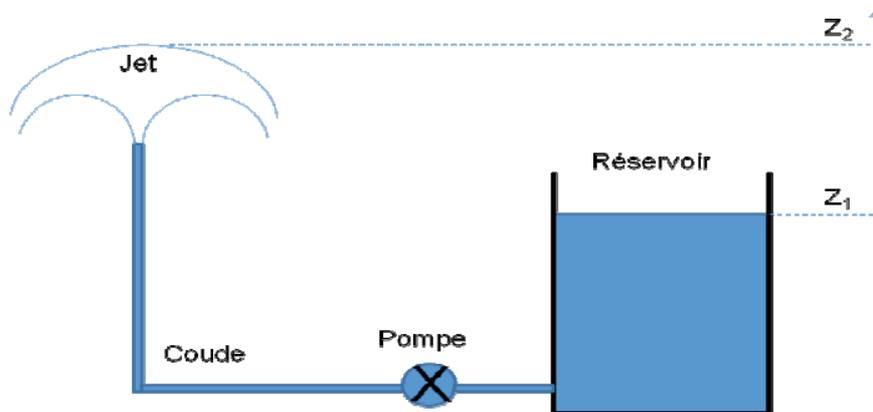


Examen final TF42 Mécanique des fluides et transferts thermique

Portables rangés, document du cours autorisé, calculatrice autorisée

Exercice 1 : Alimentation d'un jet d'eau (4 points)

On alimente un jet d'eau à partir d'un réservoir au moyen d'une pompe de débit volumique $Q_V = 2$ litres/s et d'un conduit de longueur totale $L = 15$ m et de diamètre $D = 30$ mm. Le conduit comporte un coude à 90° qui génère des pertes de charge singulières ΔP_S estimées à 1200 Pa.



Le niveau de la surface libre du réservoir, supposé lentement variable, est à une altitude $Z_1 = 3$ m au dessus du sol. Le jet s'élève jusqu'à une hauteur $Z_2 = 10$ m.

Données :

- les pressions à la surface libre du réservoir P_1 et au niveau de la sortie du jet P_2 sont égales à la pression atmosphérique, soit 1 bar.
- la viscosité dynamique de l'eau : $\mu = 10^{-3}$ Pa.s.
- la masse volumique de l'eau : $\rho = 1000$ kg/m³.
- le coefficient de perte de charges linéaire λ peut être calculé à l'aide des corrélations suivantes :

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

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

1- Calculer le nombre de Reynolds Re de l'écoulement d'eau dans la conduite. En déduire la nature du régime de l'écoulement.

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

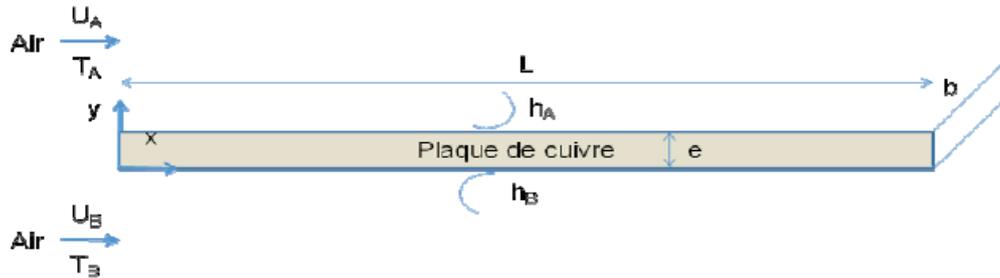
$$\Delta P_L = \frac{\lambda L \rho V^2}{D \cdot 2}$$

3- Déterminer la puissance nette P_n de la pompe.

Exercice 2 : Transfert thermique le long d'une plaque plane (5 pts)

On considère une plaque plane en cuivre d'épaisseur e , de longueur L suivant la direction x de l'écoulement, de largeur b et de conductivité thermique λ_C . Sur la face supérieure de cette plaque s'écoule de l'air à température T_A et à vitesse U_A . Sur la face inférieure circule un de l'air à température T_B et à vitesse U_B . Les deux flux d'air s'écoulent suivant la même direction notée x .

On néglige le transfert convectif sur les faces verticales perpendiculaires à l'écoulement devant le transfert convectif sur les faces supérieure et inférieure de la plaque.



On note $h_A(x)$ et $h_B(x)$ respectivement les coefficients d'échange locaux relatifs aux faces supérieure et inférieure de la plaque. Ces coefficients peuvent être déterminés au moyen des corrélations suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Nu}(x) &= 0,324 \text{Re}(x)^{0,5} \text{Pr}^{0,33} && \text{pour } \text{Re}(x) < 3.10^5 \text{ (Régime laminaire)} \\ \text{Nu}(x) &= 0,0288 \text{Re}(x)^{0,8} \text{Pr}^{0,33} && \text{pour } \text{Re}(x) > 3.10^5 \text{ (Régime turbulent)} \end{aligned}$$

Données : Propriétés thermophysiques de l'air en annexe
 $e = 10 \text{ mm}$ $L = 1,20 \text{ m}$ $b = 50 \text{ cm}$ $\lambda_C = 350 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
 $T_A = 60^\circ\text{C}$ $U_A = 6\text{m/s}$ $T_B = 10^\circ\text{C}$ $U_B = 15 \text{ m/s}$

Rq : Les valeurs des propriétés thermophysiques de l'air seront calculées respectivement à T_A et T_B pour les écoulements sur les faces supérieure et inférieure de la plaque.

- 1- Déterminer la nature des régimes d'écoulement sur les deux faces de la plaque.
- 2- Déterminer pour chaque face de la plaque, la valeur du coefficient d'échange moyen sur la longueur L de la plaque.
- 3- En s'aidant de l'analogie sur les lois des résistances électriques, déterminer le flux de chaleur échangé le long de la plaque.

Exercice 3 : transfert convectif à l'intérieur d'un conduit de section carrée (4 points)

On considère un conduit de section carrée (côté de longueur H) et de longueur L . Ce conduit est maintenu à une température de paroi T_p constante. Un débit d'eau pénètre à l'intérieur de ce conduit avec une vitesse d'entrée U_E et une température T_E pour ressortir à une température T_S .

Données :

- ♦ $H = 5 \text{ cm}$ $L = 1 \text{ m}$ $U_E = 15 \text{ mm/s}$
- ♦ $T_E = 18^\circ\text{C}$ $T_S = 22^\circ\text{C}$ $T_p = 100^\circ\text{C}$
- ♦ propriétés thermophysiques de l'eau : cf annexe 2

- 1- Donner les hypothèses pour résoudre le problème,

- 2- A partir d'un bilan thermique simplifié, déterminer la valeur de la température de mélange T_M au sein du conduit

Exercice 4 : Transfert convectif dans un échangeur à faisceaux de tubes (7 points)

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 .

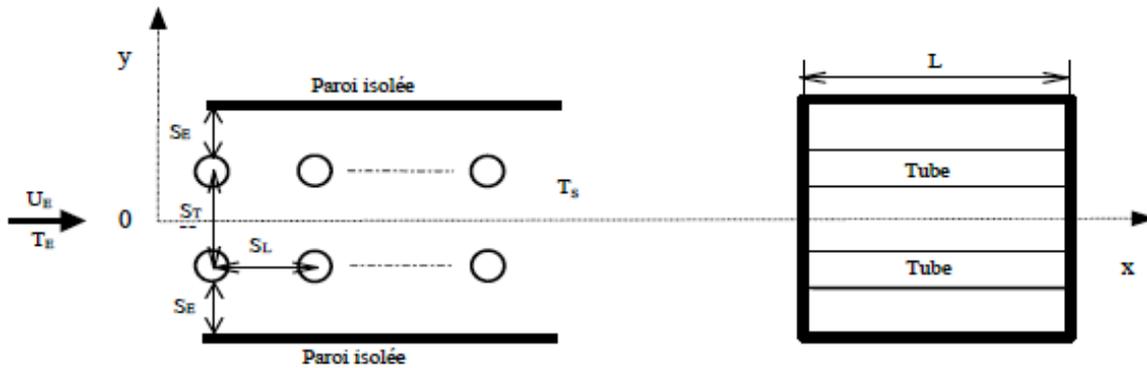


Figure 1

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.

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	∞