



Transfert de chaleur Fiche TD N°3-Suite

Problème N°5

On laisse tomber dans un réservoir profond rempli d'une huile à une température constante, une bille sphérique de rayon R . On néglige la phase d'accélération de la bille et on suppose que la vitesse terminale de chute V_T est atteinte immédiatement.

Supposant que les propriétés de l'huile sont constantes, quelle est la valeur du coefficient h de transfert de chaleur à la surface de la sphère ?

Données : la bille : $R = 0,003$ m, $V_T = 0,23$ m/s, $C_{PS} = 1000$ J/kg/K, $\rho_S = 2600$ kg/m³.

L'huile : $\mu_L = 0,055$ Pa.s, $C_{PL} = 1885$ J/kg/K, $\rho_L = 900$ kg/m³, $\lambda = 0,145$ W/m/K

On donne : $Nu = 2 + 0,6 Re^{0,5} Pr^{0,33}$

Problème N°6

L'air à 300 K et à la pression de 1 atm s'écoule à la vitesse de 35 m/s à travers une plaque plane de 0,43 m de long. Cette plaque est maintenue à 400 K.

-Calculer le flux de chaleur par unité de largeur à travers toute la plaque.

Problème N°7

Une huile de moteur à 60°C circule à 2m/s à travers une surface plane de 0,4m de longueur. La densité du flux de chaleur dans la plaque est 10kW/m².

1. Déterminer la valeur du coefficient de convection moyen.

2. Déterminer la température de la plaque.

Problème N°8

- Un écran en verre est utilisé pour réduire les pertes de chaleur dans une cheminée. Il a une hauteur de 0,93 m et une largeur de 1,02 m avec une température de 218 °C. La température de la pièce dans laquelle se trouve la cheminée est 23 °C.

-Calculer le flux de chaleur par convection de la cheminée à la pièce.

Problème N°9

L'hydrogène à 1atm et 60°C s'écoule le long d'une plaque plane à 122m/s. La plaque qui a une longueur de 1,22m est à 94°C.

- Calculer le coefficient de convection global.

Problème N°10

Une huile s'écoule avec un débit de 0,5 kg/s dans un tube de 25 mm de diamètre et de 10 m de longueur. La température de l'huile à l'entrée est de 25°C et 31°C en sortie, on suppose que la température de la paroi interne du tube reste constante à 100°C.

1) Calculer le coefficient de transfert de chaleur par convection à la surface du tube.

2) Calculer le flux de chaleur échangée.

Données : (unités SI) $C_p = 2076$, $\mu = 5,31 \cdot 10^{-2}$, $\lambda = 0,139$, $\rho = 860$.



Transfert de chaleur Fiche TD N°3-Suite

$$Nu = \frac{hD}{\lambda} = 3,66 + \frac{0,0668 \left(\frac{D}{L}\right) RePr}{1 + 0,04 \left[\left(\frac{D}{L}\right) RePr\right]^{2/3}}$$

1. Propriétés des liquides à l'état de saturation

t (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	ν (m ² /s)	k (W/m·K)	α (m ² /s)	Pr	β (K ⁻¹)	
Water, H ₂ O								
0	1 002.28	4.2178 × 10 ³	1.788 × 10 ⁻⁶	0.552	1.308 × 10 ⁻⁷	13.6	0.18 × 10 ⁻³	
20	1 000.52	4.1818	1.006	0.597	1.430	7.02		
40	994.59	4.1784	0.658	0.628	1.512	4.34		
60	985.46	4.1843	0.478	0.651	1.554	3.02		
80	974.08	4.1964	0.364	0.668	1.636	2.22		
100	960.63	4.2161	0.294	0.680	1.680	1.74		
120	945.25	4.250	0.247	0.685	1.708	1.446		
140	928.27	4.283	0.214	0.684	1.724	1.241		
160	909.69	4.342	0.190	0.680	1.729	1.099		
180	889.03	4.417	0.173	0.675	1.724	1.004		
200	866.76	4.505	0.160	0.665	1.706	0.937		
220	842.41	4.610	0.150	0.652	1.680	0.891		
240	815.66	4.756	0.143	0.635	1.639	0.871		
260	785.87	4.949	0.137	0.611	1.577	0.874		
280.6	752.55	5.208	0.135	0.580	1.481	0.910		
300	714.26	5.728	0.135	0.540	1.324	1.019		
Ammonia, NH ₃								
-50	703.69	4.463 × 10 ³	0.435 × 10 ⁻⁶	0.547	1.742 × 10 ⁻⁷	2.60	2.45 × 10 ⁻³	
-40	691.68	4.467	0.406	0.547	1.775	2.28		
-30	679.34	4.476	0.387	0.549	1.801	2.15		
-20	666.69	4.509	0.381	0.547	1.819	2.09		
-10	653.55	4.564	0.378	0.543	1.825	2.07		
0	640.10	4.635	0.373	0.540	1.819	2.05		
10	626.16	4.714	0.368	0.531	1.801	2.04		
20	611.75	4.798	0.359	0.521	1.775	2.02		
30	596.37	4.890	0.349	0.507	1.742	2.01		
40	580.99	4.999	0.340	0.493	1.701	2.00		
50	564.33	5.116	0.330	0.476	1.654	1.99		
Carbon dioxide, CO ₂								
-50	1 156.34	1.84 × 10 ³	0.119 × 10 ⁻⁶	0.0855	0.4021 × 10 ⁻⁷	2.96		14.00 × 10 ⁻³
-40	1 117.77	1.88	0.118	0.1011	0.4810	2.46		
-30	1 076.76	1.97	0.117	0.1116	0.5272	2.22		
-20	1 032.39	2.05	0.115	0.1151	0.5445	2.12		
-10	983.38	2.18	0.113	0.1099	0.5133	2.20		
0	926.99	2.47	0.108	0.1045	0.4578	2.38		
10	860.03	3.14	0.101	0.0971	0.3608	2.80		
20	772.57	5.0	0.091	0.0872	0.2219	4.10		
30	597.81	36.4	0.080	0.0703	0.0279	28.7		

t (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	ν (m ² /s)	k (W/m·K)	α (m ² /s)	Pr	β (K ⁻¹)
Sulfur dioxide, SO ₂							
-50	1 560.84	1.3595 × 10 ³	0.484 × 10 ⁻⁶	0.242	1.141 × 10 ⁻⁷	4.24	1.94 × 10 ⁻³
-40	1 536.81	1.3607	0.424	0.235	1.130	3.74	
-30	1 520.64	1.3616	0.371	0.230	1.117	3.31	
-20	1 488.60	1.3624	0.324	0.225	1.107	2.93	
-10	1 463.61	1.3628	0.288	0.218	1.097	2.62	
0	1 438.46	1.3636	0.257	0.211	1.081	2.38	
10	1 412.51	1.3645	0.232	0.204	1.066	2.18	
20	1 386.40	1.3653	0.210	0.199	1.050	2.00	
30	1 359.33	1.3662	0.190	0.192	1.035	1.83	
40	1 329.22	1.3674	0.173	0.185	1.019	1.70	
50	1 299.10	1.3683	0.162	0.177	0.999	1.61	
Methyl chloride, CH ₃ Cl							
-50	1 052.58	1.4759 × 10 ³	0.320 × 10 ⁻⁶	0.215	1.388 × 10 ⁻⁷	2.31	
-40	1 033.35	1.4826	0.318	0.209	1.368	2.32	
-30	1 016.53	1.4922	0.314	0.202	1.337	2.35	
-20	999.39	1.5043	0.309	0.196	1.301	2.38	
-10	981.45	1.5194	0.306	0.187	1.257	2.43	
0	962.39	1.5378	0.302	0.178	1.213	2.49	
10	942.36	1.5600	0.297	0.171	1.166	2.55	
20	923.31	1.5860	0.293	0.163	1.112	2.63	
30	903.12	1.6161	0.288	0.154	1.058	2.72	
40	883.10	1.6504	0.281	0.144	0.996	2.83	
50	861.15	1.6890	0.274	0.133	0.921	2.97	
Dichlorodifluoromethane (Freon), CCl ₂ F ₂							
-50	1 546.75	0.8750 × 10 ³	0.310 × 10 ⁻⁶	0.067	0.501 × 10 ⁻⁷	6.2	2.63 × 10 ⁻³
-40	1 518.71	0.8847	0.279	0.069	0.514	5.4	
-30	1 489.56	0.8956	0.253	0.069	0.526	4.8	
-20	1 460.57	0.9073	0.235	0.071	0.539	4.4	
-10	1 429.49	0.9203	0.221	0.073	0.550	4.0	
0	1 397.45	0.9345	0.214	0.073	0.557	3.8	
10	1 364.30	0.9496	0.203	0.073	0.560	3.6	
20	1 330.18	0.9659	0.198	0.073	0.560	3.5	
30	1 295.10	0.9835	0.194	0.071	0.560	3.5	
40	1 257.13	1.0019	0.191	0.069	0.555	3.5	
50	1 215.96	1.0216	0.190	0.067	0.545	3.5	
Eutectic calcium chloride solution, 29.9% CaCl ₂							
-50	1 319.76	2.608 × 10 ³	36.35 × 10 ⁻⁶	0.402	1.166 × 10 ⁻⁷	312	
-40	1 314.96	2.6356	24.97	0.415	1.200	208	
-30	1 310.15	2.6611	17.18	0.429	1.234	139	
-20	1 305.51	2.688	11.04	0.445	1.267	87.1	
-10	1 300.70	2.713	6.96	0.459	1.300	53.6	

t (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	ν (m ² /s)	k (W/m·K)	α (m ² /s)	Pr	β (K ⁻¹)
Sulfur dioxide, SO ₂							
-50	1 560.84	1.3595 × 10 ³	0.484 × 10 ⁻⁶	0.242	1.141 × 10 ⁻⁷	4.24	1.94 × 10 ⁻³
-40	1 536.81	1.3607	0.424	0.235	1.130	3.74	
-30	1 520.64	1.3616	0.371	0.230	1.117	3.31	
-20	1 488.60	1.3624	0.324	0.225	1.107	2.93	
-10	1 463.61	1.3628	0.288	0.218	1.097	2.62	
0	1 438.46	1.3636	0.257	0.211	1.081	2.38	
10	1 412.51	1.3645	0.232	0.204	1.066	2.18	
20	1 386.40	1.3653	0.210	0.199	1.050	2.00	
30	1 359.33	1.3662	0.190	0.192	1.035	1.83	
40	1 329.22	1.3674	0.173	0.185	1.019	1.70	
50	1 299.10	1.3683	0.162	0.177	0.999	1.61	
Methyl chloride, CH ₃ Cl							
-50	1 052.58	1.4759 × 10 ³	0.320 × 10 ⁻⁶	0.215	1.388 × 10 ⁻⁷	2.31	2.63 × 10 ⁻³
-40	1 033.35	1.4826	0.318	0.209	1.368	2.32	
-30	1 016.53	1.4922	0.314	0.202	1.337	2.35	
-20	999.39	1.5043	0.309	0.196	1.301	2.38	
-10	981.45	1.5194	0.306	0.187	1.257	2.43	
0	962.39	1.5378	0.302	0.178	1.213	2.49	
10	942.36	1.5600	0.297	0.171	1.166	2.55	
20	923.31	1.5860	0.293	0.163	1.112	2.63	
30	903.12	1.6161	0.288	0.154	1.058	2.72	
40	883.10	1.6504	0.281	0.144	0.996	2.83	
50	861.15	1.6890	0.274	0.133	0.921	2.97	
Dichlorodifluoromethane (Freon), CCl ₂ F ₂							
-50	1 546.75	0.8750 × 10 ³	0.310 × 10 ⁻⁶	0.067	0.501 × 10 ⁻⁷	6.2	2.63 × 10 ⁻³
-40	1 518.71	0.8847	0.279	0.069	0.514	5.4	
-30	1 489.56	0.8956	0.253	0.069	0.526	4.8	
-20	1 460.57	0.9073	0.235	0.071	0.539	4.4	
-10	1 429.49	0.9203	0.221	0.073	0.550	4.0	
0	1 397.45	0.9345	0.214	0.073	0.557	3.8	
10	1 364.30	0.9496	0.203	0.073	0.560	3.6	
20	1 330.18	0.9659	0.198	0.073	0.560	3.5	
30	1 295.10	0.9835	0.194	0.071	0.560	3.5	
40	1 257.13	1.0019	0.191	0.069	0.555	3.5	
50	1 215.96	1.0216	0.190	0.067	0.545	3.5	
Eutectic calcium chloride solution, 29.9% CaCl ₂							
-50	1 319.76	2.608 × 10 ³	36.35 × 10 ⁻⁶	0.402	1.166 × 10 ⁻⁷	312	
-40	1 314.96	2.6356	24.97	0.415	1.200	208	
-30	1 310.15	2.6611	17.18	0.429	1.234	139	
-20	1 305.51	2.688	11.04	0.445	1.267	87.1	
-10	1 300.70	2.713	6.96	0.459	1.300	53.6	

t (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	ν (m ² /s)	k (W/m·K)	α (m ² /s)	Pr	β (K ⁻¹)
Eutectic calcium chloride solution, 29.9% CaCl ₂ (continued)							
0	1 296.06	2.738 × 10 ³	4.39 × 10 ⁻⁶	0.472	1.332 × 10 ⁻⁷	33.0	
10	1 291.41	2.763	3.35	0.485	1.363	24.6	
20	1 286.61	2.788	2.72	0.498	1.394	19.6	
30	1 281.96	2.814	2.27	0.511	1.419	16.0	
40	1 277.16	2.839	1.92	0.523	1.445	13.3	
50	1 272.51	2.868	1.65	0.535	1.468	11.3	
Glycerin, C ₃ H ₈ (OH) ₃							
0	1 276.03	2.261 × 10 ³	0.008 31	0.282	0.983 × 10 ⁻⁷	84.7 × 10 ³	0.50 × 10 ⁻³
10	1 270.11	2.319	0.003 00	0.284	0.965	31.0	
20	1 264.02	2.386	0.001 18	0.286	0.947	12.5	
30	1 258.09	2.445	0.000 50	0.286	0.929	5.38	
40	1 252.01	2.512	0.000 22	0.286	0.914	2.45	
50	1 244.96	2.583	0.000 15	0.287	0.893	1.63	
Ethylene glycol, C ₂ H ₄ (OH) ₂							
0	1 130.75	2.294 × 10 ³	57.53 × 10 ⁻⁶	0.242	0.934 × 10 ⁻⁷	615	0.65 × 10 ⁻³
20	1 116.65	2.382	19.18	0.249	0.939	204	
40	1 101.43	2.474	8.69	0.256	0.939	93	
60	1 087.66	2.562	4.75	0.260	0.932	51	
80	1 077.56	2.650	2.98	0.261	0.921	32.4	
100	1 058.50	2.742	2.03	0.263	0.908	22.4	
Engine oil (unused)							
0	899.12	1.796 × 10 ³	0.004 28	0.147	0.911 × 10 ⁻⁷	47 100	0.70 × 10 ⁻³
20	888.23	1.880	0.000 90	0.145	0.872	10 400	
40	876.05	1.964	0.000 24	0.144	0.834	2 870	
60	864.04	2.047	0.839 × 10 ⁻⁴	0.140	0.800	1 050	
80	852.02	2.131	0.375	0.138	0.769	490	
100	840.01	2.219	0.203	0.137	0.738	276	
120	828.96	2.307	0.124	0.135	0.710	175	
140	816.94	2.395	0.080	0.133	0.686	116	
160	805.89	2.483	0.056	0.132	0.663	84	
Mercury, Hg							
0	13 628.22	0.1403 × 10 ³	0.124 × 10 ⁻⁶	8.20	42.99 × 10 ⁻⁷	0.0288	1.82 × 10 ⁻⁴
20	13 579.04	0.1394	0.114	8.69	46.06	0.0249	
50	13 505.84	0.1386	0.104	9.40	50.22	0.0207	
100	13 384.58	0.1373	0.0928	10.51	57.16	0.0162	
150	13 264.28	0.1365	0.0853	11.49	63.54	0.0134	
200	13 144.94	0.1570	0.0802	12.34	69.08	0.0116	
250	13 025.60	0.1357	0.0765	13.07	74.06	0.0103	
315.5	12 847	0.134	0.0673	14.02	81.5	0.0083	

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	μ (kg/m·s)	ν (m ² /s)	k (W/m·K)	α (m ² /s)	Pr
Carbon dioxide							
220	2.4733	0.783×10^3	11.105×10^{-6}	4.490×10^{-6}	0.010 805	$0.059 20 \times 10^{-4}$	0.818
250	2.1657	0.804	12.590	5.813	0.012 884	0.074 01	0.793
300	1.7973	0.871	14.958	8.321	0.016 572	0.105 88	0.770
350	1.5362	0.900	17.205	11.19	0.020 47	0.148 08	0.755
400	1.3424	0.942	19.32	14.39	0.024 61	0.194 63	0.738
450	1.1918	0.980	21.34	17.90	0.028 97	0.248 13	0.721
500	1.0732	1.013	23.26	21.67	0.033 52	0.308 4	0.702
550	0.9739	1.047	25.08	25.74	0.038 21	0.375 0	0.685
600	0.8938	1.076	26.83	30.02	0.043 11	0.448 3	0.668
Carbon monoxide							
220	1.553 63	1.0429×10^3	13.832×10^{-6}	8.903×10^{-6}	0.019 06	$0.117 60 \times 10^{-4}$	0.758
250	0.841 0	1.0425	15.40	11.28	0.021 44	0.150 63	0.750
300	1.138 76	1.0421	17.843	15.67	0.025 25	0.212 80	0.737
350	0.974 25	1.0434	20.09	20.62	0.028 83	0.283 6	0.728
400	0.853 63	1.0484	22.19	25.99	0.032 26	0.360 5	0.722
450	0.758 48	1.0551	24.18	31.88	0.043 6	0.443 9	0.718
500	0.682 23	1.0635	26.06	38.19	0.038 63	0.532 4	0.718
550	0.620 24	1.0756	27.89	44.97	0.041 62	0.624 0	0.721
600	0.568 50	1.0877	29.60	52.06	0.044 46	0.719 0	0.724
Ammonia, NH ₃							
220	0.3828	2.198×10^3	7.255×10^{-6}	1.90×10^{-5}	0.0171	0.2054×10^{-4}	0.93
273	0.7929	2.177	9.353	1.18	0.0220	0.1308	0.90
323	0.6487	2.177	11.035	1.70	0.0270	0.1920	0.88
373	0.5590	2.236	12.886	2.30	0.0327	0.2619	0.87
423	0.4934	2.315	14.672	2.97	0.0391	0.3432	0.87
473	0.4405	2.395	16.49	3.74	0.0467	0.4421	0.84
Steam (H ₂ O vapor)							
380	0.5863	2.060×10^3	12.71×10^{-6}	2.16×10^{-5}	0.0246	0.2036×10^{-4}	1.060
400	0.5542	2.014	13.44	2.42	0.0261	0.2338	1.040
450	0.4902	1.980	15.25	3.11	0.0299	0.307	1.010
500	0.4405	1.985	17.04	3.86	0.0339	0.387	0.996
550	0.4005	1.997	18.84	4.70	0.0379	0.475	0.991
600	0.3652	2.026	20.67	5.66	0.0422	0.573	0.986
650	0.3380	2.056	22.47	6.64	0.0464	0.666	0.995
700	0.3140	2.085	24.26	7.72	0.0505	0.772	1.000
750	0.2931	2.119	26.04	8.88	0.0549	0.883	1.005
800	0.2739	2.152	27.86	10.20	0.0592	1.001	1.010
850	0.2579	2.186	29.69	11.52	0.0637	1.130	1.019

2. Propriétés de l'air à la pression atmosphérique

1-Paramètres entre 20°C et 100°C

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg/K)	μ (kg/ms)	ν (m ² /s)	λ (W/mK)	Pr
20	1,197	1,006	$18,22 \times 10^{-6}$	$1,522 \times 10^{-5}$	$25,85 \times 10^{-3}$	0,709
30	1,158	1,006	$18,70 \times 10^{-6}$	$1,614 \times 10^{-5}$	$26,63 \times 10^{-3}$	0,707
40	1,121	1,007	$19,012 \times 10^{-6}$	$1,696 \times 10^{-5}$	$27,50 \times 10^{-3}$	0,705
50	1,086	1,008	$19,63 \times 10^{-6}$	$1,807 \times 10^{-5}$	$28,13 \times 10^{-3}$	0,703
60	1,054	1,008	$20,08 \times 10^{-6}$	$1,905 \times 10^{-5}$	$28,90 \times 10^{-3}$	0,701
70	1,043	1,009	$20,39 \times 10^{-6}$	$1,955 \times 10^{-5}$	$29,90 \times 10^{-3}$	0,700
80	1,041	1,009	$21,08 \times 10^{-6}$	$2,005 \times 10^{-5}$	$30,90 \times 10^{-3}$	0,690
90	1,039	1,010	$22,04 \times 10^{-6}$	$2,015 \times 10^{-5}$	$32,90 \times 10^{-3}$	0,670
100	1,037	1,010	$23,08 \times 10^{-6}$	$2,025 \times 10^{-5}$	$33,90 \times 10^{-3}$	0,650

2-Paramètres entre 100 K et 700 K

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg/K)	μ (kg/ms)	ν (m ² /s)	λ (W/mK)	Pr
Air						
100	3,6010	$1,0266 \times 10^3$	$0,6924 \times 10^{-5}$	$1,923 \times 10^{-6}$	0,009 246	0,768
150	2,3675	1,0099	1,0283	4,343	0,013 375	0,756
200	1,7684	1,0061	1,3289	7,490	0,018 09	0,739
250	1,4128	1,0053	1,5990	11,310	0,022 27	0,722
300	1,1774	1,0057	1,8462	15,690	0,026 24	0,708
350	0,9980	1,0090	2,075	20,76	0,030 03	0,697
400	0,8826	1,0140	2,286	25,90	0,033 65	0,689
450	0,7833	1,0207	2,484	31,71	0,037 07	0,683
500	0,7048	1,0295	2,671	37,90	0,040 38	0,680
550	0,6423	1,0392	2,848	44,27	0,043 60	0,680
600	0,5879	1,0551	3,018	51,34	0,046 59	0,682
650	0,5430	1,0635	3,177	58,51	0,049 53	0,682
700	0,5030	1,0752	3,332	66,25	0,052 30	0,684