

Examen final TF42/PS81 Mécanique des fluides et transferts thermique

Portables rangés, document du cours autorisé, calculatrice autorisée

Exercice 1 : Ecoulement à travers un orifice (3 points)

On considère un réservoir rempli d'eau jusqu'à une hauteur H . Le réservoir est muni d'un petit orifice à sa base de diamètre $d = 10$ mm.

En précisant les hypothèses prises en compte, déterminer la hauteur H entre la surface libre et l'orifice, pour que la vitesse du fluide en sortie de l'orifice soit de 8 m/s.

Exercice 2 : Dimensionnement d'un échangeur à tubes coaxiaux (sur 5 pts)

Un échangeur constitué de 2 tubes coaxiaux de longueur L est conçu pour élever la température d'un débit d'eau $Q_f = 60$ L/min de 20°C à 80°C grâce à un débit massique d'eau m_c provenant d'une source géothermale d'eau chaude. L'eau de cette source entre à 100°C dans l'échangeur pour en ressortir refroidie de 40°C .

Les fluides s'écoulent dans l'échangeur à contre-courant. Le tube intérieur possède un diamètre extérieur de 15 mm.

1- Calculer la débit massique m_c qu'il faut soutirer à la source géothermale pour assurer cet échange de chaleur.

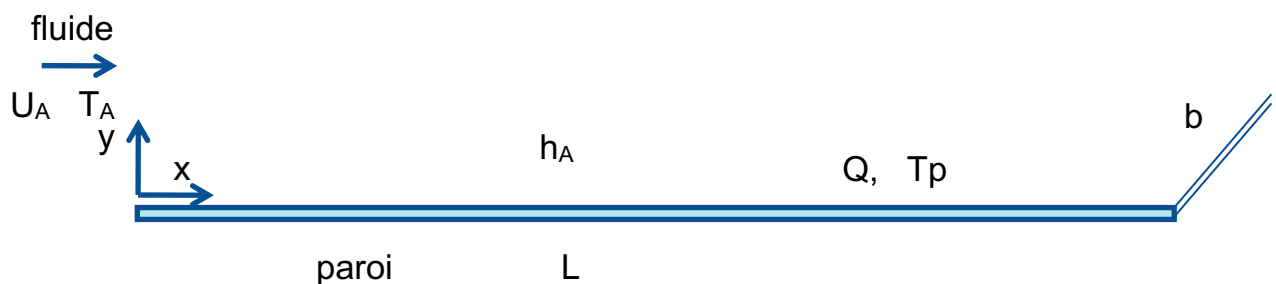
2- Sachant que le coefficient de transfert global vaut $K = 1000$ W/m²K, déterminer la longueur L de l'échangeur.

Données : 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

Exercice 3 : Transfert thermique le long d'une plaque plane (5 points)

On considère une plaque plane, d'épaisseur négligeable, de longueur L suivant la direction X de l'écoulement, de largeur b . La face supérieure de la plaque est soumise à une puissance calorifique $Q = 1208$ W. Sur cette face supérieure de cette plaque s'écoule de l'air à température T_A et à vitesse U_A .



On notera $h(x)$ le coefficient d'échange local le long de la plaque et h le coefficient d'échange moyen sur toute la longueur de la plaque.

On supposera un régime turbulent le long de la plaque. Dans ces conditions, le coefficient d'échange local peut être déterminé au moyen de la corrélation suivante :

$$Nu(x) = 0,028 Re_x^{0,8} Pr^{0,33}$$

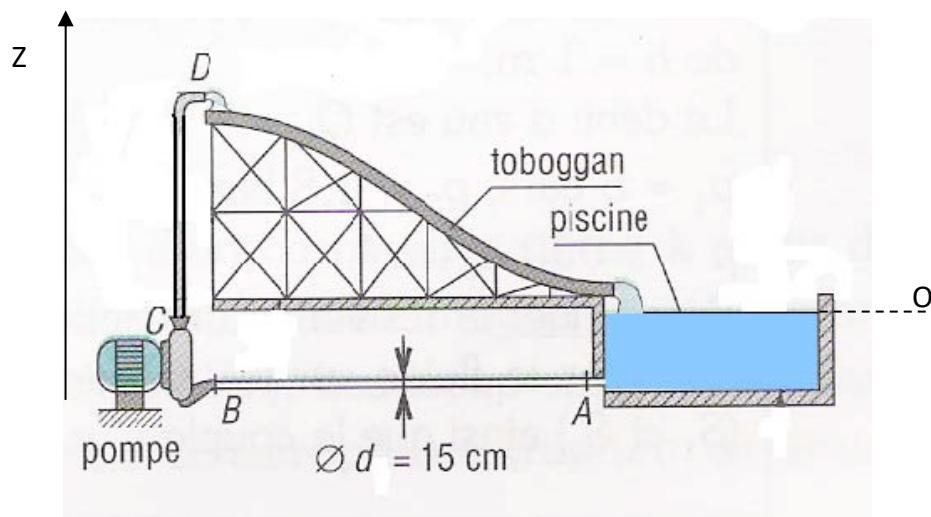
Données : Propriétés thermophysiques de l'air en annexe

$$L = 1,20 \text{ m} \quad b = 50 \text{ cm} \quad T_A = 20^\circ\text{C}$$

Déterminer la vitesse U_A que l'on doit imposer pour que la température de paroi soit $T_p = 100^\circ\text{C}$. Vous préciserez les hypothèses utilisées pour ce calcul.

Exercice 4 : Convection naturelle autour d'un fil parcouru par un courant électrique (sur 7 pts)

La figure suivante représente une installation utilisée dans un parc d'attraction.



L'installation est composée :

- d'une conduite d'aspiration AB horizontale de diamètre $D = 15 \text{ cm}$ et de longueur $L_1 = AB = 10 \text{ m}$.
- d'une pompe centrifuge ayant un rendement $\eta = 0,8$ qui aspire l'eau à un débit volumique $Q_v = 10,6 \text{ L/s}$ depuis une piscine et la refoule en D, vers un toboggan.
- d'une conduite de refoulement CD verticale de diamètre $D = 15 \text{ cm}$ et de longueur $L_2 = CD = 8 \text{ m}$.
- d'un toboggan formant un canal descendant permettant d'acheminer par gravité l'eau vers la piscine.

Hypothèses :

- L'eau reste en circuit fermé et toutes les pertes de charge singulières sont supposées négligeables.
- Le coefficient de pertes de charges linéaire λ peut être calculé à l'aide des corrélations suivantes :

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

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

- Les pertes de charge linéaires sont calculées par la relation : $\Delta P_L = \frac{\lambda.L}{D} \frac{\rho V^2}{2}$

Données :

- la masse volumique de l'eau : $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- la viscosité dynamique de l'eau : $\mu = 10^{-3} \text{ Pa.s}$
- la pression $P_O = P_D = P_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$
- $Z_O = 1,5 \text{ m}$ (O est un point de la surface libre de l'eau dans la piscine)
- $Z_A = Z_B = 0$
- $Z_C = 0,3 \text{ m}$
- $Z_D = 8,3 \text{ m}$

- 1-** Calculer la vitesse d'écoulement V dans la conduite. En déduire le régime d'écoulement.
- 2-** En appliquant le Théorème de Bernoulli entre un point O de la surface libre de la piscine et le point A, calculer la pression P_A . On suppose que le niveau de l'eau dans la piscine reste constant ($V_O = 0$).
- 3-** Déterminer la perte de charge linéaire ΔP_L le long de la conduite entre A et D.
- 4-** En appliquant le théorème de Bernoulli entre A et D, déterminer la puissance nette P_n développée par la pompe. En déduire la puissance P_a absorbée par la pompe.

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	$k \times 10^7$, 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	$k \times 10^7$, 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	218.4	326	∞	0	0.209	-	0.0506	0.155	0	∞