

Examen final UV TF 42

Mécanique des fluides et transferts thermiques

Durée : 2h

Calculettes et Cours autorisé – TD interdits

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

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 .

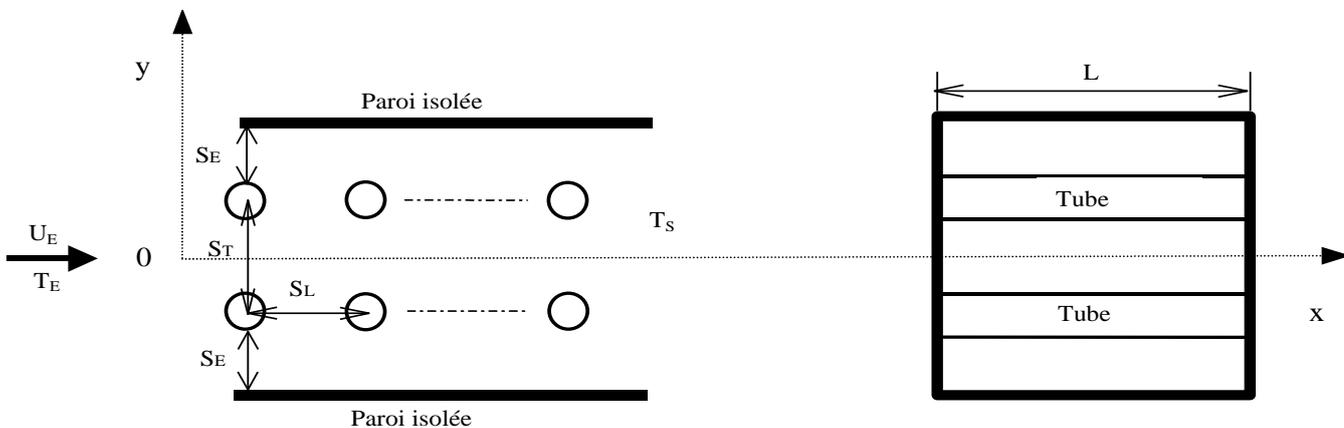


Figure 1

Données :

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

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 . Donner les principales hypothèses permettant d'écrire ce bilan thermique simplifié.
- 4- Sachant que l'ensemble des tubes génèrent une perte de charge estimée à 1,1 bar, calculer la puissance de la pompe permettant d'assurer la circulation de l'eau entre les tubes.

Problème 2 : Transfert de chaleur à l'intérieur d'un tube (sur 6 pts)

On considère un tube de diamètre $D = 5 \text{ cm}$ et de longueur $L = 20 \text{ cm}$, maintenu à température de paroi constante $T_p = 100^\circ\text{C}$. Dans ce tube, pénètre de l'air à température $T_E = 20^\circ\text{C}$ et à vitesse $U_E = 40 \text{ cm/s}$.

Données :

- ♦ Propriétés thermophysiques de l'air : cf annexe 1
- ♦ Coefficient d'expansion de l'air : $\beta = 4.10^{-3} \text{ K}^{-1}$

Remarque : ♦ Les propriétés thermophysiques de l'air seront prises à la température de film $T_f = 1/2(T_p + T_E)$.

Calculer la température T_S de l'air à la sortie du tube. Vous préciserez et justifierez toutes les hypothèses considérées lors de ce calcul.

Problème 3 (2 points) : Considérons 1 m² de vitrage.

Calculer l'économie d'énergie réalisée (en %) lorsqu'on passe du double vitrage au triple vitrage.

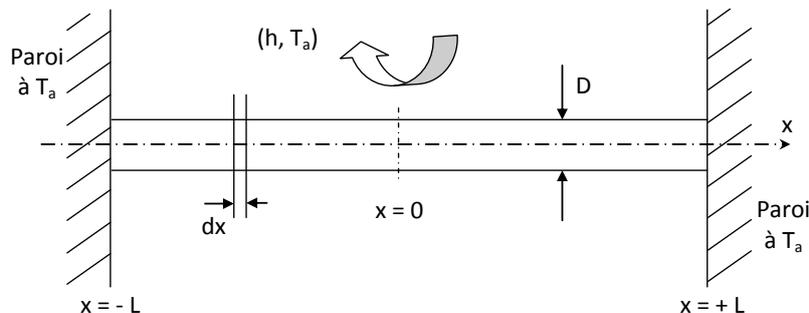
Données :

- $k_{\text{verre}} = 0,78 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ $k_{\text{air}} = 0,026 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Épaisseur des vitres : 4 mm
- Épaisseur d'air en double vitrage : 16 mm
- Épaisseurs d'air en triple vitrage : 12 mm

Problème 4. (5 points)

Considérons un fil métallique de diamètre D (très faible comme le fil chaud), et de longueur ℓ très grande (infinie). Il est parcouru par un courant d'intensité i . L'effet Joule crée 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 le même courant d'intensité i , sa température ne peut plus être considérée comme homogène sur sa longueur ; elle dépendra donc de x . Elle reste néanmoins homogène dans une section droite $S(x)$ pour laquelle on peut écrire : $T = T(x)$.

Établir 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 .
 - Écrivez alors la solution θ en y introduisant la fonction cosinus hyperbolique.

Table A.6-SI Properties of Dry Air at Atmospheric Pressure (SI Units)*

t , °C	c_p , kJ/kg·°C	ρ , kg/m ³	$\mu \times 10^6$, kg/m·s	$\nu \times 10^6$, m ² /s	$k \times 10^1$, W/m·°C	Pr
-50	1.0064	1.5819	14.63	9.25	20.04	0.735
-40	1.0060	1.5141	15.17	10.02	20.86	0.731
-30	1.0058	1.4518	15.69	10.81	21.68	0.728
-20	1.0057	1.3944	16.20	11.62	22.49	0.724
-10	1.0056	1.3414	16.71	12.46	23.29	0.721
0	1.0057	1.2923	17.20	13.31	24.08	0.718
10	1.0058	1.2467	17.69	14.19	24.87	0.716
20	1.0061	1.2042	18.17	15.09	25.64	0.713
30	1.0064	1.1644	18.65	16.01	26.38	0.712
40	1.0068	1.1273	19.11	16.96	27.10	0.710
50	1.0074	1.0924	19.57	17.92	27.81	0.709
60	1.0080	1.0596	20.03	18.90	28.52	0.708
70	1.0087	1.0287	20.47	19.90	29.22	0.707
80	1.0095	0.9996	20.92	20.92	29.91	0.706
90	1.0103	0.9721	21.35	21.96	30.59	0.705
100	1.0113	0.9460	21.78	23.02	31.27	0.704
110	1.0123	0.9213	22.20	24.10	31.94	0.704
120	1.0134	0.8979	22.62	25.19	32.61	0.703
130	1.0146	0.8756	23.03	26.31	33.28	0.702
140	1.0159	0.8544	23.44	27.44	33.94	0.702
150	1.0172	0.8342	23.84	28.58	34.59	0.701
160	1.0186	0.8150	24.24	29.75	35.25	0.701
170	1.0201	0.7966	24.63	30.93	35.89	0.700
180	1.0217	0.7790	25.03	32.13	36.54	0.700
190	1.0233	0.7622	25.41	33.34	37.18	0.699
200	1.0250	0.7461	25.79	34.57	37.81	0.699
210	1.0268	0.7306	26.17	35.82	38.45	0.699
220	1.0286	0.7158	26.54	37.08	39.08	0.699
230	1.0305	0.7016	26.91	38.36	39.71	0.698
240	1.0324	0.6879	27.27	39.65	40.33	0.698
250	1.0344	0.6748	27.64	40.96	40.95	0.698
260	1.0365	0.6621	27.99	42.28	41.57	0.698
270	1.0386	0.6499	28.35	43.62	42.18	0.698
280	1.0407	0.6382	28.70	44.97	42.79	0.698
290	1.0429	0.6268	29.05	46.34	43.40	0.698
300	1.0452	0.6159	29.39	47.72	44.01	0.698
310	1.0475	0.6053	29.73	49.12	44.61	0.698
320	1.0499	0.5951	30.07	50.53	45.21	0.698
330	1.0523	0.5853	30.41	51.95	45.84	0.698
340	1.0544	0.5757	30.74	53.39	46.38	0.699

* ρ computed from ideal gas law. c_p , μ , ν , k computed from equations recommended in *Thermophysical Properties of Refrigerants*, New York, ASHRAE, 1976.

Table A.6-SI Properties of Dry Air at Atmospheric Pressure (SI Units).

t , °C	c_p , kJ/kg·°C	ρ , kg/m ³	$\mu \times 10^6$, kg/m·s	$\nu \times 10^6$, m ² /s	$k \times 10^1$, W/m·°C	Pr
350	1.0568	0.5665	31.07	54.85	46.92	0.700
360	1.0591	0.5575	31.40	56.31	47.47	0.701
370	1.0615	0.5489	31.72	57.79	48.02	0.701
380	1.0639	0.5405	32.04	59.29	48.58	0.702
390	1.0662	0.5323	32.36	60.79	49.15	0.702
400	1.0686	0.5244	32.68	62.31	49.72	0.702
410	1.0710	0.5167	32.99	63.85	50.29	0.703
420	1.0734	0.5093	33.30	65.39	50.86	0.703
430	1.0758	0.5020	33.61	66.95	51.44	0.703
440	1.0782	0.4950	33.92	68.52	52.01	0.703
450	1.0806	0.4882	34.22	70.11	52.59	0.703
460	1.0830	0.4815	34.52	71.70	53.16	0.703
470	1.0854	0.4750	34.82	73.31	53.73	0.703
480	1.0878	0.4687	35.12	74.93	54.31	0.704
490	1.0902	0.4626	35.42	76.57	54.87	0.704
500	1.0926	0.4566	35.71	78.22	55.44	0.704
510	1.0949	0.4508	36.00	79.87	56.01	0.704
520	1.0973	0.4451	36.29	81.54	56.57	0.704
530	1.0996	0.4395	36.58	83.23	57.13	0.704
540	1.1020	0.4341	36.87	84.92	57.68	0.704
550	1.1043	0.4288	37.15	86.63	58.24	0.704
560	1.1066	0.4237	37.43	88.35	58.79	0.705
570	1.1088	0.4187	37.71	90.07	59.33	0.705
580	1.1111	0.4138	37.99	91.82	59.87	0.705
590	1.1133	0.4090	38.27	93.57	60.41	0.705
600	1.1155	0.4043	38.54	95.33	60.94	0.705
610	1.1177	0.3997	38.81	97.11	61.47	0.706
620	1.1198	0.3952	39.09	98.89	62.00	0.706
630	1.1219	0.3908	39.36	100.69	62.52	0.706
640	1.1240	0.3866	39.62	102.50	63.03	0.707
650	1.1260	0.3824	39.89	104.32	63.55	0.707

Annexe 2

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	4.2053	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	233.4	326	∞	0	0.209	-	0.0506	0.155	0	∞