

Examen final TF42 Mécanique des fluides et transferts thermique

Portables rangés, document du cours autorisé, calculatrice autorisée

Exercice 1 : Coefficient d'échange moyen sur une plaque plane (4 points)

Une corrélation exprimant le nombre de Nusselt local a été établie à partir de résultats expérimentaux pour un écoulement avec convection forcée sur une plaque plane rugueuse.

Cette corrélation s'écrit :
$$\text{Nu}(x) = \frac{A}{\lambda} x^{-2}$$

Où A est un coefficient, λ la conductivité thermique du fluide et x la distance (en mètre) comptée à partir du bord d'attaque de la plaque.

On note par $\overline{\text{Nu}}_x$ le nombre de Nusselt moyen jusqu'à l'abscisse x.

- 1 – Etablir l'expression du nombre de Nusselt moyen jusqu'à l'abscisse x.
- 2 – En déduire la relation entre le coefficient d'échange moyen jusqu'à l'abscisse x, noté \overline{h}_x , et le coefficient d'échange local à l'abscisse x, noté $h(x)$.
- 3 – Décrire qualitativement les variations de $h(x)$ et de \overline{h}_x en fonction de x.

Exercice 2 : Dimensionnement d'une pompe à Essence (5 pts)

Une pompe à essence de rendement $\eta = 67,4 \%$ et de débit volumique $Q_v = 0,629 \text{ L/s}$ assure le remplissage d'un réservoir d'automobile. La pompe aspire l'essence à partir d'une grande citerne dont la surface libre est située à une altitude Z_1 et une pression atmosphérique $P_1 = 1 \text{ bar}$. L'essence circule ensuite à vitesse V_2 dans une canalisation de longueur $L = 3,32 \text{ m}$ et de diamètre $d = 2 \text{ cm}$ avant d'être refoulée à une altitude Z_2 , sous forme d'un jet cylindrique, en contact avec l'atmosphère à une pression P_2 égale à la pression atmosphérique, se déversant dans le réservoir de l'automobile. La différence des cotes entre la section de sortie de la conduite et la surface libre de la citerne est $H = Z_2 - Z_1 = 2 \text{ m}$.

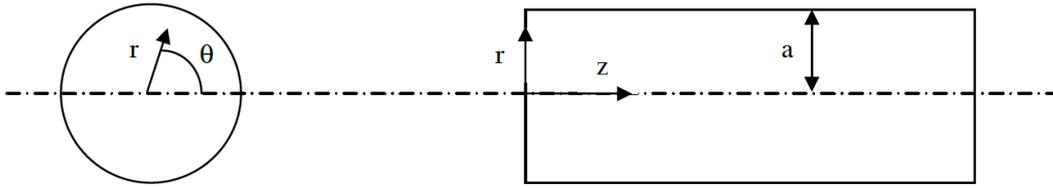
Données :

- On suppose que la citerne est suffisamment grande pour que le niveau d'essence à l'intérieur de celle-ci reste constant
- Masse volumique de l'essence $\rho = 750 \text{ kg/m}^3$
- Viscosité dynamique de l'essence est $\mu = 0,0006 \text{ Pa.s}$.

- 1- Après avoir déterminé la nature de l'écoulement dans la conduite, calculer les pertes de charge linéiques.
- 2- Calculer la puissance P_a sur l'arbre de la pompe.

Exercice 3 : Ecoulement laminaire établi à l'intérieur d'un tube (4 points)

On considère, en régime permanent, un écoulement de type Poiseuille à l'intérieur d'un cylindre de rayon a. L'écoulement est laminaire et établi dynamiquement suivant la direction z. On utilise le système de coordonnées cylindriques (z, r, q) décrit sur la figure ci-dessous. Le vecteur vitesse V a alors pour composantes : u suivant z, v suivant r et w suivant q.



Dans ce système de coordonnées, l'équation de quantité de mouvement suivant la direction principale de l'écoulement z s'écrit (en négligeant les forces massiques extérieures) :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial z} + v \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{w}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} \right] \quad \text{Eq. E1}$$

1 - Sachant que dans le cas d'un écoulement de Poiseuille, le gradient de pression est constant et que l'écoulement est uniquement porté par la direction z , donner l'expression, simplifiée au maximum, de l'équation E1.

2 - Déterminer l'expression de la distribution de vitesse $u(r)$. En déduire l'expression de la vitesse maximale.

Exercice 4 : Transfert de chaleur à l'intérieur d'un tube (7 points)

On considère un tube de diamètre $D = 5$ cm et de longueur $L = 20$ 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 $U_E = 40$ cm/s.

Données :

- Propriétés thermo-physiques de l'air : cf annexe
- 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 $T_f = 1/2(T_P + T_E)$.

1- Calculer la température T_S de l'air à la sortie du tube ?

2- Vous préciserez et justifierez toutes les hypothèses considérées lors de ce calcul.

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	∞