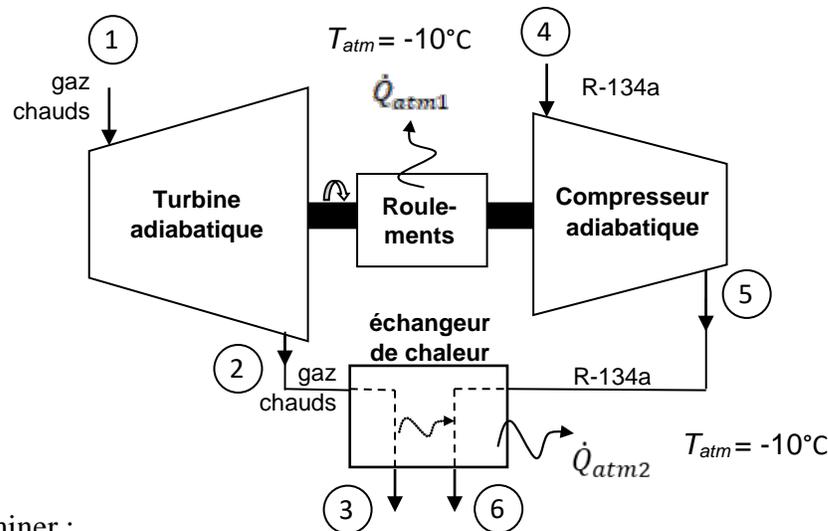


DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE  
MEC1210 THERMODYNAMIQUE

On propose le système illustré sur la figure ci-dessous pour faire fonctionner la climatisation des autobus opérant en climat froid avec les gaz d'échappement. Le concept consiste essentiellement à utiliser les gaz d'échappement (chauds) sortant du moteur à piston pour alimenter une turbine qui fait tourner le compresseur de la pompe thermique de l'autobus et aussi pour chauffer son réfrigérant avec ces gaz.

Pour une opération typique en régime permanent, les gaz d'échappement entrent dans la turbine *adiabatique* à  $200\text{ kPa}$  et  $687^\circ\text{C}$  avec un débit volumétrique de  $0.100\text{ m}^3/\text{s}$  (état 1) pour en sortir à  $108.433\text{ kPa}$  (état 2) avec la même vitesse. De l'autre côté, du réfrigérant R-134a entre dans le compresseur *adiabatique* comme *vapeur saturée* à  $100\text{ kPa}$  avec une vitesse de  $5\text{ m/s}$  (état 4) par une entrée ayant une aire de  $4.698 \times 10^{-3}\text{ m}^2$  et y quitte à  $1.4\text{ MPa}$  avec une vitesse négligeable (état 5). Les gaz chauds quittant la turbine (état 2) entre dans un échangeur de chaleur sans contact pour chauffer le réfrigérant jusqu'à  $100^\circ\text{C}$  (état 6) avant d'en sortir à  $527^\circ\text{C}$  (état 3). La friction dans les roulements de l'arbre reliant la turbine au compresseur dissipe une partie de la puissance de la turbine en chaleur à l'atmosphère (qui est à  $-10^\circ\text{C}$ ). L'échangeur de chaleur perd aussi un peu de chaleur à l'atmosphère.

Le rendement isentropique de la turbine est de  $85.8849\%$  alors que celui du compresseur est de  $74.9638\%$ . On peut supposer que la pression et la vitesse des fluides qui traversent l'échangeur de chaleur restent constantes. On peut négliger les changements d'énergie *potentielle* des gaz d'échappement et du réfrigérant. Les gaz d'échappement peuvent être modélisés par de l'air comme un gaz parfait à chaleurs massiques *variables* avec  $R=0.287\text{ kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K}$ .



On demande de déterminer :

- Les débits massiques (en kg/s) des gaz d'échappement **et** du réfrigérant R-134a. (1 point)
- La température (en  $^\circ\text{C}$ ) des gaz d'échappement à la sortie de la turbine (état 2). (1.5 points)
- La température (en  $^\circ\text{C}$ ) du réfrigérant R-134a à la sortie du compresseur (état 5). (2 points)
- Les taux de perte de chaleur (en kW) à l'atmosphère par les roulements ( $\dot{Q}_{atm1}$ ) **et** par l'échangeur de chaleur ( $\dot{Q}_{atm2}$ ). (2.5 points)
- Le taux de génération totale d'entropie (en kW/K). (3 points)

(suite au verso)  
page 1 de 2

**Bonus (1 point):** f) Montrez les états et évolutions des gaz d'échappement (air) et du réfrigérant R-134a sur leurs diagrammes T-s respectifs, en incluant les isobares (lignes de pression constante) pertinents.

**Pour un gaz parfait à chaleurs massiques variables:**  $s_2 - s_1 = s_2^o - s_1^o - R \ln \frac{P_2}{P_1}$

Propriétés de l'air comme gaz parfait :

**TABLE A-17**

Ideal-gas properties of air

<i>T</i> K	<i>h</i> kJ/kg	<i>P<sub>r</sub></i>	<i>u</i> kJ/kg	<i>v<sub>r</sub></i>	<i>s<sup>o</sup></i> kJ/kg · K
760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468

Propriétés thermodynamiques du réfrigérant 134a – tables de saturation

**TABLE A-12**

Saturated refrigerant-134a—Pressure table

Press., <i>P</i> kPa	Sat. temp., <i>T<sub>sat</sub></i> °C	Specific volume, m <sup>3</sup> /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, <i>v<sub>f</sub></i>	Sat. vapor, <i>v<sub>g</sub></i>	Sat. liquid, <i>u<sub>f</sub></i>	Evap., <i>u<sub>fg</sub></i>	Sat. vapor, <i>u<sub>g</sub></i>	Sat. liquid, <i>h<sub>f</sub></i>	Evap., <i>h<sub>fg</sub></i>	Sat. vapor, <i>h<sub>g</sub></i>	Sat. liquid, <i>s<sub>f</sub></i>	Evap., <i>s<sub>fg</sub></i>	Sat. vapor, <i>s<sub>g</sub></i>
80	-31.13	0.0007185	0.23753	11.15	201.30	212.46	11.21	220.25	231.46	0.04711	0.90999	0.95710
90	-28.65	0.0007223	0.21263	14.31	199.57	213.88	14.37	218.65	233.02	0.06008	0.89419	0.95427
100	-26.37	0.0007259	0.19254	17.21	197.98	215.19	17.28	217.16	234.44	0.07188	0.87995	0.95183
1200	46.29	0.0008934	0.016715	116.70	137.11	253.81	117.77	156.10	273.87	0.42441	0.48863	0.91303
1400	52.40	0.0009166	0.014107	125.94	130.43	256.37	127.22	148.90	276.12	0.45315	0.45734	0.91050

Propriétés thermodynamiques du réfrigérant 134a – tables de vapeur surchauffée

**TABLE A-13**

Superheated refrigerant-134a (Continued)

<i>T</i> °C	<i>v</i> m <sup>3</sup> /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m <sup>3</sup> /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m <sup>3</sup> /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K
P = 1.20 MPa ( <i>T<sub>sat</sub></i> = 46.29°C)				P = 1.40 MPa ( <i>T<sub>sat</sub></i> = 52.40°C)				P = 1.60 MPa ( <i>T<sub>sat</sub></i> = 57.88°C)				
Sat.	0.016715	253.81	273.87	0.9130	0.014107	256.37	276.12	0.9105	0.012123	258.47	277.86	0.9078
50	0.017201	257.63	278.27	0.9267								
60	0.018404	267.56	289.64	0.9614	0.015005	264.46	285.47	0.9389	0.012372	260.89	280.69	0.9163
70	0.019502	277.21	300.61	0.9938	0.016060	274.62	297.10	0.9733	0.013430	271.76	293.25	0.9535
80	0.020529	286.75	311.39	1.0248	0.017023	284.51	308.34	1.0056	0.014362	282.09	305.07	0.9875
90	0.021506	296.26	322.07	1.0546	0.017923	294.28	319.37	1.0364	0.015215	292.17	316.52	1.0194
100	0.022442	305.80	332.73	1.0836	0.018778	304.01	330.30	1.0661	0.016014	302.14	327.76	1.0500
110	0.023348	315.38	343.40	1.1118	0.019597	313.76	341.19	1.0949	0.016773	312.07	338.91	1.0795