

Examen final UV TF 42

Mécanique des fluides et transferts thermiques

Durée : 2h

Documents autorisés

☛ Les problèmes (1, 2 et 3) sont à rendre sur des copies séparées des problèmes 4 et 5.

Problème 1 : Transfert convectif entre deux plaques planes parallèles (sur 5 pts)

On désire réchauffer de l'air circulant entre deux plaques planes parallèles. Ces deux plaques ont une longueur L , une largeur b et sont espacées d'une hauteur $2H$ (Figure 1). La plaque supérieure est maintenue à une température constante T_p . La plaque inférieure est maintenue à la température d'entrée de l'écoulement d'air et est isolée thermiquement de l'extérieur.

L'air s'écoule entre ces deux plaques suivant la direction x , pénétrant avec une vitesse moyenne U_E et une température T_E .

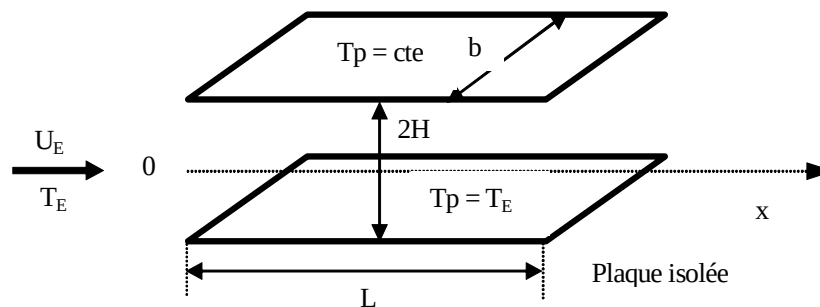


Figure 1

Données :

♦ $L = 2 \text{ m}$	♦ $b = 1 \text{ m}$	♦ $2H = 3 \text{ cm}$
♦ $U_E = 0,1 \text{ m/s}$	♦ $T_E = 20^\circ\text{C}$	♦ $T_p = 100^\circ\text{C}$
♦ propriétés thermophysiques de l'air : cf annexe 1		

Remarque : Les propriétés thermophysiques de l'air seront prises à la température moyenne de film $T_{mf} = 1/2(T_p + T_E)$.

1 - Montrer par un calcul simple que le diamètre hydraulique D_H de la configuration proposée est équivalent à $D_H = 4H$.

2 - Déterminer les longueurs d'entrée dynamique et thermique. Que peut-on en conclure quant à la nature de l'écoulement entre les plaques ?

3 - Calculer la puissance calorifique échangée entre l'air et les plaques.

Problème 2 : Transfert convectif à l'intérieur d'un conduit de section carrée (sur 3 pts)

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		

Remarques : - Les propriétés thermophysiques de l'air seront prises à la température moyenne de film :

$$T_{mf} = \frac{\left(\frac{T_E + T_S}{2} \right) + T_p}{2}$$

- On supposera le régime établi dynamiquement et thermiquement dans le conduit.

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

Problème 3 : Dimensionnement d'une pompe à essence (sur 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.

Problème 4 : sur 3 points

On a mis sur orbite un satellite dont la forme s'apparente à une sphère de diamètre D et dont la surface a une émissivité ϵ . On se propose de déterminer les températures extrêmes atteintes par le satellite au cours de sa rotation. Il se trouve alternativement plongé dans l'ombre de la Terre, puis exposé au rayonnement du soleil, durant des périodes de plusieurs heures, suffisantes pour que le régime stationnaire soit atteint à chaque alternance.

1- Exprimez la puissance rayonnée entre le satellite et le vide spatial, qui est à une température T_0 . On supposera que toute la surface du satellite voit ce vide en toute circonstance ; c'est donc une expression qui restera inchangée dans les questions suivantes.

2- La Terre a une température apparente moyenne T_i . De plus, on supposera que, du fait d'une orbite basse, la moitié de la surface du satellite est atteinte par le rayonnement terrestre. Calculer la température du satellite dans ces circonstances.

3- On reprend la même configuration à laquelle on ajoute la présence du soleil. Le rayonnement thermique qui nous parvient de ce point éloigné, a une densité de puissance notée Q'' . Néanmoins, seule la fraction ϵ de cette

quantité sera susceptible d'être absorbée par le satellite. Reprendre l'égalité du bilan énergétique pour en déduire la nouvelle température d'équilibre du satellite.

4- Calculer la puissance de chauffe à embarquer pour maintenir le satellite à $+10^\circ\text{C}$ lorsque c'est nécessaire.

A.N. : $D = 2 \text{ m}$; $\varepsilon = 0,1$; $T_0 = 3 \text{ K}$; $T_i = 5^\circ\text{C}$; $Q'' = 1300 \text{ W m}^{-2}$

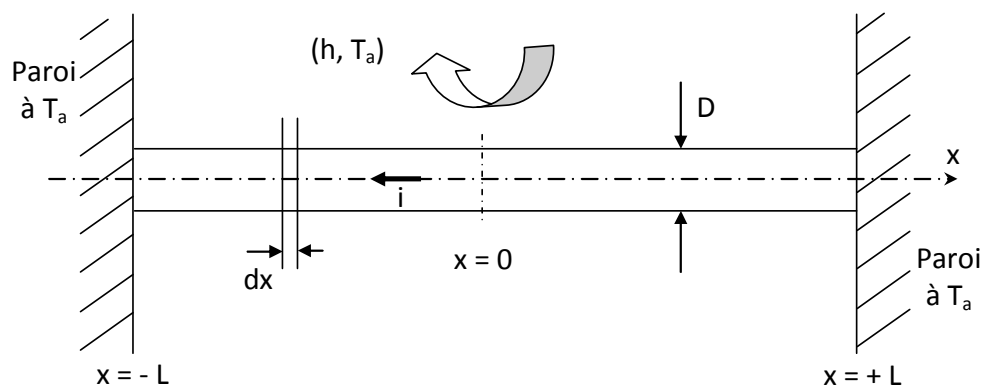
Rappel : la surface S d'une sphère de rayon R est $S = 4 \pi R^2$

Problème 5 : sur 4 points

Considérons un fil métallique de diamètre D , et de longueur infinie. Il est parcouru par un courant d'intensité i . L'effet Joule crée un échauffement qui est évacué par convection vers l'air ambiant à la température T_a . En régime 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- Reprenons ce problème 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 toujours parcouru par un courant d'intensité i , on comprend bien que sa température ne peut plus être homogène du fait de la proximité des parois à température ambiante, et doit donc dépendre de x . Elle reste néanmoins homogène dans une section x compte tenu du faible diamètre, d'où $T = T(x)$. Etablir le **bilan** de puissance appliqué à une portion élémentaire de largeur dx . Simplifiez l'équation différentielle en posant : $\theta = T - T_a$

3- Montrer que la solution de cette équation différentielle s'écrit :

$$\theta = Ae^{mx} + Be^{-mx} + \theta_f$$

$$\text{avec } m = \sqrt{\frac{4h}{\lambda D}} \quad \text{et} \quad \theta_f = T_f - T_a$$

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, ce qui se traduit par une dérivée nulle.
- aux extrémités du fil ($x = \pm L$), la température est celle des parois soit T_a .
- Ecrivez 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	$k \times 10^7$ 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

*p 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	∞