

## ESAMI DI STATO - I SESSIONE 1998

### Ingegneria CHIMICA - TEMA n. 1

Una salamoia da impiegarsi in un impianto cloro-soda, viene concentrata in un impianto di termocompressione equipaggiato con un evaporatore standard a tubi verticali, con un compressore meccanico e con un desurriscaldatore alimentato ad acqua demineralizzata; nell'impianto è pure previsto un recupero termico attraverso un preriscaldatore dell'alimentazione.

Lo schema di flusso dell'impianto è riportato nel foglio che segue; a seconda delle condizioni operative, il sistema può lavorare sia con spillamento di parte del vapore prodotto (il flusso spillato non viene pertanto inviato al compressore) sia con integrazione di vapore vivo (in questo caso tutto il vapore prodotto dall'evaporatore viene alimentato al compressore).

Assumendo che la fluidodinamica entro l'evaporatore lato salamoia sia equivalente a quella di un sistema perfettamente miscelato, determinare:

- la pressione di mandata del compressore alla quale non si ha nè spillamento di parte del vapore prodotto dall'evaporatore, nè integrazione con vapore vivo;
- la pressione ottimale di mandata del compressore per cui risultano minimi i costi complessivi di installazione e di gestione dell'impianto.

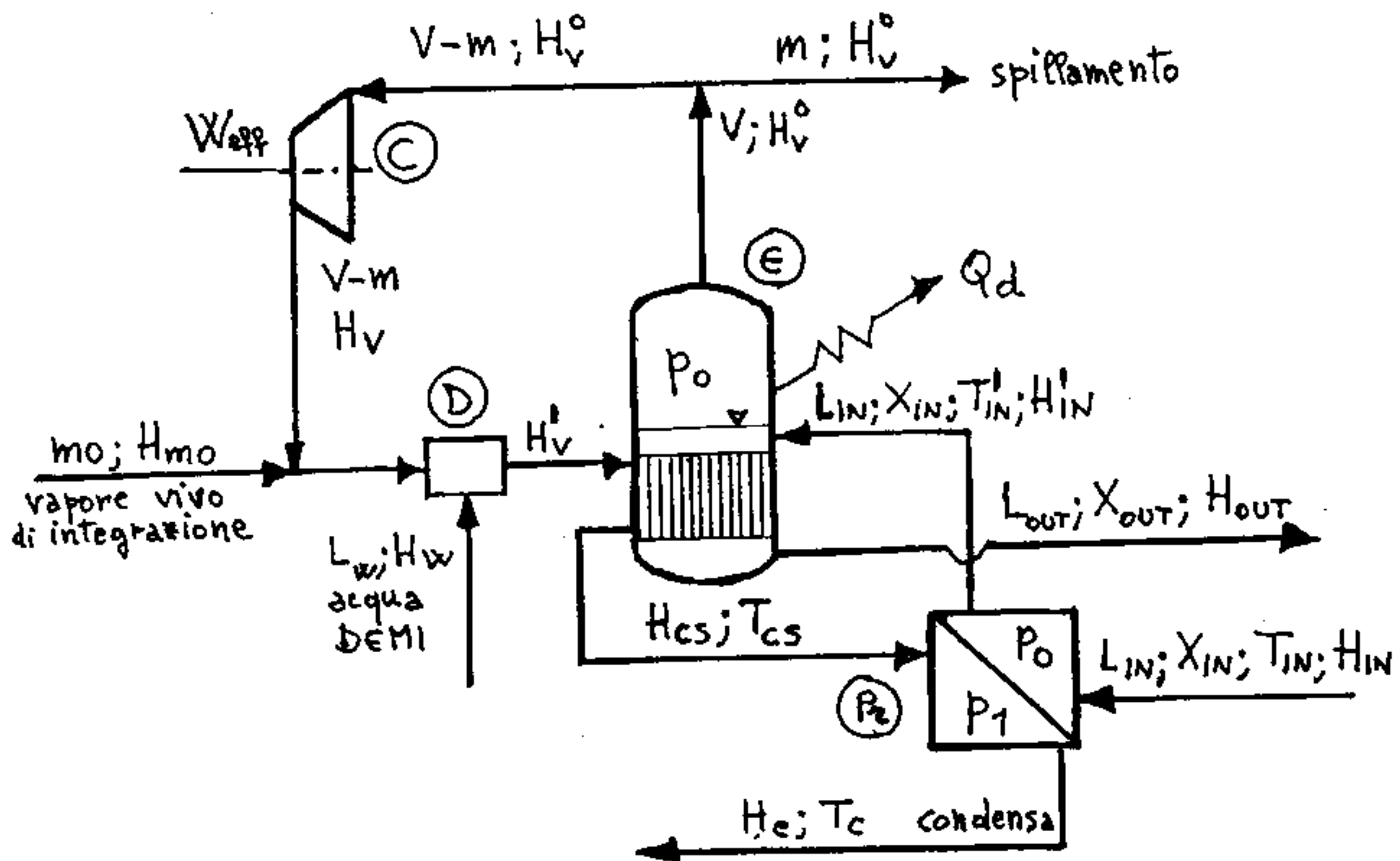
#### DATI

- portata di alimentazione della salamoia:  $L_{in} = 15.000 \text{ kg/h}$  alla temperatura di  $20^\circ\text{C}$
- concentrazione in ingresso:  $X_{in} = 3 \%$  in peso; calore specifico:  $4.06 \text{ kJ/kg/K}$
- concentrazione in uscita:  $X_{out} = 25\%$  in peso; calore specifico:  $3.35 \text{ kJ/kg/K}$
- innalzamento ebullioscopico alle condizioni di scarico:  $7^\circ\text{C}$
- pressione nell'evaporatore lato salamoia:  $1 \text{ atm,a}$
- temperatura dell'acqua demineralizzata al desurriscaldatore:  $20^\circ\text{C}$
- pressione del vapore vivo saturo per l'integrazione all'evaporatore:  $4.5 \text{ atm,a}$
- calore perso dal sistema:  $Q_d = 140 \text{ kW}$
- temperatura di uscita della condensa dal preriscaldatore:  $40^\circ\text{C}$
- coefficiente globale di scambio termico nel preriscaldatore:  $U_{pr} = 0.7 \text{ kW/mq/K}$ , costante al variare delle condizioni operative
- coefficiente globale di scambio termico nell'evaporatore:  $U_e = 0.465 + 0.07 \cdot \Delta T_{eff}$  [kW/mq/K] dove  $\Delta T_{eff}$  in [K], è la forza spingente disponibile
- efficienza del compressore meccanico:  $0.65$
- efficienza del motore elettrico di comando del compressore:  $0.9$
- costo dell'evaporatore installato (realizzato in inox), comprensivo del preriscaldatore e degli accessori:  $520.000 \text{ £/mq}$  riferito alla superficie di scambio termico
- costo del compressore completo installato:  $C_c = (a + b \cdot \ln P_o) \cdot (V/V_o)^{0.6}$  [ML] ove:  $a = 33.14$ ;  $b = 117.1$ ;  $P_o =$  pressione mandata [atm,a];  $V =$  portata di vapore da comprimere [kg/h];  $V_o = 9.600 \text{ kg/h}$ , portata di vapore compresso di riferimento
- costo complessivo dell'energia elettrica:  $135 \text{ £/kWh}$
- costo di produzione dell'acqua demineralizzata:  $5 \text{ £/kg}$
- costo del vapore vivo di integrazione:  $11 \text{ £/kg}$
- numero medio di ore lavorative annue:  $8.000 \text{ ore/anno}$
- numero anni di ammortamento:  $4$  anni per il compressore;  $5$  anni per l'evaporatore
- tasso costante di interesse annuo a copertura del rischio di investimento:  $12\%/anno$ .

ALLEGATI:

- diagramma di Mollier del vapore
- tabelle del vapore saturo

TEMA n.1 - SCHEMA di FLUSSO



- C = compressore meccanico
- D = desurriscaldatore
- E = evaporatore
- P<sub>2</sub> = preriscaldatore

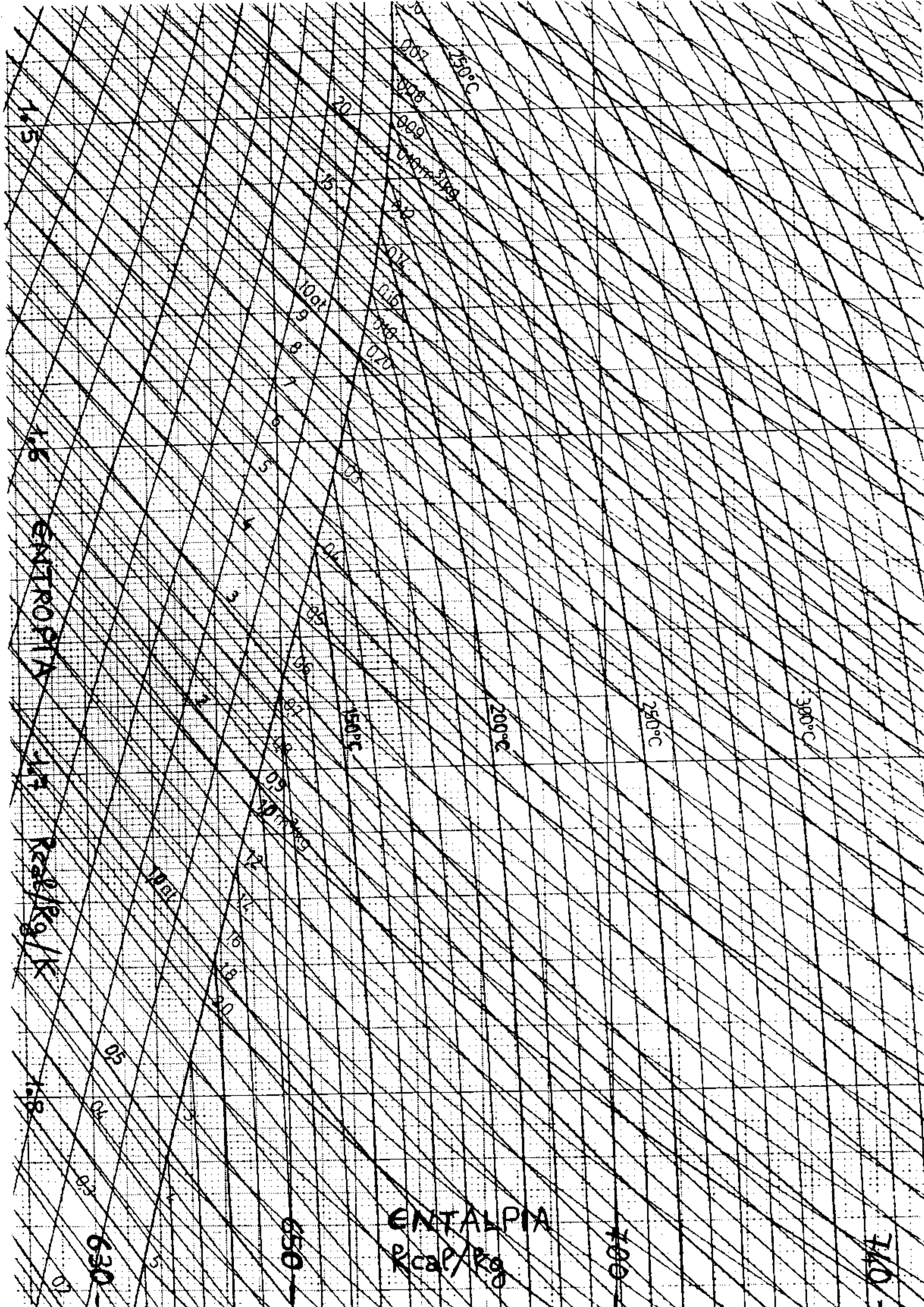


TABLEAU 39-3

**Propriétés de la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) saturée**  
(à différentes températures)

Température		Pression		Masse volumique		Volume spécifique		Enthalpie spécifique				Chaleur de vaporisation		Entropie spécifique			
t	T	p		liquide	vapeur	liquide	vapeur	liquide		vapeur		l - h' - h''		liquide		vapeur	
°C	°K	kgf/cm <sup>2</sup>	N/cm <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg°K	kJ/kg°K	kcal/kg°K	kJ/kg°K
81	354,15	0,5028	4,930784	971,16	0,3047	0,0010297	3,282	81,00	339,131	631,7	2644,802	550,7	2305,671	0,2597	1,0873	1,8147	7,5978
82	355,15	0,5234	5,132801	970,50	0,3164	0,0010304	3,161	82,01	343,359	632,1	2646,476	550,1	2303,159	0,2625	1,0990	1,8115	7,5844
83	356,15	0,5447	5,341682	969,93	0,3284	0,0010310	3,045	83,01	347,546	632,5	2648,151	549,5	2300,647	0,2653	1,1108	1,8082	7,5706
84	357,15	0,5667	5,557429	969,27	0,3408	0,0010317	2,934	84,01	351,733	632,9	2649,826	548,9	2298,135	0,2681	1,1225	1,8050	7,5572
85	358,15	0,5894	5,780040	968,62	0,3536	0,0010324	2,828	85,02	355,962	633,3	2651,500	548,3	2295,622	0,2709	1,1342	1,8018	7,5438
86	359,15	0,6129	6,010496	967,96	0,3667	0,0010331	2,727	86,02	360,149	633,7	2653,175	547,7	2293,110	0,2737	1,1459	1,7986	7,5304
87	360,15	0,6372	6,248797	967,31	0,3804	0,0010338	2,629	87,03	364,377	634,1	2654,850	547,1	2290,598	0,2765	1,1577	1,7955	7,5174
88	361,15	0,6623	6,494944	966,65	0,3943	0,0010345	2,536	88,03	368,564	634,4	2656,106	546,4	2287,668	0,2792	1,1690	1,7923	7,5040
89	362,15	0,6882	6,748937	966,00	0,4087	0,0010352	2,447	89,03	372,751	634,8	2657,781	545,8	2285,155	0,2820	1,1807	1,7893	7,4914
90	363,15	0,7149	7,010774	965,34	0,4235	0,0010359	2,361	90,04	376,979	635,2	2659,455	545,2	2282,643	0,2848	1,1924	1,7862	7,4785
91	364,15	0,7424	7,280457	964,69	0,4388	0,0010366	2,279	91,04	381,166	635,6	2661,130	544,6	2280,131	0,2876	1,2041	1,7832	7,4659
92	365,15	0,7710	7,560927	964,04	0,4545	0,0010373	2,200	92,05	385,395	635,9	2662,386	543,9	2277,201	0,2903	1,2154	1,7802	7,4533
93	366,15	0,8004	7,849243	963,30	0,4708	0,0010381	2,124	93,05	389,582	636,3	2664,061	543,3	2274,688	0,2931	1,2272	1,7772	7,4408
94	367,15	0,8307	8,146384	962,65	0,4873	0,0010388	2,052	94,06	393,810	636,8	2666,154	542,7	2272,176	0,2959	1,2389	1,7742	7,4282
95	368,15	0,8619	8,452352	961,91	0,5045	0,0010396	1,982	95,07	398,039	637,2	2667,829	542,1	2269,664	0,2986	1,2502	1,7712	7,4157
96	369,15	0,8942	8,769106	961,17	0,5222	0,0010404	1,915	96,07	402,226	637,6	2669,504	541,5	2267,152	0,3013	1,2615	1,7682	7,4031
97	370,15	0,9274	9,094687	960,43	0,5402	0,0010412	1,851	97,08	406,455	638,0	2671,178	540,9	2264,640	0,3041	1,2732	1,7652	7,3905
98	371,15	0,9616	9,430075	959,69	0,5590	0,0010420	1,789	98,09	410,683	638,4	2672,853	540,3	2262,128	0,3067	1,2841	1,7623	7,3784
99	372,15	0,9971	9,778211	959,05	0,5780	0,0010427	1,730	99,10	414,912	638,7	2674,109	539,6	2259,197	0,3095	1,2958	1,7595	7,3667
100	373,15	1,0332	10,13223	958,31	0,5977	0,0010435	1,673	100,10	419,099	639,1	2675,784	539,0	2256,685	0,3122	1,3071	1,7566	7,3545
101	374,15	1,0707	10,49998	957,58	0,6181	0,0010443	1,618	101,11	423,327	639,5	2677,459	538,4	2254,173	0,3149	1,3184	1,7538	7,3428
102	375,15	1,1092	10,87754	956,94	0,6386	0,0010450	1,566	102,11	427,514	639,8	2678,715	537,7	2251,242	0,3176	1,3297	1,7510	7,3311
103	376,15	1,1489	11,26686	956,21	0,6601	0,0010458	1,515	103,12	431,743	640,2	2680,389	537,1	2248,730	0,3203	1,3410	1,7482	7,3194
104	377,15	1,1898	11,66795	955,47	0,6821	0,0010466	1,466	104,13	435,971	640,5	2681,645	536,4	2245,800	0,3229	1,3519	1,7454	7,3076
105	378,15	1,2318	12,07983	954,75	0,7047	0,0010474	1,419	105,14	440,200	640,9	2683,320	535,8	2243,287	0,3256	1,3632	1,7426	7,2959
106	379,15	1,2751	12,50446	954,02	0,7278	0,0010482	1,374	106,15	444,429	641,3	2684,995	535,2	2240,775	0,3283	1,3745	1,7398	7,2842
107	380,15	1,3196	12,94086	953,29	0,7513	0,0010490	1,331	107,16	448,657	641,7	2686,670	534,5	2237,845	0,3309	1,3854	1,7370	7,2725
108	381,15	1,3654	13,39000	952,56	0,7758	0,0010498	1,289	108,17	452,886	642,1	2688,344	533,9	2235,333	0,3335	1,3963	1,7343	7,2612
109	382,15	1,4125	13,85189	951,75	0,8006	0,0010507	1,249	109,18	457,115	642,4	2689,600	533,2	2232,402	0,3362	1,4076	1,7316	7,2499
110	383,15	1,4609	14,32653	951,02	0,8264	0,0010515	1,210	110,19	461,343	642,8	2691,275	532,6	2229,890	0,3388	1,4185	1,7289	7,2386
111	384,15	1,5106	14,81393	950,30	0,8525	0,0010523	1,173	111,20	465,572	643,2	2692,950	532,0	2227,378	0,3414	1,4294	1,7262	7,2273
112	385,15	1,5618	15,31603	949,49	0,8795	0,0010532	1,137	112,21	469,801	643,5	2694,206	531,3	2224,447	0,3440	1,4403	1,7236	7,2164
113	386,15	1,6144	15,83186	948,77	0,9074	0,0010540	1,102	113,22	474,029	643,9	2695,881	530,7	2221,935	0,3467	1,4516	1,7209	7,2051
114	387,15	1,6684	16,36141	947,96	0,9354	0,0010549	1,069	114,23	478,258	644,2	2697,137	530,0	2219,004	0,3493	1,4624	1,7183	7,1942
115	388,15	1,7239	16,90568	947,15	0,9652	0,0010558	1,036	115,25	482,529	644,6	2698,811	529,4	2216,492	0,3519	1,4733	1,7157	7,1833
116	389,15	1,7809	17,46466	946,34	0,9950	0,0010567	1,005	116,26	486,757	645,0	2700,486	528,7	2213,561	0,3545	1,4842	1,7131	7,1724
117	390,15	1,8394	18,03835	945,54	1,025	0,0010576	0,9754	117,27	490,986	645,4	2702,161	528,1	2211,049	0,3571	1,4951	1,7105	7,1615
118	391,15	1,8995	18,62773	944,73	1,056	0,0010585	0,9465	118,29	495,257	645,7	2703,417	527,4	2208,118	0,3597	1,5060	1,7080	7,1511
119	392,15	1,9612	19,23280	943,93	1,089	0,0010594	0,9186	119,30	499,485	646,0	2704,673	526,7	2205,188	0,3623	1,5169	1,7054	7,1402
120	393,15	2,0245	19,85356	943,13	1,121	0,0010603	0,8917	120,30	503,672	646,4	2706,348	526,1	2202,675	0,3649	1,5278	1,7029	7,1297

1 at = 1 kgf/cm<sup>2</sup> = 98066,5 N/m<sup>2</sup> = 9,80665 N/cm<sup>2</sup> = 0,980665 bar

1 kcal = 4,1868 kJ



**Propriétés de la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) saturée**  
(à différentes températures)

Température		Pression		Masse volumique		Volume spécifique		Enthalpie spécifique				Chaleur de vaporisation		Entropie spécifique			
		$p$		liquide	vapeur	liquide	vapeur	liquide		vapeur		$h^* - h'$		liquide		vapeur	
$t$	$T$	$p$		$\rho'$	$\rho''$	$v'$	$v''$	$h'$		$h''$		$l$	$h'' - h'$	$s'$		$s''$	
°C	°K	kg/cm <sup>2</sup>	N/cm <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg·K	kJ/kg·K	kcal/kg·K	kJ/kg·K
121	394,15	2,0895	20,49100	942,33	1,155	0,0010612	0,8657	121,3	507,859	646,7	2707,604	525,4	2199,745	0,3675	1,5386	1,7005	7,1197
122	395,15	2,1561	21,14412	941,53	1,189	0,0010621	0,8407	122,3	512,046	647,0	2708,860	524,7	2196,814	0,3700	1,5491	1,6981	7,1096
123	396,15	2,2245	21,81489	940,73	1,225	0,0010630	0,8164	123,4	516,651	647,5	2710,953	524,1	2194,302	0,3726	1,5600	1,6954	7,0983
124	397,15	2,2947	22,50332	939,85	1,261	0,0010640	0,7930	124,4	520,838	647,8	2712,209	523,4	2191,371	0,3751	1,5705	1,6930	7,0883
125	398,15	2,3666	23,20842	939,06	1,298	0,0010649	0,7704	125,4	525,025	648,1	2713,465	522,7	2188,440	0,3777	1,5814	1,6905	7,0778
126	399,15	2,4404	23,93215	938,26	1,336	0,0010658	0,7486	126,4	529,222	648,4	2714,721	522,0	2185,510	0,3803	1,5922	1,6880	7,0673
127	400,15	2,5160	24,67353	937,38	1,374	0,0010668	0,7276	127,4	533,398	648,8	2716,396	521,4	2182,998	0,3828	1,6027	1,6856	7,0573
128	401,15	2,5935	25,43355	936,59	1,414	0,0010677	0,7074	128,4	537,585	649,1	2717,652	520,7	2180,067	0,3854	1,6136	1,6832	7,0472
129	402,15	2,6730	26,21318	935,72	1,453	0,0010687	0,6880	129,5	542,191	649,5	2719,327	520,0	2177,136	0,3879	1,6241	1,6808	7,0372
130	403,15	2,7544	27,01144	934,84	1,496	0,0010697	0,6683	130,5	546,377	649,8	2720,583	519,3	2174,205	0,3904	1,6345	1,6784	7,0271
131	404,15	2,8378	27,82931	933,97	1,539	0,0010707	0,6499	131,5	550,564	650,1	2721,839	518,6	2171,274	0,3929	1,6450	1,6760	7,0171
132	405,15	2,9233	28,66778	933,10	1,582	0,0010717	0,6321	132,5	554,751	650,4	2723,095	517,9	2168,344	0,3954	1,6555	1,6737	7,0074
133	406,15	3,011	29,52782	932,23	1,626	0,0010727	0,6148	133,5	558,938	650,7	2724,351	517,2	2165,413	0,3979	1,6659	1,6713	6,9974
134	407,15	3,101	30,41042	931,36	1,672	0,0010737	0,5981	134,6	563,543	651,1	2726,025	516,5	2162,482	0,4004	1,6764	1,6690	6,9878
135	408,15	3,192	31,30283	930,49	1,718	0,0010747	0,5820	135,6	567,730	651,4	2727,282	515,8	2159,551	0,4029	1,6869	1,6667	6,9781
136	409,15	3,286	32,22465	929,63	1,765	0,0010757	0,5664	136,6	571,917	651,7	2728,538	515,1	2156,621	0,4054	1,6973	1,6644	6,9685
137	410,15	3,382	33,16609	928,76	1,814	0,0010767	0,5512	137,6	576,104	652,0	2729,794	514,4	2153,690	0,4079	1,7078	1,6621	6,9589
138	411,15	3,481	34,13695	927,90	1,864	0,0010777	0,5366	138,7	580,709	652,4	2731,468	513,7	2150,759	0,4104	1,7183	1,6598	6,9493
139	412,15	3,582	35,12742	926,96	1,914	0,0010788	0,5224	139,7	584,896	652,7	2732,724	513,0	2147,828	0,4129	1,7287	1,6575	6,9396
140	413,15	3,685	36,13751	926,10	1,966	0,0010798	0,5087	140,7	589,083	653,0	2733,980	512,3	2144,898	0,4154	1,7392	1,6553	6,9304
141	414,15	3,790	37,16720	925,24	2,019	0,0010808	0,4953	141,7	593,270	653,3	2735,236	511,6	2141,967	0,4179	1,7497	1,6531	6,9212
142	415,15	3,898	38,22632	924,30	2,073	0,0010819	0,4824	142,8	597,875	653,7	2736,911	510,9	2139,036	0,4203	1,7597	1,6508	6,9116
143	416,15	4,009	39,31486	923,45	2,128	0,0010829	0,4699	143,8	602,062	654,0	2738,167	510,2	2136,105	0,4228	1,7702	1,6486	6,9024
144	417,15	4,121	40,41320	922,51	2,184	0,0010840	0,4579	144,8	606,249	654,2	2739,005	509,4	2132,756	0,4252	1,7802	1,6464	6,8931
145	418,15	4,237	41,55078	921,57	2,242	0,0010851	0,4461	145,8	610,435	654,5	2740,261	508,7	2129,825	0,4277	1,7907	1,6442	6,8839
146	419,15	4,355	42,70796	920,64	2,300	0,0010862	0,4347	146,9	615,041	654,8	2741,517	507,9	2126,476	0,4301	1,8007	1,6420	6,8747
147	420,15	4,476	43,89457	919,71	2,360	0,0010873	0,4237	147,9	619,228	655,1	2742,773	507,2	2123,545	0,4326	1,8112	1,6398	6,8655
148	421,15	4,599	45,10078	918,78	2,421	0,0010884	0,4130	148,9	623,415	655,4	2744,029	506,5	2120,614	0,4350	1,8213	1,6376	6,8563
149	422,15	4,725	46,33642	917,85	2,484	0,0010895	0,4026	150,0	628,020	655,7	2745,285	505,7	2117,265	0,4375	1,8317	1,6355	6,8475
150	423,15	4,854	47,60148	916,93	2,547	0,0010906	0,3926	151,0	632,207	656,0	2746,541	505,0	2114,334	0,4399	1,8418	1,6333	6,8383
151	424,15	4,985	48,88615	916,00	2,612	0,0010917	0,3828	152,0	636,394	656,3	2747,797	504,3	2111,403	0,4423	1,8518	1,6311	6,8291
152	425,15	5,119	50,20024	915,08	2,679	0,0010928	0,3733	153,1	640,999	656,7	2749,472	503,6	2108,472	0,4448	1,8623	1,6290	6,8203
153	426,15	5,257	51,55356	914,16	2,746	0,0010939	0,3641	154,1	645,186	657,0	2750,728	502,9	2105,542	0,4472	1,8723	1,6269	6,8115
154	427,15	5,397	52,92649	913,24	2,815	0,0010950	0,3552	155,1	649,373	657,2	2751,565	502,1	2102,192	0,4496	1,8824	1,6248	6,8027
155	428,15	5,540	54,32884	912,24	2,885	0,0010962	0,3466	156,2	653,978	657,5	2752,821	501,3	2098,843	0,4520	1,8924	1,6227	6,7939
156	429,15	5,686	55,76061	911,24	2,958	0,0010974	0,3381	157,2	658,165	657,7	2753,658	500,5	2095,493	0,4544	1,9025	1,6207	6,7855
157	430,15	5,836	57,23161	910,25	3,030	0,0010986	0,3299	158,2	662,352	657,9	2754,496	499,7	2092,144	0,4568	1,9125	1,6186	6,7768
158	431,15	5,988	58,72222	909,26	3,106	0,0010998	0,3220	159,3	666,957	658,2	2755,752	498,9	2088,795	0,4592	1,9226	1,6165	6,7680
159	432,15	6,144	60,25206	908,35	3,182	0,0011009	0,3143	160,3	671,144	658,4	2756,589	498,1	2085,445	0,4616	1,9326	1,6145	6,7596
160	433,15	6,302	61,80151	907,36	3,258	0,0011021	0,3068	161,3	675,331	658,7	2757,845	497,4	2082,514	0,4640	1,9427	1,6124	6,7508

1 at = 1 kgf/cm<sup>2</sup> = 98066,5 N/m<sup>2</sup> = 9,80665 N/cm<sup>2</sup> = 0,980665 bar

1 kcal = 4,1868 kJ

**Propriétés de la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) saturée**  
(à différentes pressions)

Pression		Température		Masse volumique		Volume spécifique		Enthalpie spécifique				Chaleur de vaporisation		Entropie spécifique			
				liquide	vapeur	liquide	vapeur	liquide		vapeur		l - h'' - h'		liquide		vapeur	
P		t	T	ρ'	ρ''	v'	v''	h'		h''		l - h'' - h'		s'		s''	
kgf/cm <sup>2</sup>	N/cm <sup>2</sup>	°C	°K	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg°K	kJ/kg°K	kcal/kg°K	kJ/kg°K
0,34	3,334261	71,57	344,72	976,85	0,2112	0,0010237	4,736	71,56	299,607	627,9	2628,892	556,3	2329,117	0,2327	0,9743	1,8465	7,7309
0,36	3,530394	72,91	346,06	976,09	0,2228	0,0010245	4,489	72,90	305,218	628,5	2631,404	555,6	2326,186	0,2365	0,9902	1,8419	7,7117
0,38	3,726527	74,19	347,34	975,32	0,2344	0,0010253	4,267	74,18	310,577	629,0	2633,497	554,8	2327,837	0,2402	1,0057	1,8375	7,6932
0,40	3,922660	75,42	348,57	974,56	0,2459	0,0010261	4,066	75,41	315,727	629,5	2635,591	554,1	2319,906	0,2438	1,0207	1,8333	7,6757
0,45	4,412993	78,27	351,42	972,86	0,2746	0,0010279	3,641	78,27	327,701	630,6	2640,196	552,3	2312,370	0,2519	1,0547	1,8237	7,6355
0,50	4,903325	80,86	354,01	971,25	0,3031	0,0010296	3,299	80,86	338,545	631,6	2644,383	550,7	2305,671	0,2592	1,0852	1,8152	7,5999
0,55	5,393658	83,25	356,40	969,74	0,3315	0,0010312	3,017	83,26	348,593	632,6	2648,570	549,3	2299,809	0,2660	1,1137	1,8074	7,5672
0,60	5,883990	85,45	358,60	968,34	0,3595	0,0010327	2,782	85,47	357,846	633,5	2652,338	548,0	2294,366	0,2722	1,1396	1,8004	7,5379
0,65	6,374323	87,51	360,66	967,02	0,3875	0,0010341	2,581	87,54	366,512	634,3	2655,687	546,8	2289,342	0,2779	1,1635	1,7939	7,5107
0,70	6,864655	89,45	362,60	965,72	0,4153	0,0010355	2,408	89,49	374,677	635,1	2659,037	545,6	2284,318	0,2833	1,1861	1,7879	7,4856
0,75	7,354988	91,27	364,42	964,51	0,4431	0,0010368	2,257	91,32	382,339	635,8	2661,967	544,5	2279,713	0,2883	1,2071	1,7824	7,4626
0,80	7,845320	92,99	366,14	963,30	0,4706	0,0010381	2,125	93,05	389,582	636,4	2664,480	543,3	2274,688	0,2931	1,2272	1,7772	7,4408
0,85	8,335653	94,62	367,77	962,19	0,4980	0,0010393	2,008	94,69	396,448	637,0	2666,992	542,3	2270,502	0,2976	1,2460	1,7723	7,4203
0,90	8,825985	96,18	369,33	961,08	0,5255	0,0010405	1,903	96,26	403,021	637,6	2669,504	541,3	2266,315	0,3018	1,2636	1,7677	7,4010
0,95	9,316318	97,66	370,81	959,97	0,5525	0,0010417	1,810	97,75	409,260	638,2	2672,016	540,4	2262,547	0,3058	1,2803	1,7633	7,3826
1,0	9,806650	99,09	372,24	958,96	0,5797	0,0010428	1,725	99,19	415,289	638,8	2674,528	539,6	2259,197	0,3097	1,2967	1,7593	7,3658
1,1	10,78732	101,76	374,91	957,12	0,6337	0,0010448	1,578	101,87	426,509	639,8	2678,715	537,9	2252,080	0,3169	1,3268	1,7517	7,3340
1,2	11,76798	104,25	377,40	955,29	0,6873	0,0010468	1,455	104,38	437,018	640,7	2682,483	536,3	2245,381	0,3236	1,3548	1,7447	7,3047
1,3	12,74865	106,56	379,71	953,56	0,7407	0,0010487	1,350	106,72	446,815	641,6	2686,251	534,9	2239,519	0,3297	1,3804	1,7382	7,2775
1,4	13,72931	108,74	381,89	951,93	0,7943	0,0010505	1,259	108,92	456,026	642,3	2689,182	533,4	2233,239	0,3355	1,4047	1,7323	7,2528
1,5	14,70998	110,79	383,94	950,39	0,8467	0,0010522	1,181	110,99	464,693	643,1	2692,531	532,1	2227,796	0,3409	1,4273	1,7268	7,2298
1,6	15,69064	112,73	385,88	948,95	0,9001	0,0010538	1,111	112,95	472,899	643,8	2695,462	530,8	2222,353	0,3460	1,4486	1,7217	7,2084
1,7	16,67131	114,57	387,72	947,51	0,9524	0,0010554	1,050	114,81	480,687	644,5	2698,393	529,7	2217,748	0,3508	1,4687	1,7168	7,1879
1,8	17,65197	116,33	389,48	946,07	1,0046	0,0010570	0,9954	116,60	488,181	645,1	2700,905	528,5	2212,724	0,3554	1,4880	1,7123	7,1691
1,9	18,63264	118,01	391,16	944,73	1,0570	0,0010585	0,9462	118,30	495,298	645,7	2703,417	527,4	2208,118	0,3597	1,5060	1,7080	7,1511
2,0	19,61330	119,62	392,77	943,40	1,109	0,0010600	0,9018	119,94	502,165	646,3	2705,929	526,4	2203,932	0,3639	1,5236	1,7039	7,1339
2,1	20,59397	121,16	394,31	942,15	1,161	0,0010614	0,8617	121,5	508,696	646,8	2708,022	525,3	2199,326	0,3679	1,5403	1,7000	7,1176
2,2	21,57463	122,65	395,80	941,00	1,212	0,0010627	0,8248	123,0	514,976	647,3	2710,116	524,3	2195,139	0,3717	1,5562	1,6963	7,1021
2,3	22,55530	124,08	397,23	939,85	1,264	0,0010640	0,7912	124,5	521,257	647,8	2712,209	523,3	2190,952	0,3754	1,5717	1,6928	7,0874
2,4	23,53596	125,46	398,61	938,70	1,315	0,0010653	0,7603	125,9	527,118	648,3	2714,302	522,4	2187,184	0,3789	1,5864	1,6894	7,0732
2,5	24,51663	126,79	399,94	937,56	1,367	0,0010666	0,7318	127,2	532,561	648,7	2715,977	521,5	2183,416	0,3822	1,6002	1,6862	7,0598
2,6	25,49729	128,08	401,23	936,50	1,417	0,0010678	0,7055	128,5	538,004	649,2	2718,071	520,7	2180,067	0,3855	1,6140	1,6830	7,0464
2,7	26,47796	129,34	402,49	935,37	1,469	0,0010691	0,6808	129,8	543,447	649,6	2719,745	519,8	2176,299	0,3887	1,6274	1,6800	7,0338
2,8	27,45862	130,55	403,70	934,32	1,520	0,0010703	0,6581	131,1	548,889	650,0	2721,420	518,9	2172,531	0,3918	1,6404	1,6771	7,0217
2,9	28,43929	131,73	404,88	933,36	1,570	0,0010714	0,6368	132,3	553,914	650,3	2722,676	518,0	2168,762	0,3947	1,6525	1,6743	7,0100
3,0	29,41995	132,88	406,03	932,31	1,621	0,0010726	0,6169	133,4	558,519	650,7	2724,351	517,3	2165,832	0,3976	1,6647	1,6717	6,9991
3,1	30,40062	134,00	407,15	931,36	1,672	0,0010737	0,5982	134,6	563,543	651,1	2726,025	516,5	2162,482	0,4004	1,6764	1,6690	6,9878
3,2	31,38128	135,08	408,23	930,41	1,722	0,0010748	0,5807	135,7	568,149	651,4	2727,282	515,7	2159,133	0,4031	1,6877	1,6665	6,9773
3,3	32,36195	136,14	409,29	929,54	1,772	0,0010758	0,5645	136,8	572,754	651,8	2728,956	515,0	2156,202	0,4058	1,6990	1,6641	6,9673
3,4	33,34261	137,18	410,33	928,59	1,823	0,0010769	0,5486	137,8	576,941	652,1	2730,212	514,3	2153,271	0,4084	1,7099	1,6617	6,9572

1 kgf/cm<sup>2</sup> = 1 atm

TABLEAU 40-3

Propriétés de la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) saturée  
(à différentes pressions)

Pression		Température		Masse volumique		Volume spécifique		Enthalpie spécifique				Chaleur de vaporisation		Entropie spécifique			
				liquide	vapeur	liquide	vapeur	liquide		vapeur		l = h'' - h'		liquide		vapeur	
p		t	T	ρ'	ρ''	v'	v''	h'	h''	h'	h''	l	l	s'	s''	s'	s''
kg/cm <sup>2</sup>	N/cm <sup>2</sup>	°C	°K	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg·K	kJ/kg·K	kcal/kg·K	kJ/kg·K
3,5	34,32328	138,19	411,34	927,73	1,873	0,0010779	0,5338	138,9	581,547	652,4	2731,468	513,5	2149,922	0,4109	1,7204	1,6594	6,9476
3,6	35,30394	139,18	412,33	926,87	1,923	0,0010789	0,5199	139,9	585,733	652,7	2732,724	512,8	2146,991	0,4134	1,7308	1,6572	6,9384
3,7	36,28461	140,15	413,30	925,93	1,974	0,0010800	0,5066	140,9	589,920	653,0	2733,980	512,1	2144,060	0,4158	1,7409	1,6550	6,9292
3,8	37,26527	141,09	414,24	925,15	2,024	0,0010809	0,4942	141,8	593,688	653,3	2735,236	511,5	2141,548	0,4181	1,7505	1,6529	6,9204
3,9	38,24594	142,02	415,17	924,30	2,074	0,0010819	0,4822	142,8	597,875	653,6	2736,492	510,8	2138,617	0,4204	1,7601	1,6508	6,9116
4,0	39,22660	142,92	416,07	923,45	2,124	0,0010829	0,4709	143,7	601,643	653,9	2737,749	510,2	2136,105	0,4226	1,7693	1,6488	6,9032
4,1	40,20727	143,81	416,96	922,68	2,173	0,0010838	0,4601	144,6	605,411	654,1	2738,586	509,5	2133,175	0,4248	1,7786	1,6468	6,8948
4,2	41,18793	144,68	417,83	921,91	2,223	0,0010847	0,4498	145,5	609,179	654,4	2739,842	508,9	2130,663	0,4269	1,7873	1,6449	6,8869
4,3	42,16860	145,54	418,69	921,06	2,273	0,0010857	0,4399	146,4	612,948	654,7	2741,098	508,3	2128,150	0,4290	1,7961	1,6430	6,8789
4,4	43,14926	146,38	419,53	920,30	2,323	0,0010866	0,4305	147,3	616,716	654,9	2741,935	507,6	2125,220	0,4311	1,8049	1,6412	6,8714
4,5	44,12993	147,20	420,35	919,54	2,373	0,0010875	0,4215	148,1	620,065	655,2	2743,191	507,1	2123,126	0,4331	1,8133	1,6394	6,8638
4,6	45,11059	148,01	421,16	918,78	2,422	0,0010884	0,4129	149,0	623,833	655,4	2744,029	506,5	2120,614	0,4351	1,8217	1,6376	6,8563
4,7	46,09126	148,81	421,96	918,02	2,472	0,0010893	0,4045	149,8	627,183	655,6	2744,866	505,8	2117,683	0,4370	1,8296	1,6359	6,8492
4,8	47,07192	149,59	422,74	917,26	2,521	0,0010902	0,3966	150,6	630,532	655,9	2746,122	505,3	2115,590	0,4389	1,8376	1,6342	6,8421
4,9	48,05259	150,36	423,51	916,59	2,571	0,0010910	0,3890	151,4	633,882	656,1	2746,959	504,7	2113,078	0,4408	1,8455	1,6325	6,8350
5,0	49,03325	151,11	424,26	915,92	2,620	0,0010918	0,3817	152,1	636,812	656,3	2747,797	504,2	2110,985	0,4426	1,8531	1,6309	6,8283
5,2	50,99458	152,59	425,74	914,49	2,718	0,0010935	0,3679	153,7	643,511	656,7	2749,472	503,0	2105,960	0,4462	1,8622	1,6278	6,8153
5,4	52,95591	154,02	427,17	913,16	2,817	0,0010951	0,3550	155,1	649,373	657,1	2751,146	502,0	2101,774	0,4496	1,8824	1,6248	6,8027
5,6	54,91724	155,41	428,56	911,83	2,915	0,0010967	0,3431	156,6	655,653	657,5	2752,821	500,9	2097,168	0,4530	1,8966	1,6219	6,7906
5,8	56,87857	156,76	429,91	910,50	3,013	0,0010983	0,3319	158,0	661,514	657,9	2754,496	499,9	2092,981	0,4562	1,9100	1,6191	6,7788
6,0	58,83990	158,08	431,23	909,26	3,111	0,0010998	0,3214	159,3	666,957	658,3	2756,170	498,9	2088,795	0,4594	1,9234	1,6164	6,7675
6,2	60,80123	159,36	432,51	908,02	3,209	0,0011013	0,3116	160,7	672,819	658,6	2757,426	497,9	2084,608	0,4625	1,9364	1,6137	6,7562
6,4	62,76256	160,61	433,76	906,78	3,307	0,0011028	0,3024	162,0	678,262	659,0	2759,101	497,0	2080,840	0,4655	1,9490	1,6112	6,7458
6,6	64,72389	161,82	434,97	905,55	3,404	0,0011043	0,2938	163,2	683,286	659,3	2760,357	496,1	2077,071	0,4683	1,9607	1,6087	6,7353
6,8	66,68522	163,01	436,16	904,40	3,501	0,0011057	0,2856	164,5	688,729	659,6	2761,613	495,1	2072,885	0,4712	1,9728	1,6063	6,7253
7,0	68,64655	164,17	437,32	903,26	3,600	0,0011071	0,2778	165,7	693,753	659,9	2762,869	494,2	2069,117	0,4738	1,9837	1,6039	6,7152
7,2	70,60788	165,31	438,46	902,12	3,697	0,0011085	0,2705	166,9	698,777	660,2	2764,125	493,3	2065,348	0,4766	1,9954	1,6016	6,7056
7,4	72,56921	166,42	439,57	900,98	3,794	0,0011099	0,2636	168,0	703,382	660,4	2764,963	492,4	2061,580	0,4793	2,0067	1,5994	6,6964
7,6	74,53054	167,51	440,66	899,85	3,891	0,0011113	0,2570	169,2	708,407	660,7	2766,219	491,5	2057,812	0,4818	2,0172	1,5972	6,6872
7,8	76,49187	168,57	441,72	898,80	3,989	0,0011126	0,2507	170,3	713,012	661,0	2767,475	490,7	2054,463	0,4843	2,0277	1,5951	6,6784
8,0	78,45320	169,61	442,76	897,75	4,085	0,0011139	0,2448	171,4	717,618	661,2	2768,312	489,8	2050,695	0,4868	2,0381	1,5931	6,6700
8,2	80,41453	170,63	443,78	896,70	4,182	0,0011152	0,2391	172,4	721,804	661,4	2769,150	489,0	2047,345	0,4892	2,0482	1,5911	6,6616
8,4	82,37586	171,63	444,78	895,66	4,279	0,0011165	0,2337	173,4	725,991	661,7	2770,406	488,3	2044,414	0,4915	2,0578	1,5891	6,6532
8,6	84,33719	172,61	445,76	894,69	4,375	0,0011177	0,2286	174,5	730,597	661,9	2771,243	487,4	2040,646	0,4938	2,0674	1,5872	6,6453
8,8	86,29852	173,58	446,73	893,73	4,472	0,0011189	0,2236	175,5	734,783	662,1	2772,080	486,6	2037,297	0,4961	2,0771	1,5853	6,6373
9,0	88,25985	174,53	447,68	892,70	4,568	0,0011202	0,2189	176,5	738,970	662,3	2772,918	485,8	2033,947	0,4983	2,0863	1,5834	6,6294
9,2	90,22118	175,46	448,61	891,74	4,664	0,0011214	0,2144	177,5	743,157	662,5	2773,755	485,0	2030,598	0,5005	2,0955	1,5816	6,6218
9,4	92,18251	176,38	449,53	890,79	4,762	0,0011226	0,2100	178,5	747,344	662,7	2774,592	484,2	2027,249	0,5026	2,1043	1,5799	6,6147
9,6	94,14384	177,28	450,43	889,84	4,859	0,0011238	0,2058	179,4	751,112	662,9	2775,430	483,5	2024,318	0,5047	2,1131	1,5782	6,6076
9,8	96,10517	178,16	451,31	888,89	4,953	0,0011250	0,2019	180,3	754,880	663,1	2776,267	482,8	2021,387	0,5067	2,1215	1,5765	6,6005