

Toute documentation permise
 Calculatrices : modèles autorisés seulement
 Durée de l'examen : 3 heures

16-MC-A1**Thermodynamique appliquée, mécanique des fluides et transfert de chaleur****Question n° 1 (30 %)**

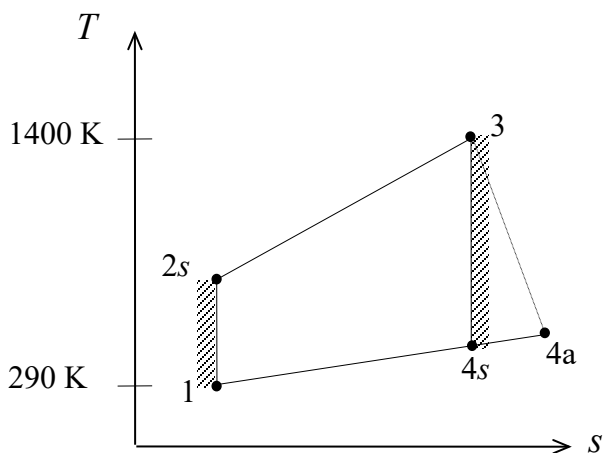
Soit un cycle de Brayton (voir **Figure 1**) dont le rapport de pression est de 8. La température de l'air à l'entrée du compresseur est de 290 K et la pression de 100 kPa. La température à l'entrée de la turbine est de 1400 K. Le rendement isentropique de la turbine est de 80% et on suppose de surcroît le fonctionnement du compresseur comme étant isentropique.

En utilisant les hypothèses de l'air standard, déterminez :

- a. (20%) Caractérisez les états thermodynamiques (T , h et P_r pour les points 1, 2, 3 et 4s et T et h pour le point 4a) en remplissant le tableau suivant :

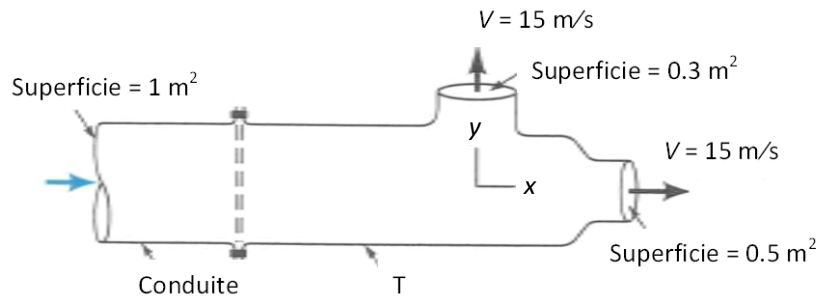
	T (K)	h (kJ·kg ⁻¹)	P_r (-)
Point 1			
Point 2			
Point 3			
Point 4a			-
Point 4s			

- b. (10%) Le rendement thermique du cycle;

**Figure 1**

Question n° 2 (20 %)

De l'eau ($\rho = 1\,000\text{ kg/m}^3$) sort d'une conduite par l'entremise d'un T sous la forme de 2 jets (voir figure ci-dessous). Le T est maintenu en place grâce à une bride entre la conduite et le T. La vitesse de sortie des jets est de **15 m/s**. En négligeant les forces visqueuses et gravitationnelles, déterminez les composantes horizontale et verticale de la force, en **kN**, dans la bride.

**Question n° 3 (30 %)**

Un échangeur de chaleur est utilisé afin de chauffer l'air du vestibule d'un magasin à grande surface. Cet échangeur est de type courant-croisé pour lequel les deux fluides sont non mélangés et utilise de l'eau chaude pour chauffer de l'air. L'eau chaude entre dans l'échangeur à 50 °C avec un débit de 1 kg/s. L'eau chaude est distribuée dans 20 tubes lisses et minces de 5 cm de diamètre et 2 m de longueur. L'air entre à 20 °C avec un débit massique de 1 kg/s.

Utilisez les propriétés suivantes :

	Eau		Air	
h	7000	W/m²K	50	W/m²K
Cp	4179	J/kg·K	1007	J/kg·K

- (20%) Déterminer le taux de transfert de chaleur en (W) ;
- (10%) Déterminer la température de sortie de l'air et la température de sortie de l'eau chaude;

Question n° 4 (20 %)

Une sphère de **5cm** de diamètre pesant **60 grammes** est maintenue en équilibre par un jet d'air comme indiqué sur la figure ci-dessous. On sait que le coefficient de trainée de la sphère est de **$C_D=0,4$** . Les surfaces de la buse sont indiquées sur la figure et on rappelle qu'un pied équivaut à **0,3048 mètre ($1\text{ft} = 0,3048\text{m}$)**. On rappelle de plus que la masse volumique de l'air est de **$\rho=1,2\text{kg/m}^3$** .

En négligeant la viscosité et les effets de gravité dans le fluide, déterminez la pression en **Pascal (Pa)** indiquée par le manomètre.

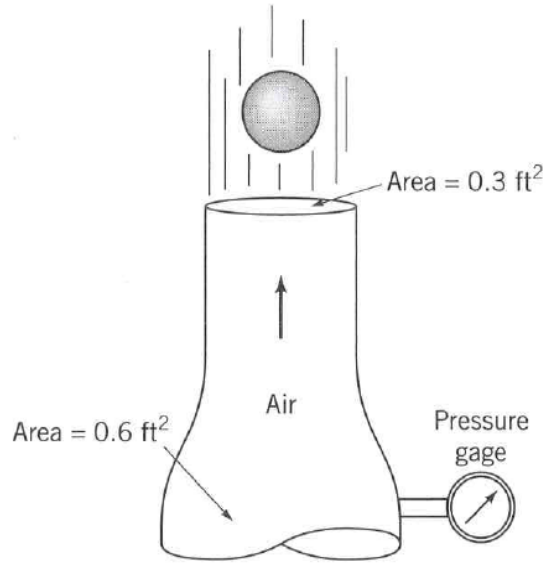


Schéma associé à la question 4

Annexe 1: Propriétés de l'air

TABLE A.17

Variables thermodynamiques de l'air à basse pression.

T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K	T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K
200	199,97	0,3363	142,56	1 707,0	1,29559	580	586,04	14,38	419,55	115,7	2,37348
210	209,97	0,3987	149,69	1 512,0	1,34444	590	596,52	15,31	427,15	110,6	2,39140
220	219,97	0,4690	156,82	1 346,0	1,39105	600	607,02	16,28	434,78	105,8	2,40902
230	230,02	0,5477	164,00	1 205,0	1,43557	610	617,53	17,30	442,42	101,2	2,42644
240	240,02	0,6355	171,13	1 084,0	1,47824	620	628,07	18,36	450,09	96,92	2,44356
250	250,05	0,7329	178,28	979,0	1,51917	630	638,63	19,84	457,78	92,84	2,46048
260	260,09	0,8405	185,45	887,8	1,55848	640	649,22	20,64	465,50	88,99	2,47716
270	270,11	0,9590	192,60	808,0	1,59634	650	659,84	21,86	473,25	85,34	2,49364
280	280,13	1,0889	199,75	738,0	1,63279	660	670,47	23,13	481,01	81,89	2,50985
285	285,14	1,1584	203,33	706,1	1,65055	670	681,14	24,46	488,81	78,61	2,52589
290	290,16	1,2311	206,91	676,1	1,66802	680	691,82	25,85	496,62	75,50	2,54175
295	295,17	1,3068	210,49	647,9	1,68515	690	702,52	27,29	504,45	72,56	2,55731
298	298,18	1,3543	212,64	631,9	1,69528	700	713,27	28,80	512,33	69,76	2,57277
300	300,19	1,3860	214,07	621,2	1,70203	710	724,04	30,38	520,23	67,07	2,58810
305	305,22	1,4686	217,67	596,0	1,71865	720	734,82	32,02	528,14	64,53	2,60319
310	310,24	1,5546	221,25	572,3	1,73498	730	745,62	33,72	536,07	62,13	2,61803
315	315,27	1,6442	224,85	549,8	1,75106	740	756,44	35,50	544,02	59,82	2,63280
320	320,29	1,7375	228,42	528,6	1,76690	750	767,29	37,35	551,99	57,63	2,64737
325	325,31	1,8345	232,02	508,4	1,78249	760	778,18	39,27	560,01	55,54	2,66176
330	330,34	1,9352	235,61	489,4	1,79783	780	800,03	43,35	576,12	51,64	2,69013
340	340,42	2,149	242,82	454,1	1,82790	800	821,95	47,75	592,30	48,08	2,71787
350	350,49	2,379	250,02	422,2	1,85708	820	843,98	52,59	608,59	44,84	2,74504
360	360,58	2,626	257,24	393,4	1,88543	840	866,08	57,60	624,95	41,85	2,77170
370	370,67	2,892	264,46	367,2	1,91313	860	888,27	63,09	641,40	39,12	2,79783
380	380,77	3,176	271,69	343,4	1,94001	880	910,56	68,98	657,95	36,61	2,82344
390	390,88	3,481	278,93	321,5	1,96633	900	932,93	75,29	674,58	34,31	2,84856
400	400,98	3,806	286,16	301,6	1,99194	920	955,38	82,05	691,28	32,18	2,87324
410	411,12	4,153	293,43	283,3	2,01699	940	977,92	89,28	708,08	30,22	2,89748
420	421,26	4,522	300,69	266,6	2,04142	960	1 000,55	97,00	725,02	28,40	2,92128
430	431,43	4,915	307,99	251,1	2,06533	980	1 023,25	105,2	741,98	26,73	2,94468
440	441,61	5,332	315,30	236,8	2,08870	1 000	1 046,04	114,0	758,94	25,17	2,96770
450	451,80	5,775	322,62	223,6	2,11161	1 020	1 068,89	123,4	776,10	23,72	2,99034
460	462,02	6,245	329,97	211,4	2,13407	1 040	1 091,85	133,3	793,36	23,29	3,01260
470	472,24	6,742	337,32	200,1	2,15604	1 060	1 114,86	143,9	810,62	21,14	3,03449
480	482,49	7,268	344,70	189,5	2,17760	1 080	1 137,89	155,2	827,88	19,98	3,05608
490	492,74	7,824	352,08	179,7	2,19876	1 100	1 161,07	167,1	845,33	18,896	3,07732
500	503,02	8,411	359,49	170,6	2,21952	1 120	1 184,28	179,7	862,79	17,886	3,09825
510	513,32	9,031	366,92	162,1	2,23993	1 140	1 207,57	193,1	880,35	16,946	3,11883
520	523,63	9,684	374,36	154,1	2,25997	1 160	1 230,92	207,2	897,91	16,064	3,13916
530	533,98	10,37	381,84	146,7	2,27967	1 180	1 254,34	222,2	915,57	15,241	3,15916
540	544,35	11,10	389,34	139,7	2,29906	1 200	1 277,79	238,0	933,33	14,470	3,17888
550	555,74	11,86	396,86	133,1	2,31809	1 220	1 301,31	254,7	951,09	13,747	3,19834
560	565,17	12,66	404,42	127,0	2,33685	1 240	1 324,93	272,3	968,95	13,069	3,21751
570	575,59	13,50	411,97	121,2	2,35531						

TABLE A.17

Variables thermodynamiques de l'air à basse pression. (suite)

T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K	T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K
1 260	1 348,55	290,8	986,90	12,435	3,23638	1 600	1 757,57	791,2	1 298,30	5,804	3,52364
1 280	1 372,24	310,4	1 004,76	11,835	3,25510	1 620	1 782,00	834,1	1 316,96	5,574	3,53879
1 300	1 395,97	330,9	1 022,82	11,275	3,27345	1 640	1 806,46	878,9	1 335,72	5,355	3,55381
1 320	1 419,76	352,5	1 040,88	10,747	3,29160	1 660	1 830,96	925,6	1 354,48	5,147	3,56867
1 340	1 443,60	375,3	1 058,94	10,247	3,30959	1 680	1 855,50	974,2	1 373,24	4,949	3,58335
1 360	1 467,49	399,1	1 077,10	9,780	3,32724	1 700	1 880,1	1 025	1 392,7	4,761	3,5979
1 380	1 491,44	424,2	1 095,26	9,337	3,34474	1 750	1 941,6	1 161	1 439,8	4,328	3,6336
1 400	1 515,42	450,5	1 113,52	8,919	3,36200	1 800	2 003,3	1 310	1 487,2	3,994	3,6684
1 420	1 539,44	478,0	1 131,77	8,526	3,37901	1 850	2 065,3	1 475	1 534,9	3,601	3,7023
1 440	1 563,51	506,9	1 150,13	8,153	3,39586	1 900	2 127,4	1 655	1 582,6	3,295	3,7354
1 460	1 587,63	537,1	1 168,49	7,801	3,41247	1 950	2 189,7	1 852	1 630,6	3,022	3,7677
1 480	1 611,79	568,8	1 186,95	7,468	3,42892	2 000	2 252,1	2 068	1 678,7	2,776	3,7994
1 500	1 635,97	601,9	1 205,41	7,152	3,44516	2 050	2 314,6	2 303	1 726,8	2,555	3,8303
1 520	1 660,23	636,5	1 223,87	6,854	3,46120	2 100	2 377,7	2 559	1 775,3	2,356	3,8605
1 540	1 684,51	672,8	1 242,43	6,569	3,47712	2 150	2 440,3	2 837	1 823,8	2,175	3,8901
1 560	1 708,82	710,5	1 260,99	6,301	3,49276	2 200	2 503,2	3 138	1 872,4	2,012	3,9191
1 580	1 733,17	750,0	1 279,65	6,046	3,50829	2 250	2 566,4	3 464	1 921,3	1,864	3,9474

Note: La pression relative P_r et le volume massique relatif v_r sont des variables sans dimension utilisées dans les évolutions isentropiques.

Annexe 2: Efficacité des échangeurs de chaleur

TABLE 11.3 Heat Exchanger Effectiveness Relations [5]

Flow Arrangement	Relation
Concentric tube	
Parallel flow	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + C_r)]}{1 + C_r} \quad (11.28a)$
Counterflow	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 - C_r)]}{1 - C_r \exp[-NTU(1 - C_r)]} \quad (C_r < 1)$
	$\varepsilon = \frac{NTU}{1 + NTU} \quad (C_r = 1) \quad (11.29a)$
Shell-and-tube	
One shell pass (2, 4, ... tube passes)	$\varepsilon_1 = 2 \left\{ 1 + C_r + (1 + C_r^2)^{1/2} \times \frac{1 + \exp[-(NTU)_1(1 + C_r^2)^{1/2}]}{1 - \exp[-(NTU)_1(1 + C_r^2)^{1/2}]} \right\}^{-1} \quad (11.30a)$
n Shell passes ($2n, 4n, \dots$ tube passes)	$\varepsilon = \left[\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C_r}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - 1 \right] \left[\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C_r}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - C_r \right]^{-1} \quad (11.31a)$
Cross-flow (single pass)	
Both fluids unmixed	$\varepsilon = 1 - \exp \left[\left(\frac{1}{C_r} \right) (NTU)^{0.22} \{ \exp[-C_r(NTU)^{0.78}] - 1 \} \right] \quad (11.32)$
C_{\max} (mixed), C_{\min} (unmixed)	$\varepsilon = \left(\frac{1}{C_r} \right) (1 - \exp \{ -C_r [1 - \exp(-NTU)] \}) \quad (11.33a)$
C_{\min} (mixed), C_{\max} (unmixed)	$\varepsilon = 1 - \exp(-C_r^{-1} \{ 1 - \exp[-C_r(NTU)] \}) \quad (11.34a)$
All exchangers ($C_r = 0$)	$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU) \quad (11.35a)$

Annexe 3: Influence du nombre de Reynolds sur le coefficient C_D de la sphère

