

Examen final UV TF 42
Mécanique des fluides et transferts thermiques

Durée : 2h

Documents autorisés

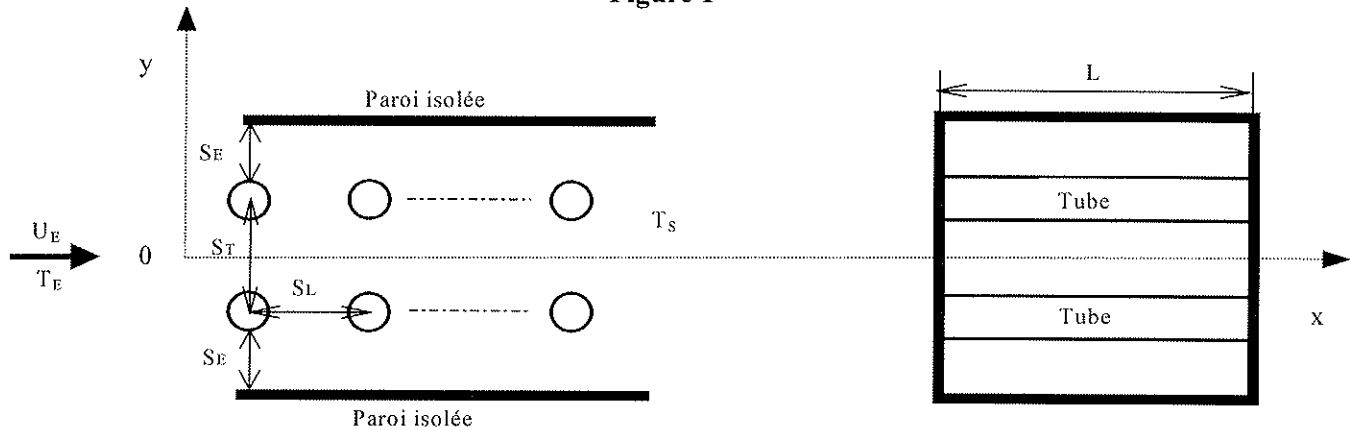
☞ Les problèmes (1, 2 et 3) sont à rendre sur des copies séparées des problèmes 4 et 5.

Problème 1 : Transfert convectif dans un échangeur à faisceaux de tubes (sur 7 pts)

On considère l'échangeur à faisceaux de tubes schématisé sur la figure 1. L'échangeur est constitué de deux nappes horizontales et de N rangées verticales. Les tubes sont disposés en configuration alignée. Chaque tube est de diamètre D, de longueur L suivant z et est maintenu à une température de paroi constante T_p . Les espacements longitudinaux et transversaux (entraxes S_T et S_L) sont identiques entre chaque tube. Ces tubes sont confinés entre deux plaques horizontales, isothermes et isolées de l'extérieur qui ne participent pas à l'échange thermique.

De l'eau traverse cet échangeur suivant la direction x, pénétrant avec une vitesse moyenne U_E et une température T_E pour ressortir à une température T_S .

Figure 1



Données :

- | | | |
|---|----------------------------|----------------------------|
| ♦ $L = 30 \text{ cm}$ | ♦ $D = 2 \text{ cm}$ | ♦ $N = 10$ |
| ♦ $S_L = 4 \text{ cm}$ | ♦ $S_T = 4 \text{ cm}$ | ♦ $S_E = 2 \text{ cm}$ |
| ♦ $U_E = 5 \text{ cm/s}$ | ♦ $T_E = 20^\circ\text{C}$ | ♦ $T_p = 80^\circ\text{C}$ |
| ♦ Propriétés thermophysiques de l'eau en annexe | | |

Remarques :

- ♦ Les propriétés thermophysiques de l'eau seront prises à la température de film $T_f = 1/2(T_p + T_E)$.
- ♦ Seuls les échanges convectifs entre l'eau et les tubes seront considérés.

- 1- A l'aide de la corrélation de Zukauskas, déterminer le coefficient d'échange moyen d'un tube.
- 2- Déterminer la puissance calorifique échangée entre l'eau et l'ensemble des tubes.
- 3- Calculer, à partir d'un bilan thermique simplifié, la température de sortie de l'eau T_S . Quelles sont les principales hypothèses permettant d'écrire ce bilan thermique simplifié ?
- 4- Sachant que l'ensemble des tubes génèrent une perte de charge estimée à 1,2 bar, calculer la puissance de la pompe permettant d'assurer la circulation de l'eau entre les tubes.
- 5- A l'entrée de la pompe, la pression est de 0,95 bar et la vitesse de l'eau vaut 1 m/s. En déduire le NPSH de la pompe, sachant que la pression de vapeur saturante dans ces conditions est $P_v = 0,023 \text{ bar}$.

Problème 2 : Dimensionnement d'un échangeur à tubes coaxiaux (sur 4 pts)

Un échangeur constitué de 2 tubes coaxiaux de longueur L est conçu pour élever la température d'un débit d'eau $m_f = 1,2$ kg/s de 20°C à 80°C grâce à un débit d'eau $m_c = 2$ kg/s provenant d'une source géothermale à 160°C . Les fluides s'écoulent à contre courant. Le tube intérieur possède un diamètre extérieur de 15 mm de diamètre.

Sachant que le coefficient de transfert global vaut $K = 640$ W/m²K, déterminer la longueur L de l'échangeur.

Rq : Les propriétés thermophysiques de l'eau seront supposées constantes tout au long du problème :

- Masse volumique de l'eau $\rho = 1000$ kg/m³
- Chaleur spécifique de l'eau $C_p = 4,18$ kJ/kg°C

Problème 3 : Etude qualitative du refroidissement d'une assiette de soupe (sur 2 pts)

1 - A partir d'un bilan thermique simplifié, écrire l'équation permettant de quantifier le refroidissement d'une assiette de soupe chaude. Donner un ordre de grandeur pour le coefficient d'échange entre l'air ambiant et la soupe.

2 - Que se passe-t-il si on souffle sur la soupe ? Donner un ordre de grandeur pour le coefficient d'échange dans ce cas.

3 - Expliquer (dans les 2 cas) pourquoi le refroidissement est amélioré quand :

- on remue la soupe avec une cuillère,
- on prend la soupe dans sa cuillère et qu'on la reverse dans l'assiette.

Problème 4 : Etude du chauffage d'un terrain de football (sur 3 pts)

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 $0,6$ W m⁻¹ 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 W m⁻² 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 ?

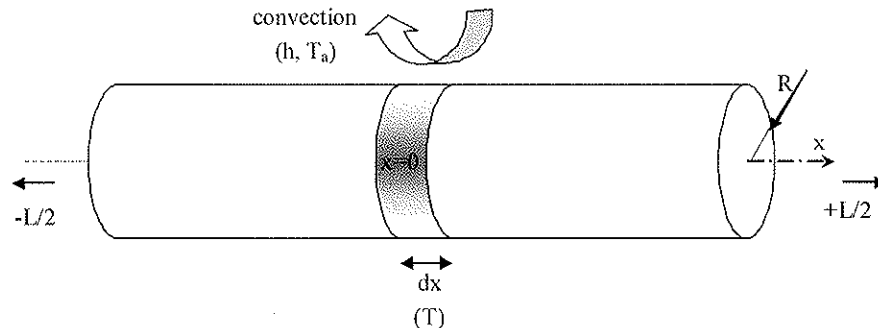
2- En déduire la température de la résistance chauffante.

Problème 5 : Etude thermique d'un « fil froid » (sur 4 pts)

Considérons un fil métallique de rayon R , et de longueur L . La loi qui relie sa résistivité (électrique) à sa température étant connue, on dispose d'un moyen de mesure de la température, c'est le principe du « fil froid ». On l'appelle ainsi car le courant nécessaire à la mesure de sa résistance n'est pas suffisant pour le chauffer par effet Joule (c'est le cas de l'ohm-mètre). On considèrera donc cet effet comme négligeable dans son bilan thermique.

Le rayon R du fil étant très faible devant sa longueur L , on considère que la température est homogène dans toute section droite S et ne dépend que de la cote longitudinale x .

On notera que son périmètre est noté p , sa conductivité thermique λ , la température ambiante est T_a et le coefficient d'échange par convection h .



1- En partant du bilan thermique appliqué à l'élément de fil de largeur dx (voir sur la figure ci-dessus), écrivez l'expression de l'équation différentielle de la chaleur pour cet élément, en régime permanent. Simplifiez-la en posant : $\theta = T - T_a$

2-. Sachant que la distribution de température le long du fil s'écrit :

$$\theta = A \exp\left[\sqrt{\frac{hp}{\lambda S}} x\right] + B \exp\left[-\sqrt{\frac{hp}{\lambda S}} x\right]$$

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 (ou minimum), ce qui se traduit par une dérivée nulle.
- aux extrémités du fil ($x = \pm L/2$), la température reste égale à sa valeur initiale T_0 car les plots de connexion sont massifs, on utilisera donc la température réduite : $\theta_0 = T_0 - T_a$

Ecrivez alors la solution θ en y introduisant la fonction cosinus hyperbolique.

Annexe 1

Table B.2 Properties Of Water.

Temperature °C	Pressure kgf/cm ²	ρ kg/m ³	c_p kJ/kgK	h_{fg} kcal/kg	k W/mK	$\beta \times 10^3$ 1/K	$\mu \times 10^3$ kg/ms	$\nu \times 10^6$ m ² /s	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	Pr
0	1	999.8	4.2179	597.3	0.552	-0.07	1.792	1.795	0.131	13.67
10	1	999.7	4.1994	591.7	0.587	+0.088	1.307	1.307	0.138	9.47
20	1	998.2	4.1819	586.0	0.598	0.206	1.002	1.004	0.143	7.01
30	1	995.7	4.1785	580.4	0.614	0.303	0.797	0.801	0.148	5.43
40	1	992.2	4.1785	574.7	0.628	0.385	0.653	0.658	0.151	4.35
50	1	988.0	4.1806	569.0	0.641	0.457	0.548	0.554	0.155	3.57
60	1	983.2	4.1844	563.2	0.652	0.523	0.467	0.475	0.158	3.00
70	1	977.8	4.1898	557.3	0.661	0.585	0.404	0.413	0.161	2.56
80	1	971.8	4.1965	551.3	0.669	0.643	0.355	0.365	0.164	2.23
90	1	965.3	4.2033	545.2	0.676	0.698	0.315	0.326	0.166	1.96
100	1.0332	958.4	4.2162	539.0	0.682	0.752	0.282	0.295	0.169	1.75
120	2.0245	943.1	4.245	526.1	0.686	0.860	0.235	0.2485	0.171	1.45
140	3.6848	926.1	4.287	512.3	0.684	0.975	0.199	0.215	0.172	1.25
160	6.3023	907.4	4.341	497.4	0.682	1.098	0.172	0.1890	0.173	1.09
180	10.225	886.9	4.409	481.3	0.676	1.233	0.151	0.1697	0.172	0.98
200	15.857	864.7	4.497	463.5	0.666	1.392	0.136	0.1579	0.171	0.92
220	23.659	840.3	4.610	443.7	0.653	1.597	0.125	0.1488	0.168	0.88
240	34.140	813.6	4.761	421.7	0.636	1.862	0.116	0.1420	0.164	0.87
260	47.866	784.0	4.978	396.8	0.612	2.21	0.107	0.1365	0.157	0.87
280	65.457	750.7	5.309	368.5	0.581	2.70	0.0994	0.1325	0.145	0.91
300	87.611	712.5	5.86	335.4	0.541	3.46	0.0935	0.1298	0.129	1.00
320	115.12	667.0	6.62	295.6	0.491	4.60	0.0856	0.1282	0.111	1.15
340	148.96	609.5	8.37	245.3	0.430	8.25	0.0775	0.1272	0.0844	1.5
360	190.42	524.5	13.4	171.9	0.349	-	0.0683	0.1306	0.0500	2.6
374.1	328.6	326	∞	0	0.209	-	0.0506	0.155	0	∞