa résistivité électrique est notée ρ_e.

2. Nous changeons d'hypothèses en considérant que la longueur du fil n'est plus infinie mais vaut 2L. En effet, conformément au schéma ci-dessous, ce fil est tendu entre deux parois dont la température est T_a tout comme l'air ambiant.



Ce fil étant parcouru par un courant d'intensité i, sa température ne peut plus être considérée comme homogène, et doit dépendre de x. Elle reste néanmoins homogène dans une section quelconque soit : T = T(x).
Etablir le bilan de puissance appliqué à une portion élémentaire de largeur dx. On posera : $\theta = T - T_a$

3. Montrer que la solution de cette équation différentielle s'écrit :

$$\theta = Ae^{mx} + Be^{-mx} + \theta_f \quad \text{avec} \quad m = \sqrt{\frac{hp}{kS}} \quad \text{et} \quad \theta_f = T_f - T_a$$

T_f étant la solution particulière de l'équation complète, identique à l'expression de la question 1.

4. Trouvez l'expression des deux constantes A et B en appliquant les conditions aux limites telles que :
- au milieu du fil, x = 0, on sait par symétrie que la température est maximum.
- aux extrémités du fil ($x = \pm L$), la température est celle des parois T_a.
- Ecrivez alors la solution θ en y introduisant la fonction cosinus hyperbolique.

5. Dans l'application du fil chaud, on doit s'assurer que la longueur du fil est suffisante pour que les effets de bords soient négligeables, autrement dit que sa température moyenne, notée $\overline{\theta}$ soit très proche de θ_f.
On peut choisir la condition : $\overline{\theta} > 0{,}95\,\theta_f$
Déterminer la valeur minimale de mL pour satisfaire cette condition, sachant que la moyenne de la température du fil est donnée par : $\overline{\theta} = \frac{1}{L}\int_0^L \theta\, dx$