

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2021

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 %)

Un moteur de voiture de course à quatre temps, compte 8 cylindres ayant chacun un volume maximum de 0,6 litres. Le moteur fonctionne selon le cycle d'Otto théorique avec un taux de compression de 10.

Au début du cycle, l'air se trouve à 100 kPa et à 25°C (**État 1**) et la température maximale du cycle est de 1800 K. Le moteur produit une puissance totale de 300 kW.

En utilisant les **hypothèses d'air standard** (chaleurs massiques variables):

a). (5%) Représentez le cycle sur un diagramme P- v ainsi que sur un diagramme T-s;

b). (15%) Remplissez le tableau suivant ;

	T (K)	v_r (-)	u (kJ·kg⁻¹)
État 1			
État 2			
État 3			
État 4			

c). (5%) Déterminez la quantité de chaleur fournie (q_{in} en kJ/kg et Q_{in} en kJ) à chaque cylindre pendant un cycle;

d). (5%) Déterminez le rendement thermique du moteur.

Question n° 2 (20 %)

Un système de climatisation dont la puissance de réfrigération (\dot{Q}_L) vaut 5,49 kW sert à refroidir un écoulement d'air tel que schématisé en **Figure 2**. Cet écoulement pénètre avec une pression de 1 atmosphère, une température de 27°C et une humidité relative de 50%. Il en ressort à une température de 10°C et une humidité relative de 90%. La vapeur d'eau condensée durant l'évolution se trouve également à 10°C.

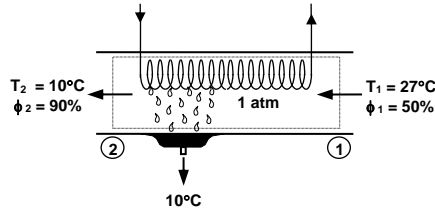


Figure 2

- a. (10%) À partir du diagramme psychrométrique fourni en annexe, caractérisez l'état des points 1 et 2 en remplissant le tableau suivant :

	T (°C)	φ (%)	h (kJ·kg ⁻¹)	ω (kg H ₂ O / kg air sec)
Point 1				
Point 2				

- b. (10%) Déterminez le débit massique d'air circulant dans le climatiseur. Pour ce faire, vous devrez caractériser au préalable l'état de l'eau récupérée au niveau de la cuve de condensat.

Question n° 3 (20 %)

Vous voulez refroidir une bouteille le plus rapidement possible, on vous propose alors de :

- Mettre au congélateur dans l'air froid ($T_\infty = -5^\circ\text{C}$, $h = 24 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

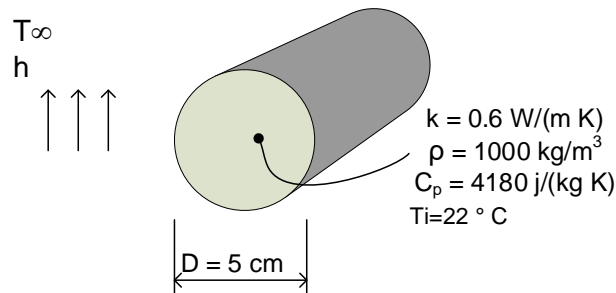


Figure 3

Calculez le temps pour que la température centrale soit de 5 °C, la température initiale est de 22 °C . On considère que la chaleur passe uniquement par conduction dans la bouteille qui est modélisée par un cylindre long (**voir Figure 3**) .

Question n° 4 (30 %)

Une pompe fonctionnant à **880 rpm**, dont les performances caractéristiques sont données par la **figure 4**, est utilisée pour pomper de l'eau comme indiqué sur la **figure 5**,

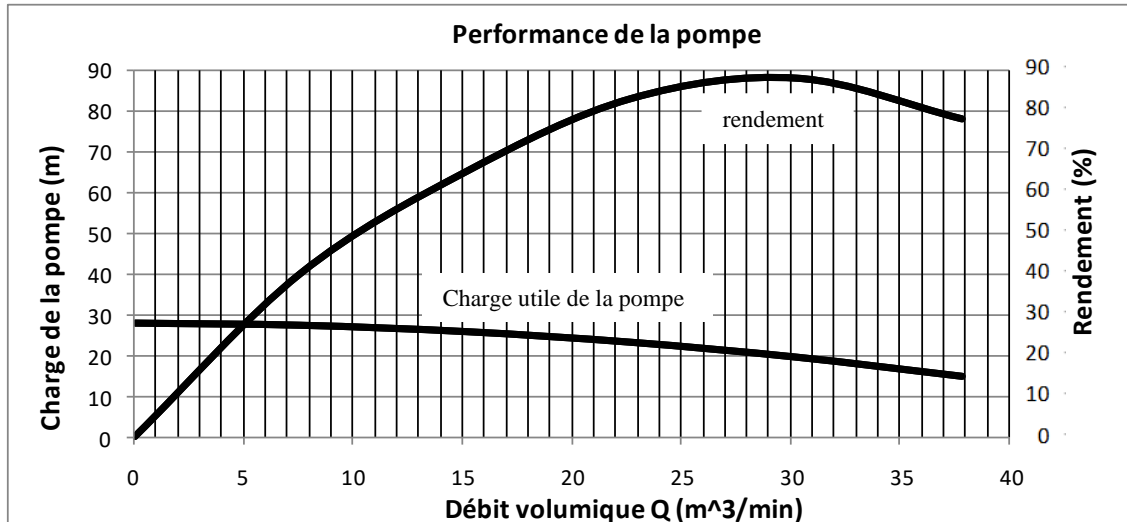


Figure 4 : schéma associé à la question 4.

- a) (5%) Identifiez le point d'opération optimal, en précisant les valeurs du débit Q (m^3/min) et la puissance fournie à l'arbre \dot{W}_{arbre} (kW)

La pompe de la **figure 4** est utilisée dans un système hydraulique pour faire circuler l'eau ($\mu = 1.00 \times 10^{-3} \text{ kg/ms}$ et $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$) d'un réservoir A vers un autre B comme illustré à la **figure 5**. Sachant que la longueur totale de la conduite est de **41 m**, son diamètre de **20 cm**, et la rugosité de la conduite $\varepsilon = 0.04 \text{ mm}$. On néglige les pertes mineures (singulières).

L'expression de la charge développée par la pompe est donnée par :

$$H = 27.77 - 0.01Q^2, \text{ (H en m, et Q en } \underline{\text{m}^3/\text{min}} \text{) qu'on peut réécrire comme :}$$

$$H = 27.77 - 36Q^2 \text{ (H en m, et Q en } \underline{\text{m}^3/\text{s}} \text{)}$$

- b) (20%) Calculez le débit d'opération Q , en m^3/s et la hauteur de charge de la pompe correspondante, en m;
c) (5%) Déterminez le rendement η de la pompe au point de fonctionnement.

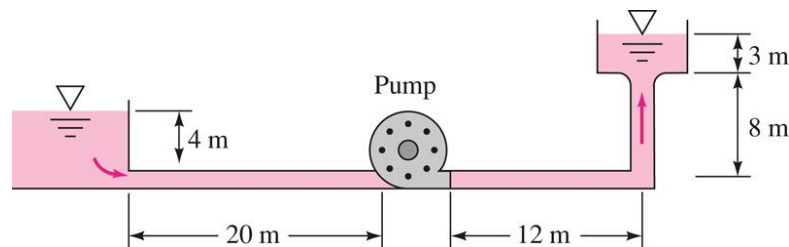


Figure 5 : schéma associé à la question 4

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)

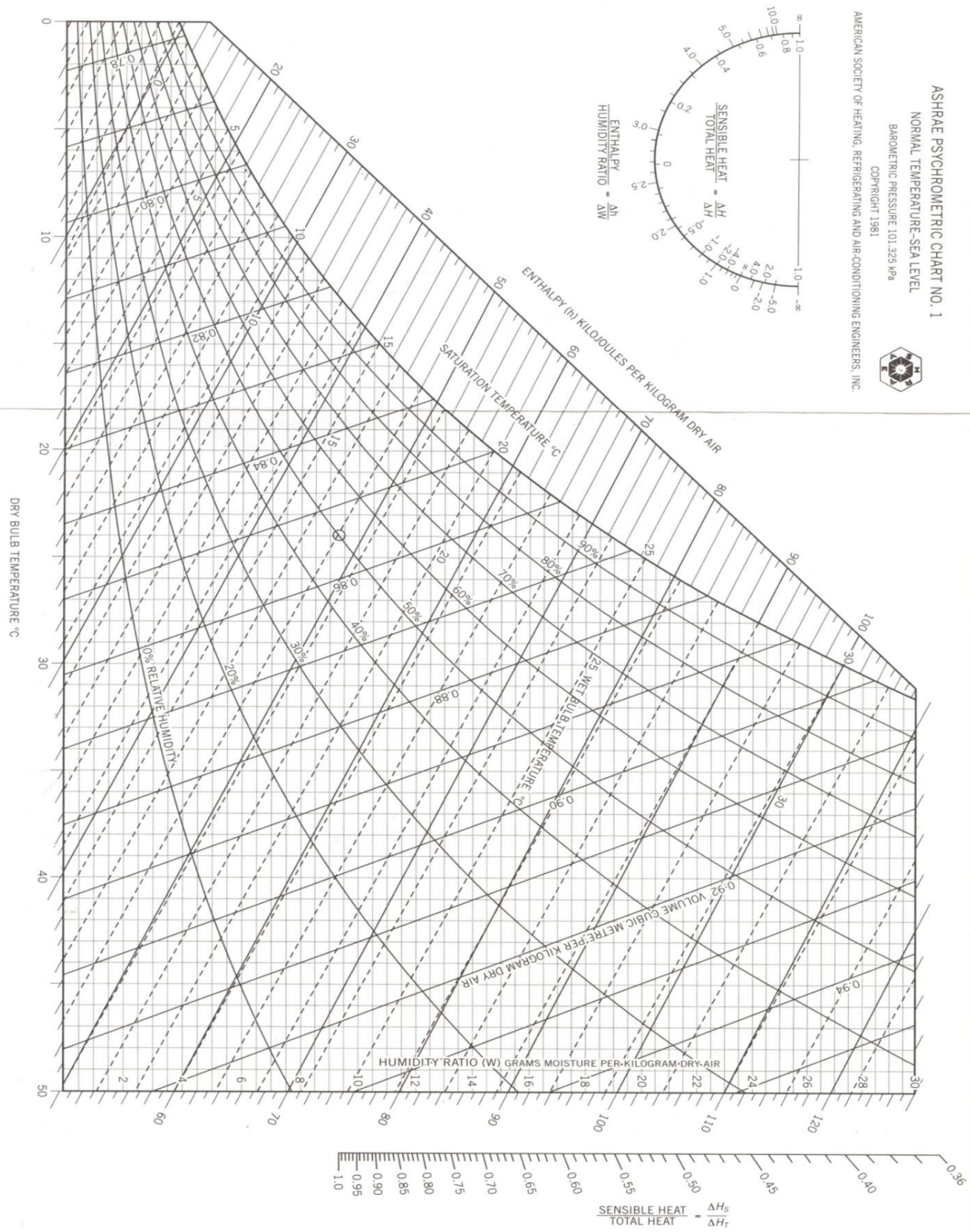
T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K	T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K
1 260	1 348,55	290,8	986,90	12,435	3,23638	1 600	1 757,57	791,2	1 298,30	5,804	3,52364
1 280	1 372,24	310,4	1 004,76	11,835	3,25510	1 620	1 782,00	834,1	1 316,96	5,574	3,53879
1 300	1 395,97	330,9	1 022,82	11,275	3,27345	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: diagramme psychrométrique

Chart 1b ASHRAE Psychrometric Chart No. 1 (SI) (Reprinted by permission of ASHRAE.)

ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1
NORMAL TEMPERATURE-SEA LEVEL
BAROMETRIC PRESSURE 101.325 kPa
COPYRIGHT 1981
AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.



Annexe 3: Diagramme de Moody

