

# ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2019

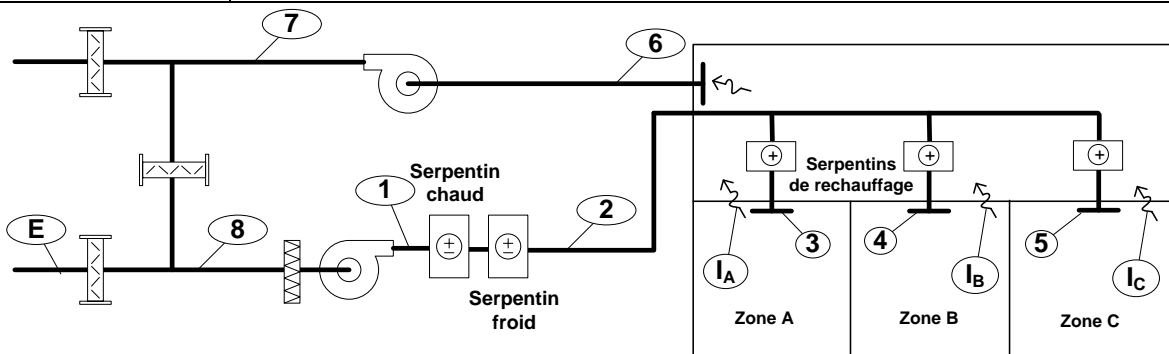
Toute documentation permise  
Calculatrices : modèles autorisés seulement  
Durée de l'examen : 3 heures

## 16-MC-B1 - Contrôle environnemental des bâtiments

### Problème n° 1 (25 %)

La figure ci-jointe illustre un système de climatisation à débit constant avec les serpents de réchauffage dans les zones. Les débits d'air déterminés pour les conditions de design et les charges de chaque zone pour un moment hors de design sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Zones	A		B		C	
Débit	2.0 m <sup>3</sup> /s		1.5 m <sup>3</sup> /s		1.0 m <sup>3</sup> /s	
Charges (kW)	sensible	latente	sensible	latente	sensible	latente
	24.0	6.0	12.6	7.43	7.2	1.5
Température	25 °C					
Humidité relative	40 à 60 %					



Gains de chaleur dans le faux-plafond	10.8 kW
Réchauffement de l'air dans le ventilateur de retour	$\Delta t = 1\text{ °C}$
Réchauffement de l'air dans le ventilateur d'alimentation	$\Delta t = 2\text{ °C}$
L'air frais (extérieur) température sèche	$t_{db} = 30\text{ °C}$
température humide	$t_{wb} = 25\text{ °C}$
Débit de l'air frais	20% du débit de design

Identifier la zone critique dans laquelle l'humidité relative est de 60% (2 %).

Représentez sur le diagramme psychrométrique ci-joint les états clés de l'air (les points : 1 à 8,  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  et  $E$  sur le schéma) (6 %)

Présentez dans un tableau *la température et l'humidité absolue de chaque état de l'air* (5 %).

Déterminez:

- a) le débit du ventilateur (2 %);
- b) la température et l'humidité absolue de l'air à la sortie du serpentin froid (2 %);
- c) la puissance frigorifique du serpentin de refroidissement (4 %);
- d) les puissances des serpentins de réchauffage dans les zones A, B, et C (4 %).

Pour les calculs on admet les conditions de l'air standard c'est-à-dire :  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$   
 $c_p = 1.005 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$  et l'enthalpie de vaporisation  $i_{fg} = 2500 \text{ kJ/kg}$

## Problème n° 2 (15 %)

Le refroidissement d'un bâtiment est assuré par une machine frigorifique centrifuge qui est disponible dans la période « avril – octobre ». Les factures mensuelles d'électricité pour les années 2017 et 2018 sont présentées dans le tableau ci-joint (le chauffage et l'eau chaude domestique sont au gaz). La moyenne des consommations d'électricité des mois janvier - mars et novembre – décembre est considérée donc comme la consommation de base.

On constate que la consommation d'électricité de l'année 2018 est inférieure à celle de l'année 2017. Cette baisse de consommation résulte ***partiellement du changement des fenêtres qui possèdent maintenant une couche réduisant les gains de chaleur par l'ensoleillement.***

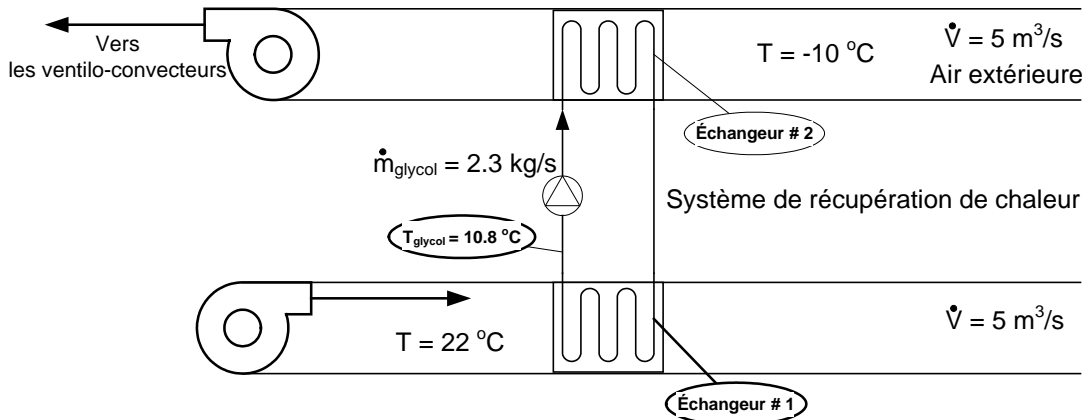
On constate aussi que les degrés-jours de refroidissement (au-dessus de  $18 ^\circ\text{C}$ ) des années 2017 et 2018 sont respectivement 250 et 220. Admettant que les autres gains de chaleur dans le bâtiment sont les mêmes en 2017 et 2018 déterminez :

- a) les consommations d'énergie annuelles (2017 et 2018) de la machine frigorifique (5%);
- b) la baisse de la consommation d'énergie de la machine frigorifique due :
  - aux conditions climatiques (degrés-jours) (5%);
  - au changement des fenêtres (5%).

Mois	Électricité - Consommation (kWh)	
	2017	2018
Janvier	237 446	236 480
Février	224 668	235 690
Mars	240 913	238 540
Avril	255 581	248 592
Mai	279 834	272 564
Juin	293 023	283 020
Juillet	323 095	311 560
Août	309 988	289 988
Septembre	281 676	274 776
Octobre	260 238	256 238
Novembre	231 550	232 550
Décembre	234 389	233 389
Total	3 172 401	3 113 387

### Problème n° 3 (20 %)

Un bâtiment est desservi par un système de climatisation avec les ventilo-convecteurs. L'air extérieur, requis pour maintenir la qualité d'air, est fourni aux ventilo-convecteurs par un système de ventilation à débit constant dont le schéma est présenté ci-dessous. Un système de récupération de chaleur composée de deux échangeurs de chaleur glycol-air est utilisé pour préchauffer l'air extérieur. À certain moment, le système d'acquisition de données a enregistré les données qui sont présentées sur le schéma. Admettant que l'efficacité de l'échangeur de chaleur # 1 est évaluée à  $\varepsilon = 64\%$ , déterminez :



- La chaleur récupérée qui sert à préchauffer l'air extérieur (en kW) (5 %);
- La température de l'air à la sortie de l'échangeur # 2 (5 %);
- L'efficacité de l'échangeur # 2 (5 %);
- L'efficacité du système de récupération de chaleur composée de deux échangeurs de chaleur glycol-air (5 %).

On admet que :

la chaleur spécifique de glycol  
la densité de l'air est  
la chaleur spécifique de l'air

$$\begin{aligned} c_p &= 3.2\text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \\ \rho &= 1.2\text{ kg/m}^3 \\ c_p &= 1.0\text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

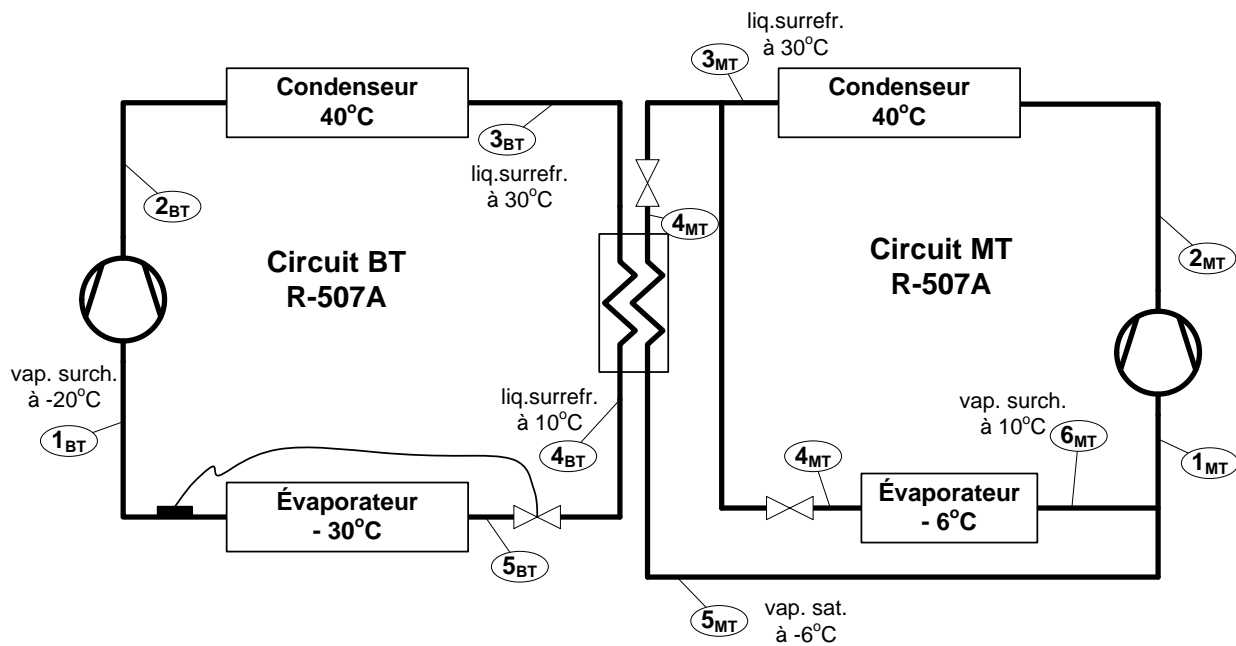
### Problème n° 4 (25 %)

Le schéma présente un système frigorifique à compression de vapeur comportant deux évaporateurs et fonctionnant avec R-507A comme le réfrigérant. La conception du système permet de réaliser la réfrigération à deux niveaux de températures ( $-30\text{ °C}$  et  $-6\text{ °C}$ ). La capacité frigorifique de l'évaporateur « **BT** » est de 200 kW. La capacité frigorifique de l'évaporateur « **MT** » est de 250 kW. Deux condenseurs fonctionnent à  $40\text{ °C}$ . On admet que les chutes de pression dans les évaporateurs et dans le condenseur sont négligeables. Présentez le cycle frigorifique sur le diagramme  $p-h$  ci-joint (5%) et déterminez :

1. les débits massiques du réfrigérant ( $\dot{m}_{BT}$ ,  $\dot{m}_{5MT}$ ,  $\dot{m}_{6MT}$ ,  $\dot{m}_{1MT}$ ) en kg/s (6%);
2. les puissances des compresseurs (4%);
3. le coefficient de performance COP (4%);

Supposons qu'il n'y a pas de sous-refroidisseur, donc le liquide à l'état 3<sub>BT</sub> entre dans la valve de détente du circuit BT. On obtient ainsi deux circuits (BT et MT) modifiés ayant les capacités d'évaporateur les mêmes qu'avant la modification. Déterminez :

4. les nouvelles puissances des compresseurs dans le circuit BT et MT ainsi que le COP total de ces deux circuits (6%).



### Problème n° 5 (15 %)

La figure présente les caractéristiques du ventilateur desservant un système à débit constant. Les conditions d'opération de design sont les suivantes :

Débit du ventilateur	20 000 pcm (9.0 m <sup>3</sup> /s)
Vitesse de rotation du ventilateur	1800 rpm

L'air soufflé (100% d'air extérieur) est chauffé par le serpentin électrique jusqu'à la température de 18 °C (64.4 °F). Il est fourni aux corridors d'un bâtiment d'habitation 24/24 par jour.

On propose au gestionnaire de ce bâtiment de réduire le débit d'air jusqu'à 50 % du débit actuel pendant les nuits (23 h to 6 h 00). Deux scénarios sont envisagés :

- A. utilisation des registres d'étranglement (Discharge Damper) dont le coût d'installation est de 2000 \$;
- B. utilisation d'un variateur de vitesse dont le coût d'installation est de 3000 \$.

Déterminez, pour deux scénarios ci-dessus, les baisses de consommation d'énergie :

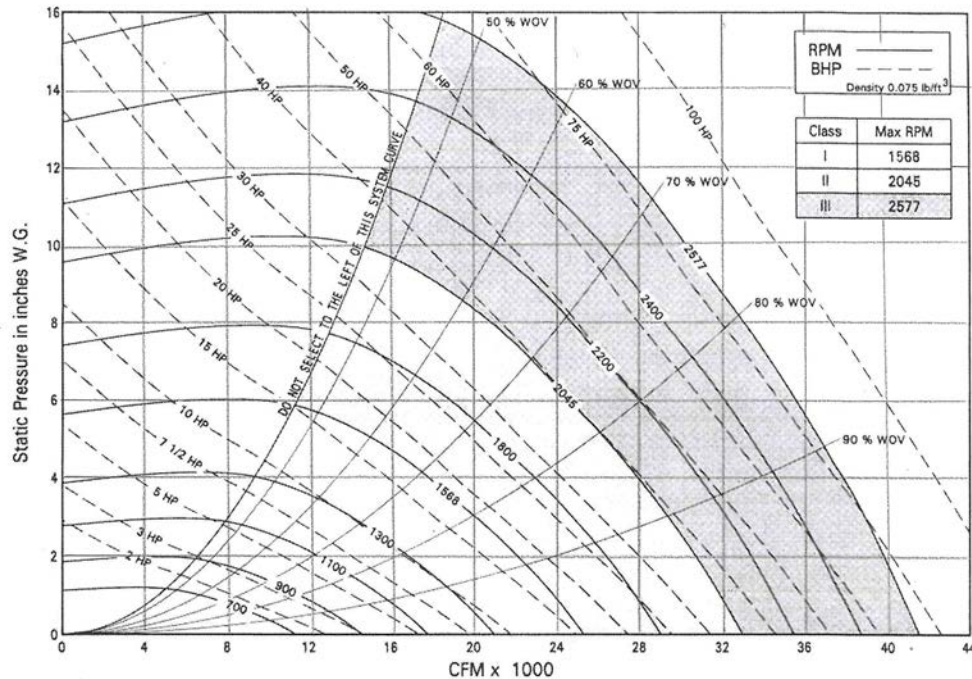
- du ventilateur dû au changement proposé du débit air ( $2 \times 4.5 \%$ );
- du serpentin électrique utilisé pour le chauffage de l'air soufflé dû au changement proposé du débit d'air ( $2 \times 3 \%$ );

Les données à appliquer sont les suivantes :

- degrés-jours de chauffage (la base de  $18^\circ\text{C}$  ( $64.4^\circ\text{F}$ )) enregistrés entre 23 h 00 à 6 h 00 sont de 2060 ( $\text{J}^\circ\text{C}$ ) ou 3708 ( $\text{J}^\circ\text{F}$ ).
- densité d'air  $1.2 \text{ kg/m}^3$
- chaleur spécifique de l'air  $1.0 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
- prix moyenne de kWh  $6.5\text{¢}$

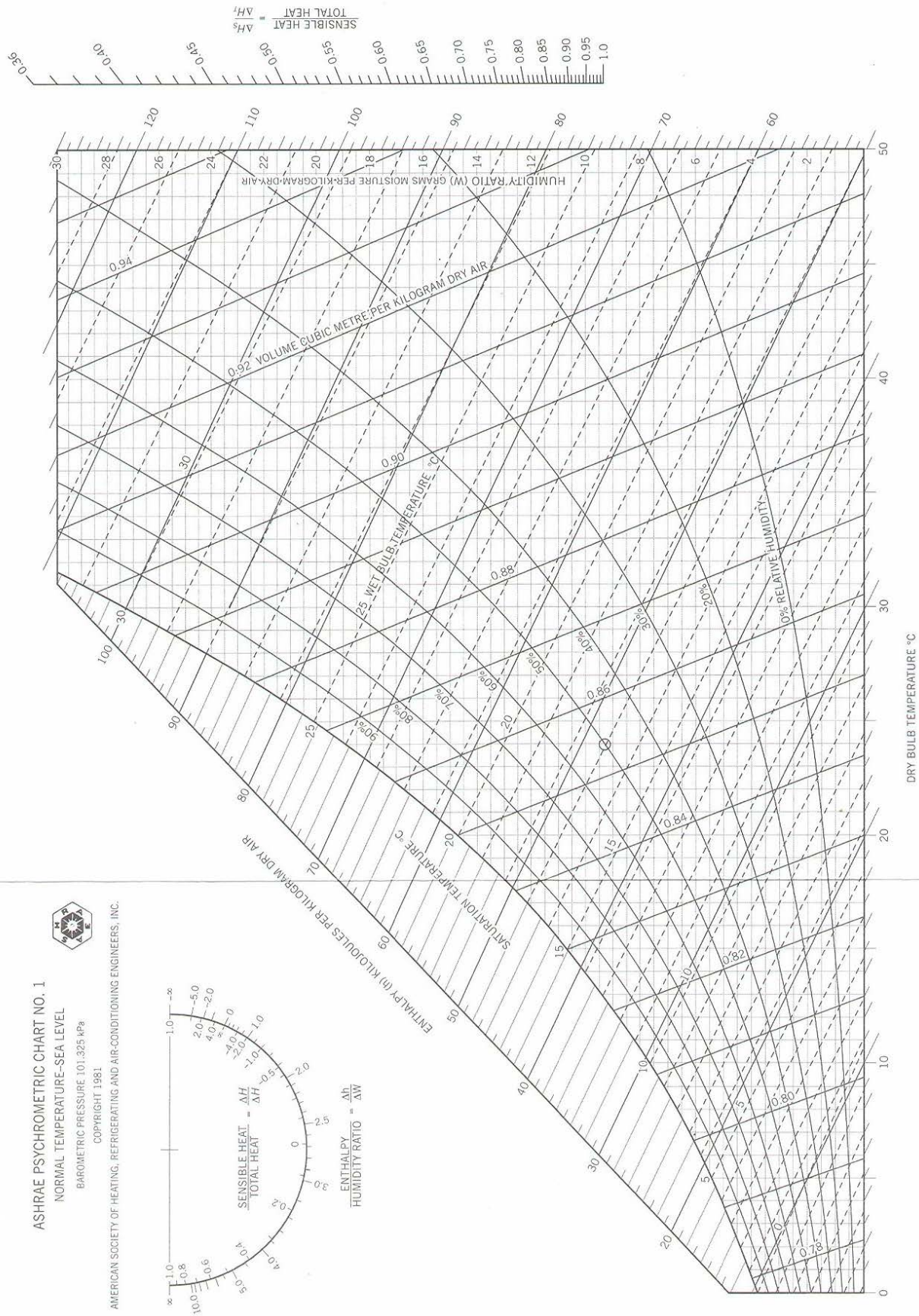
$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 2119 \text{ pcm}$$

$$1 \text{ HP} = 0.746 \text{ kW}$$



**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.





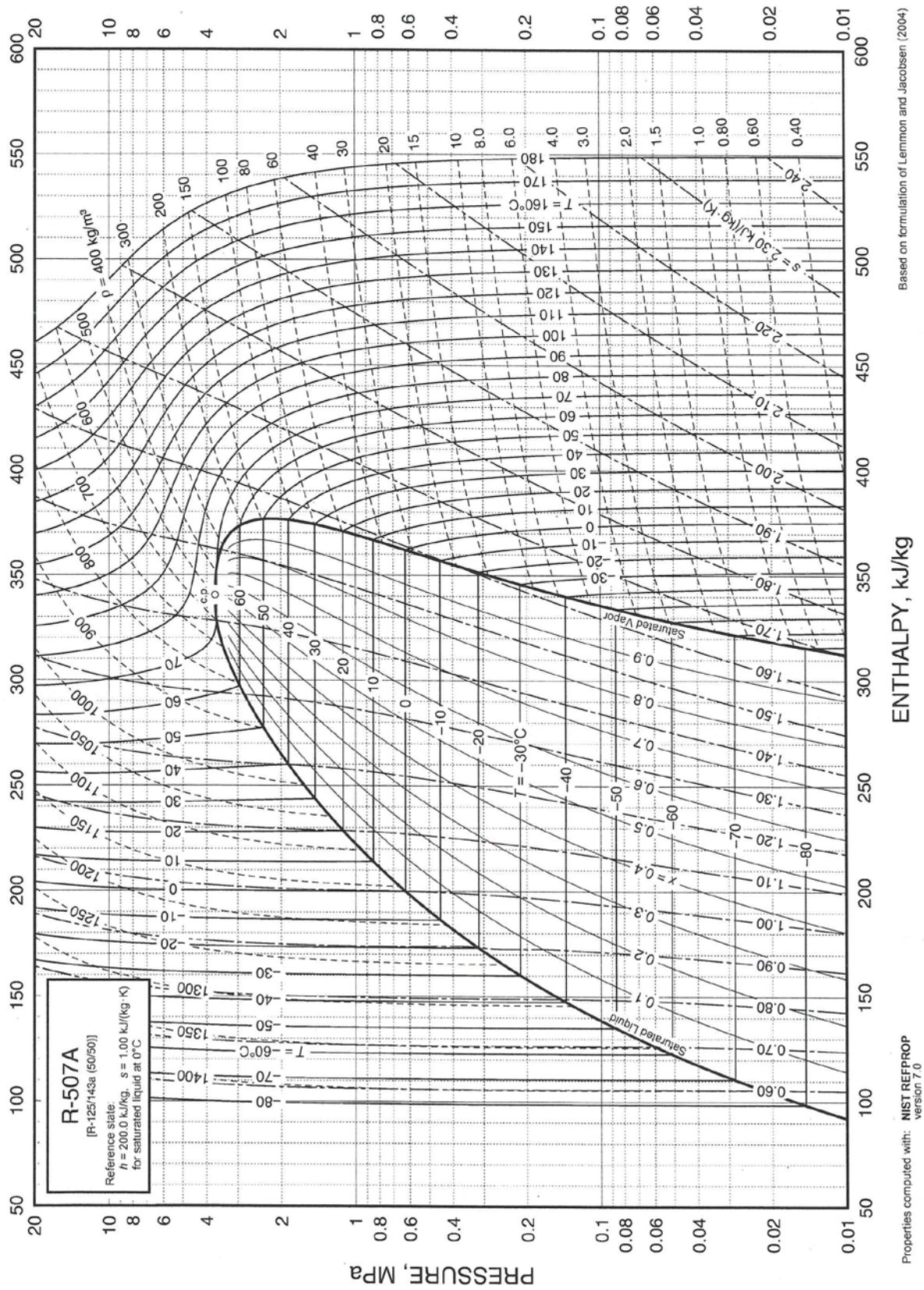


Fig. 15 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 507A

Refrigerant 507A [R-125/143<sup>a</sup> (50/50)] Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp.,* °C	Pres- sure,** MPa	Density, kg/m <sup>3</sup> Liquid	Volume, m <sup>3</sup> /kg Vapor	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat <i>c<sub>p</sub></i> , kJ/(kg·K)		<i>c<sub>p</sub></i> / <i>c<sub>v</sub></i>	Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp.,* °C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-100	0.00295	1476.9	4.92920	74.41	303.90	0.4323	1.7579	1.219	0.618	1.164	1046	129.6	—	—	124.6	5.77	18.35	-100
-95	0.00458	1461.7	3.25360	80.48	306.85	0.4669	1.7377	1.210	0.631	1.162	1000	131.2	784.2	7.29	121.7	6.06	17.88	-95
-90	0.00693	1446.8	2.20850	86.51	309.83	0.5003	1.7197	1.205	0.644	1.161	960	132.6	701.5	7.49	118.8	6.36	17.41	-90
-85	0.01019	1431.9	1.53750	92.53	312.83	0.5327	1.7036	1.203	0.658	1.159	925	134.0	631.9	7.68	116.1	6.67	16.92	-85
-80	0.01464	1417.1	1.09510	98.54	315.85	0.5642	1.6893	1.203	0.672	1.159	892	135.4	572.7	7.88	113.4	6.99	16.43	-80
-75	0.02058	1402.3	0.79638	104.57	318.88	0.5950	1.6766	1.205	0.686	1.158	862	136.6	521.7	8.07	110.8	7.31	15.92	-75
-70	0.02836	1387.4	0.59012	110.60	321.92	0.6250	1.6652	1.208	0.701	1.158	833	137.8	477.4	8.27	108.2	7.63	15.40	-70
-65	0.03837	1372.5	0.44482	116.66	324.96	0.6545	1.6552	1.213	0.716	1.159	806	138.9	438.5	8.46	105.7	7.96	14.88	-65
-60	0.05105	1357.4	0.34056	122.74	328.00	0.6833	1.6463	1.220	0.732	1.160	779	139.8	404.3	8.65	103.2	8.30	14.34	-60
-55	0.06688	1342.3	0.26444	128.87	331.03	0.7116	1.6384	1.227	0.749	1.161	754	140.7	373.8	8.84	100.8	8.65	13.80	-55
-50	0.08638	1326.9	0.20801	135.03	334.05	0.7395	1.6314	1.235	0.766	1.164	729	141.4	346.5	9.02	98.4	9.00	13.24	-50
-48	0.09533	1320.7	0.18960	137.51	335.25	0.7505	1.6288	1.239	0.773	1.165	719	141.6	336.4	9.10	97.4	9.14	13.02	-48
-46.74 <sup>b</sup>	0.10132	1316.8	0.17902	139.07	336.01	0.7574	1.6273	1.241	0.777	1.166	713	141.8	330.2	9.15	96.8	9.23	12.88	-46.74
-46	0.10499	1314.5	0.17313	139.99	336.45	0.7615	1.6264	1.243	0.780	1.166	709	141.9	326.7	9.17	96.5	9.28	12.80	-46
-44	0.11541	1308.2	0.15836	142.48	337.65	0.7724	1.6241	1.247	0.787	1.167	699	142.1	317.4	9.25	95.5	9.42	12.57	-44
-42	0.12662	1301.9	0.14510	144.99	338.84	0.7832	1.6219	1.251	0.795	1.169	690	142.3	308.4	9.32	94.6	9.57	12.34	-42
-40	0.13867	1295.6	0.13317	147.49	340.03	0.7940	1.6198	1.255	0.803	1.170	680	142.5	299.8	9.40	93.7	9.71	12.12	-40
-38	0.15159	1289.2	0.12240	150.01	341.21	0.8047	1.6178	1.259	0.810	1.172	670	142.6	291.4	9.47	92.7	9.86	11.89	-38
-36	0.16542	1282.8	0.11268	152.54	342.38	0.8153	1.6159	1.264	0.818	1.174	661	142.7	283.4	9.55	91.8	10.01	11.66	-36
-34	0.18022	1276.3	0.10388	155.08	343.55	0.8260	1.6141	1.269	0.826	1.176	651	142.8	275.7	9.62	90.9	10.16	11.42	-34
-32	0.19602	1269.7	0.09590	157.63	344.72	0.8365	1.6123	1.274	0.835	1.178	642	142.9	268.3	9.70	90.0	10.31	11.19	-32
-30	0.21287	1263.2	0.08865	160.18	345.88	0.8470	1.6107	1.279	0.843	1.180	632	142.9	261.1	9.77	89.1	10.46	10.96	-30
-28	0.23081	1256.5	0.08205	162.75	347.03	0.8575	1.6092	1.284	0.852	1.183	622	143.0	254.1	9.85	88.2	10.61	10.72	-28
-26	0.24989	1249.8	0.07604	165.33	348.17	0.8679	1.6077	1.289	0.861	1.186	613	143.0	247.4	9.93	87.3	10.77	10.49	-26
-24	0.27016	1243.1	0.07055	167.92	349.30	0.8783	1.6063	1.295	0.870	1.188	603	142.9	240.9	10.00	86.5	10.93	10.25	-24
-22	0.29167	1236.3	0.06553	170.52	350.43	0.8886	1.6049	1.301	0.879	1.191	594	142.9	234.5	10.08	85.6	11.08	10.02	-22
-20	0.31446	1229.4	0.06094	173.13	351.54	0.8989	1.6037	1.307	0.888	1.195	584	142.8	228.4	10.15	84.7	11.24	9.78	-20
-18	0.33858	1222.5	0.05673	175.76	352.65	0.9091	1.6024	1.313	0.898	1.198	575	142.7	222.5	10.23	83.8	11.40	9.54	-18
-16	0.36408	1215.4	0.05286	178.39	353.75	0.9193	1.6013	1.319	0.908	1.202	566	142.5	216.8	10.31	83.0	11.56	9.30	-16
-14	0.39102	1208.4	0.04931	181.04	354.83	0.9295	1.6001	1.326	0.918	1.206	556	142.3	211.2	10.39	82.1	11.73	9.06	-14
-12	0.41945	1201.2	0.04603	183.71	355.91	0.9397	1.5991	1.333	0.929	1.210	547	142.1	205.7	10.47	81.2	11.89	8.82	-12
-10	0.44941	1193.9	0.04301	186.39	356.97	0.9498	1.5980	1.340	0.940	1.214	537	141.9	200.5	10.55	80.4	12.06	8.58	-10
-8	0.48096	1186.6	0.04023	189.08	358.02	0.9599	1.5971	1.348	0.951	1.219	528	141.6	195.3	10.63	79.5	12.23	8.34	-8
-6	0.51416	1179.2	0.03765	191.78	359.06	0.9699	1.5961	1.355	0.962	1.224	518	141.3	190.3	10.71	78.7	12.41	8.10	-6
-4	0.54906	1171.7	0.03527	194.51	360.08	0.9800	1.5952	1.363	0.974	1.230	508	141.0	185.5	10.79	77.8	12.58	7.86	-4
-2	0.58571	1164.0	0.03306	197.25	361.08	0.9900	1.5943	1.372	0.987	1.236	499	140.6	180.7	10.88	77.0	12.76	7.62	-2
0	0.62417	1156.3	0.03101	200.00	362.07	1.0000	1.5934	1.381	0.999	1.242	489	140.2	176.1	10.97	76.2	12.96	7.37	0
2	0.66450	1148.5	0.02910	202.77	363.05	1.0100	1.5925	1.390	1.012	1.249	480	139.8	171.6	11.05	75.3	13.16	7.13	2
4	0.70676	1140.5	0.02733	205.56	364.00	1.0199	1.5917	1.399	1.026	1.256	470	139.3	167.2	11.14	74.5	13.36	6.89	4
6	0.75099	1132.4	0.02568	208.37	364.94	1.0299	1.5908	1.410	1.040	1.264	460	138.8	162.9	11.23	73.7	13.57	6.65	6
8	0.79728	1124.2	0.02415	211.20	365.85	1.0398	1.5900	1.420	1.055	1.272	451	138.2	158.7	11.33	72.8	13.79	6.41	8
10	0.84566	1115.9	0.02271	214.04	366.75	1.0498	1.5891	1.431	1.071	1.282	441	137.6	154.5	11.43	72.0	14.01	6.17	10
12	0.89622	1107.4	0.02138	216.91	367.61	1.0597	1.5883	1.443	1.088	1.291	431	137.0	150.5	11.52	71.2	14.24	5.93	12
14	0.94900	1098.7	0.02012	219.80	368.46	1.0696	1.5874	1.455	1.105	1.302	422	136.3	146.6	11.63	70.4	14.49	5.69	14
16	1.00410	1089.9	0.01895	222.71	369.28	1.0796	1.5865	1.468	1.124	1.314	412	135.6	142.7	11.73	69.6	14.75	5.45	16
18	1.06150	1080.9	0.01785	225.65	370.07	1.0895	1.5856	1.482	1.144	1.327	402	134.9	138.9	11.86	68.8	15.01	5.21	18
20	1.12140	1071.7	0.01683	228.61	370.83	1.0995	1.5846	1.497	1.165	1.341	392	134.1	135.1	11.97	67.9	15.29	4.97	20
22	1.18370	1062.4	0.01586	231.60	371.55	1.1094	1.5836	1.513	1.188	1.356	382	133.2	131.5	12.09	67.1	15.58	4.74	22
24	1.24860	1052.8	0.01495	234.61	372.25	1.1194	1.5826	1.530	1.212	1.372	372	132.3	127.9	12.22	66.3	15.89	4.50	24
26	1.31610	1043.0	0.01410	237.66	372.91	1.1294	1.5815	1.548	1.239	1.391	362	131.4	124.3	12.35	65.5	16.21	4.27	26
28	1.38640	1032.9	0.01329	240.73	373.52	1.1394	1.5804	1.568	1.268	1.411	352	130.4	120.8	12.48	64.7	16.54	4.04	28
30	1.45940	1022.6	0.01253	243.84	374.10	1.1495	1.5792	1.589	1.299	1.433	341	129.3	117.4	12.62	63.9	16.90	3.81	30
32	1.53520	1011.9	0.01182	246.98	374.63	1.1595	1.5779	1.612	1.333	1.458	331	128.2	114.0	12.77	63.1	17.28	3.58	32
34	1.61400	1001.0																