

Tables de teneur en humidité

Temp. humide en °C	Tension de vapeur en Pa	Vol. spé. cif. vapeur en m³/kg	Vol. spé. cif. air en m³/kg	Humidité relative (HR)																			
				5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
				Humidité absolue en g/kg																			
-25	63,29	1811,43	0,7023	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39
-20	103,26	1132,63	0,7165	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,63
-15	165,30	721,51	0,7308	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,36	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71	0,76	0,81	0,86	0,91	0,97	1,02
-10	259,90	467,78	0,7450	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72	0,80	0,88	0,96	1,04	1,12	1,20	1,28	1,36	1,44	1,52	1,60
-9	283,93	429,81	0,7478	0,09	0,17	0,26	0,35	0,44	0,52	0,61	0,70	0,79	0,87	0,96	1,05	1,13	1,22	1,31	1,40	1,48	1,57	1,66	1,75
-8	309,98	395,18	0,7507	0,10	0,19	0,29	0,38	0,48	0,57	0,67	0,76	0,86	0,95	1,05	1,14	1,24	1,33	1,43	1,53	1,62	1,72	1,81	1,91
-7	338,19	363,59	0,7535	0,10	0,21	0,31	0,42	0,52	0,62	0,73	0,83	0,94	1,04	1,14	1,25	1,35	1,46	1,56	1,67	1,77	1,87	1,98	2,08
-6	368,74	334,72	0,7563	0,11	0,23	0,34	0,45	0,57	0,68	0,79	0,91	1,02	1,13	1,25	1,36	1,47	1,59	1,70	1,82	1,93	2,04	2,16	2,27
-5	401,76	308,36	0,7592	0,12	0,25	0,37	0,49	0,62	0,74	0,86	0,99	1,11	1,24	1,36	1,48	1,61	1,73	1,86	1,98	2,10	2,23	2,35	2,48
-4	437,47	284,24	0,7620	0,13	0,27	0,40	0,54	0,67	0,81	0,94	1,08	1,21	1,35	1,48	1,62	1,75	1,89	2,02	2,16	2,29	2,43	2,56	2,70
-3	476,06	262,17	0,7649	0,15	0,29	0,44	0,59	0,73	0,88	1,02	1,17	1,32	1,46	1,61	1,76	1,91	2,05	2,20	2,35	2,49	2,64	2,79	2,94
-2	517,73	241,97	0,7677	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,95	1,11	1,27	1,43	1,59	1,75	1,91	2,07	2,23	2,39	2,55	2,71	2,87	3,03	3,19
-1	562,67	223,46	0,7705	0,17	0,35	0,52	0,69	0,86	1,04	1,21	1,38	1,56	1,73	1,91	2,08	2,25	2,43	2,60	2,78	2,95	3,12	3,30	3,47
0	611,15	206,49	0,7734	0,19	0,38	0,56	0,75	0,94	1,13	1,32	1,50	1,69	1,88	2,07	2,26	2,45	2,64	2,83	3,02	3,21	3,39	3,58	3,77
1	657,10	192,75	0,7762	0,20	0,40	0,61	0,81	1,01	1,21	1,41	1,62	1,82	2,02	2,23	2,43	2,63	2,84	3,04	3,24	3,45	3,65	3,86	4,06
2	706,00	180,06	0,7791	0,22	0,43	0,65	0,87	1,09	1,30	1,52	1,74	1,96	2,17	2,39	2,61	2,83	3,05	3,27	3,49	3,71	3,92	4,14	4,36
3	758,00	168,31	0,7819	0,23	0,47	0,70	0,93	1,17	1,40	1,63	1,87	2,10	2,34	2,57	2,80	3,04	3,27	3,51	3,74	3,98	4,22	4,45	4,69
4	813,50	157,40	0,7848	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,26	2,51	2,76	3,01	3,26	3,52	3,77	4,02	4,27	4,53	4,78	5,03
5	872,50	147,28	0,7876	0,27	0,54	0,80	1,07	1,34	1,61	1,88	2,15	2,42	2,69	2,96	3,23	3,50	3,77	4,04	4,31	4,59	4,86	5,13	5,40
6	935,30	137,89	0,7904	0,29	0,57	0,86	1,15	1,44	1,73	2,02	2,31	2,59	2,88	3,17	3,46	3,75	4,05	4,34	4,63	4,92	5,21	5,50	5,79
7	1 002,0	129,17	0,7933	0,31	0,62	0,92	1,23	1,54	1,85	2,16	2,47	2,78	3,09	3,40	3,71	4,02	4,34	4,65	4,96	5,27	5,59	5,90	6,21
8	1 072,8	121,08	0,7961	0,33	0,66	0,99	1,32	1,65	1,98	2,31	2,65	2,98	3,31	3,64	3,98	4,31	4,64	4,98	5,31	5,65	5,98	6,32	6,66
9	1 148,1	113,54	0,7990	0,35	0,71	1,06	1,41	1,77	2,12	2,48	2,83	3,19	3,54	3,90	4,26	4,61	4,97	5,33	5,69	6,05	6,41	6,77	7,13
10	1 228,0	106,53	0,8018	0,38	0,75	1,13	1,51	1,89	2,27	2,65	3,03	3,41	3,79	4,17	4,56	4,94	5,32	5,71	6,09	6,47	6,86	7,24	7,63
11	1 312,7	100,01	0,8046	0,40	0,81	1,21	1,62	2,02	2,43	2,83	3,24	3,65	4,06	4,46	4,87	5,28	5,69	6,10	6,51	6,93	7,34	7,75	8,16
12	1 402,6	93,93	0,8075	0,43	0,86	1,29	1,73	2,16	2,59	3,03	3,46	3,90	4,33	4,77	5,21	5,65	6,09	6,53	6,96	7,41	7,85	8,29	8,73
13	1 497,8	88,26	0,8103	0,46	0,92	1,38	1,84	2,31	2,77	3,23	3,70	4,17	4,63	5,10	5,57	6,03	6,50	6,97	7,44	7,91	8,39	8,86	9,33
14	1 498,7	88,52	0,8132	0,46	0,92	1,38	1,85	2,31	2,77	3,24	3,70	4,17	4,63	5,10	5,57	6,04	6,51	6,98	7,45	7,92	8,39	8,86	9,34
15	1 705,5	78,06	0,8160	0,52	1,05	1,57	2,10	2,63	3,16	3,69	4,22	4,75	5,28	5,81	6,35	6,88	7,42	7,95	8,49	9,03	9,57	10,10	10,60
16	1 818,4	73,46	0,8188	0,56	1,12	1,68	2,24	2,80	3,37	3,93	4,50	5,06	5,63	6,20	6,77	7,34	7,91	8,49	9,06	9,63	10,20	10,80	11,40
17	1 938,0	69,17	0,8217	0,60	1,19	1,79	2,39	2,99	3,59	4,19	4,80	5,40	6,01	6,61	7,22	7,83	8,44	9,05	9,66	10,30	10,90	11,50	12,10
18	2 064,3	65,16	0,8245	0,63	1,27	1,91	2,54	3,18	3,82	4,47	5,11	5,75	6,40	7,05	7,70	8,35	9,00	9,65	10,30	11,00	11,60	12,30	12,90
19	2 197,8	61,41	0,8274	0,68	1,35	2,03	2,71	3,39	4,07	4,76	5,44	6,13	6,82	7,51	8,20	8,89	9,59	10,30	11,00	11,70	12,40	13,10	13,80
20	2 338,8	57,91	0,8302	0,72	1,44	2,16	2,88	3,61	4,34	5,07	5,80	6,53	7,26	8,00	8,73	9,47	10,20	11,00	11,70	12,40	13,20	13,90	14,70
21	2 487,7	54,63	0,8330	0,76	1,53	2,30	3,07	3,84	4,62	5,39	6,17	6,95	7,73	8,51	9,30	10,10	10,90	11,70	12,50	13,30	14,10	14,90	15,70
22	2 644,8	51,56	0,8359	0,81	1,63	2,44	3,26	4,09	4,91	5,73	6,56	7,39	8,22	9,06	9,90	10,70	11,60	12,40	13,30	14,10	15,00	15,80	16,70
23	2 810,4	48,68	0,8387	0,86	1,73	2,60	3,47	4,34	5,22	6,10	6,98	7,86	8,75	9,64	10,50	11,40	12,30	13,20	14,10	15,00	15,90	16,80	17,70
24	2 985,1	45,99	0,8416	0,92	1,84	2,76	3,69	4,61	5,55	6,48	7,42	8,36	9,30	10,20	11,20	12,10	13,10	14,10	15,00	16,00	16,90	17,90	18,90
25	3 169,2	43,46	0,8444	0,97	1,95	2,93	3,92	4,90	5,89	6,88	7,88	8,88	9,88	10,90	11,90	12,90	13,90	14,90	16,00	17,00	18,00	19,00	20,10
26	3 363,1	41,10	0,8472	1,03	2,07	3,11	4,16	5,20	6,26	7,31	8,37	9,43	10,50	11,60	12,60	13,70	14,80	15,90	17,00	18,10	19,20	20,30	21,40
27	3 567,3	38,87	0,8501	1,10	2,20	3,30	4,41	5,52	6,64	7,76	8,88	10,00	11,10	12,30	13,40	14,60	15,70	16,90	18,00	19,20	20,40	21,50	22,70
28	3 782,2	36,79	0,8529	1,16	2,33	3,50	4,68	5,86	7,04	8,23	9,43	10,60	11,80	13,00	14,20	15,50	16,70	17,90	19,10	20,40	21,60	22,90	24,10
29	4 008,3	34,83	0,8558	1,23	2,47	3,71	4,96	6,21	7,47	8,73	10,00	11,30	12,60	13,80	15,10	16,40	17,70	19,00	20,30	21,60	23,00	24,30	25,60
30	4 246,0	32,99	0,8586	1,31	2,62	3,93	5,26	6,58	7,92	9,26	10,60	12,00	13,30	14,70	16,00	17,40	18,80	20,20	21,60	23,00	24,40	25,80	27,20
31	4 495,9	31,25	0,8614	1,38	2,77	4,17	5,57	6,98	8,39	9,81	11,20	12,70	14,10	15,60	17,00	18,50	19,90	21,40	22,90	24,40	25,90	27,40	28,90
32	4 758,5	29,63	0,8643	1,46	2,93	4,41	5,90	7,39	8,89	10,40	11,90	13,40	15,00	16,50	18,00	19,60	21,10	22,70	24,30	25,90	27,40	29,00	30,60
33	5 034,3	28,10	0,8671	1,55	3,11	4,67	6,24	7,82	9,41	11,00	12,60	14,20	15,80	17,50	19,10	20,80	22,40	24,10	25,70	27,40	29,10	30,80	32,50
34	5 323,9	26,65	0,8700	1,64	3,29	4,94	6,61	8,28	9,96	11,70	13,40	15,10	16,80	18,50	20,20	22,00	23,70	25,50	27,30	29,10	30,90	32,70	34,50
35	5 627,8	25,30	0,8728	1,73	3,47	5,23	6,99	8,76	10,50	12,30	14,10	15,90	17,80	19,60	21,40	23,30	25,20	27,00	28,90	30,80	32,70	34,60	36,60
36	5 946,6	24,02	0,8756	1,83	3,67	5,52	7,39	9,26	11,10	13,00	15,00	16,90	18,80	20,70	22,70	24,70	26,60	28,60	30,60	32,70	34,70	36,70	38,80
37	6 281,0	22,81	0,8785	1,93	3,88	5,84	7,81	9,79	11,80	13,80	15,80	17,80	19,90	22,00	24,00	26,10	28,20	30,30	32,50	34,60	36,80	38,90	41,10
38	6 631,2	21,68	0,8813	2,04	4,10	6,17	8,25	10,30	12,50	14,60	16,70	18,90	21,00	23,20	25,40	27,60	29,90	32,10	34,40	36,60	38,90	41,20	43,60

Tables de teneur en humidité

Temp. sèche en °C	Tension de vapeur en Pa	Vol. spé. cif. vapeur en m³/kg	Vol. spé. cif. air en m³/kg	Humidité relative (HR)																			
				5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
				Humidité absolue en g/kg																			
39	6 998,7	20,61	0,8842	2,16	4,33	6,51	8,71	10,90	13,20	15,40	17,70	20,00	22,20	24,60	26,90	29,20	31,60	34,00	36,40	38,80	41,20	43,70	46,10
40	7 383,5	19,59	0,8870	2,27	4,57	6,87	9,20	11,50	13,90	16,30	18,70	21,10	23,50	26,00	28,40	30,90	33,40	36,00	38,50	41,10	43,70	46,30	48,90
41	7 786,5	18,64	0,8898	2,40	4,82	7,25	9,71	12,20	14,70	17,20	19,70	22,30	24,90	27,40	30,10	32,70	35,40	38,00	40,70	43,50	46,20	49,00	51,80
42	8 208,0	17,74	0,8927	2,53	5,08	7,65	10,20	12,90	15,50	18,10	20,80	23,50	26,30	29,00	31,80	34,60	37,40	40,20	43,10	46,00	48,90	51,90	54,80
43	8 649,2	16,89	0,8955	2,67	5,35	8,07	10,80	13,60	16,30	19,20	22,00	24,80	27,70	30,60	33,60	36,50	39,50	42,50	45,60	48,70	51,80	54,90	58,00
44	9 110,7	16,08	0,8983	2,81	5,64	8,50	11,40	14,30	17,20	20,20	23,20	26,20	29,30	32,40	35,50	38,60	41,80	45,00	48,20	51,50	54,80	58,10	61,50
45	9 493,2	15,48	0,9012	2,93	5,88	8,87	11,90	14,90	18,00	21,10	24,20	27,40	30,60	33,80	37,00	40,30	43,70	47,00	50,40	53,80	57,30	60,80	64,30
46	10 097,6	14,60	0,9040	3,11	6,26	9,44	12,60	15,90	19,20	22,50	25,80	29,20	32,60	36,10	39,60	43,10	46,60	50,20	53,90	57,60	61,30	65,00	68,80
47	10 624,6	13,92	0,9069	3,28	6,59	9,94	13,30	16,70	20,20	23,70	27,20	30,80	34,40	38,10	41,80	45,50	49,30	53,10	57,00	60,90	64,80	68,80	72,90
48	11 175,1	13,28	0,9097	3,45	6,94	10,50	14,00	17,60	21,30	25,00	28,70	32,50	36,30	40,20	44,10	48,00	52,00	56,10	60,20	64,30	68,50	72,80	77,10
49	11 750,0	12,67	0,9125	3,63	7,30	11,00	14,80	18,60	22,40	26,30	30,30	34,20	38,30	42,40	46,50	50,70	54,90	59,20	63,60	68,00	72,50	77,00	81,60
50	12 349,9	12,09	0,9154	3,81	7,67	11,60	15,50	19,50	23,60	27,70	31,90	36,10	40,40	44,70	49,10	53,50	58,00	62,60	67,20	71,90	76,60	81,50	86,30
51	12 975,9	11,54	0,9182	4,01	8,07	12,20	16,30	20,60	24,90	29,20	33,60	38,00	42,60	47,10	51,80	56,50	61,20	66,10	71,00	76,00	81,00	86,20	91,40
52	13 629,0	11,02	0,9211	4,21	8,48	12,80	17,20	21,60	26,20	30,70	35,40	40,10	44,80	49,70	54,60	59,60	64,60	69,80	75,00	80,30	85,70	91,10	96,70
53	14 310,0	10,53	0,9239	4,42	8,91	13,50	18,10	22,80	27,50	32,30	37,20	42,20	47,30	52,40	57,60	62,90	68,20	73,70	79,20	84,90	90,60	96,40	102,00
54	15 020,0	10,06	0,9267	4,64	9,36	14,10	19,00	23,90	28,90	34,00	39,20	44,50	49,80	55,20	60,70	66,30	72,00	77,80	83,70	89,70	95,80	102,00	108,00
55	15 759,7	9,62	0,9296	4,87	9,83	14,90	20,00	25,20	30,40	35,80	41,30	46,80	52,40	58,20	64,00	70,00	76,00	82,10	88,40	94,80	101,00	108,00	115,00
56	16 530,4	9,20	0,9324	5,12	10,30	15,60	21,00	26,40	32,00	37,70	43,40	49,30	55,20	61,30	67,50	73,80	80,20	86,70	93,40	100,00	107,00	114,00	121,00
57	17 333,1	8,80	0,9353	5,37	10,80	16,40	22,00	27,80	33,60	39,60	45,70	51,90	58,20	64,60	71,10	77,80	84,60	91,50	98,60	106,00	113,00	121,00	128,00
58	18 169,0	8,42	0,9381	5,63	11,40	17,20	23,10	29,20	35,40	41,60	48,10	54,60	61,30	68,10	75,00	82,10	89,30	96,60	104,00	112,00	120,00	128,00	136,00
59	19 038,7	8,06	0,9409	5,90	11,90	18,00	24,30	30,70	37,20	43,80	50,50	57,40	64,50	71,70	79,00	86,50	94,20	102,00	110,00	118,00	127,00	135,00	144,00
60	19 944,0	7,72	0,9438	6,18	12,50	18,90	25,50	32,20	39,00	46,00	53,20	60,40	67,90	75,50	83,30	91,30	99,40	108,00	116,00	125,00	134,00	143,00	152,00
61	20 885,0	7,39	0,9466	6,48	13,10	19,80	26,70	33,80	41,00	48,40	55,90	63,60	71,50	79,50	87,80	96,20	105,00	114,00	123,00	132,00	142,00	151,00	161,00
62	21 864,0	7,08	0,9494	6,78	13,70	20,80	28,10	35,50	43,10	50,80	58,80	66,90	75,20	83,80	92,50	101,00	111,00	120,00	130,00	140,00	150,00	160,00	171,00
63	22 882,0	6,79	0,9523	7,10	14,40	21,80	29,40	37,20	45,20	53,40	61,80	70,40	79,20	88,20	97,50	107,00	117,00	127,00	137,00	148,00	159,00	170,00	181,00
64	23 940,0	6,51	0,9551	7,44	15,10	22,90	30,80	39,00	47,40	56,10	64,90	74,00	83,30	92,90	103,00	113,00	123,00	134,00	145,00	156,00	168,00	180,00	192,00
65	25 040,0	6,24	0,9580	7,78	15,80	23,90	32,30	41,00	49,80	58,90	68,20	77,80	87,70	97,80	108,00	119,00	130,00	142,00	153,00	165,00	178,00	191,00	204,00
66	26 180,0	5,99	0,9608	8,14	16,50	25,10	33,90	43,00	52,30	61,80	71,70	81,80	92,30	103,00	114,00	126,00	137,00	149,00	162,00	175,00	188,00	202,00	217,00
67	27 366,0	5,74	0,9636	8,51	17,30	26,30	35,50	45,00	54,80	64,90	75,30	86,10	97,10	109,00	120,00	132,00	145,00	158,00	171,00	185,00	200,00	215,00	230,00
68	28 596,0	5,51	0,9665	8,90	18,10	27,50	37,20	47,20	57,50	68,20	79,10	90,50	102,00	114,00	127,00	140,00	153,00	167,00	181,00	196,00	212,00	228,00	245,00
69	29 873,0	5,29	0,9693	9,31	18,90	28,80	39,00	49,50	60,40	71,60	83,20	95,10	108,00	120,00	134,00	147,00	162,00	177,00	192,00	208,00	225,00	242,00	260,00
70	31 198,0	5,08	0,9721	9,73	19,80	30,10	40,80	51,90	63,30	75,10	87,40	100,00	113,00	127,00	141,00	156,00	171,00	187,00	203,00	220,00	238,00	257,00	277,00
71	32 572,0	4,88	0,9750	10,20	20,70	31,50	42,70	54,40	66,40	78,90	91,80	105,00	119,00	134,00	149,00	164,00	181,00	198,00	215,00	234,00	253,00	273,00	295,00
72	33 997,0	4,69	0,9778	10,60	21,60	33,00	44,70	56,90	69,60	82,80	96,40	111,00	125,00	141,00	157,00	173,00	191,00	209,00	228,00	248,00	269,00	291,00	314,00
73	35 475,0	4,51	0,9807	11,10	22,60	34,50	46,80	59,70	73,00	86,90	101,00	116,00	132,00	148,00	165,00	183,00	202,00	221,00	242,00	264,00	286,00	310,00	335,00
74	37 006,0	4,33	0,9835	11,60	23,60	36,00	49,00	62,50	76,50	91,20	106,00	122,00	139,00	156,00	175,00	194,00	214,00	235,00	257,00	280,00	305,00	330,00	358,00
75	38 592,0	4,17	0,9863	12,10	24,60	37,70	51,30	65,50	80,20	95,70	112,00	129,00	146,00	165,00	184,00	205,00	226,00	249,00	273,00	298,00	324,00	353,00	383,00
76	40 263,0	4,01	0,9892	12,60	25,70	39,40	53,70	68,60	84,10	100,00	117,00	135,00	154,00	174,00	195,00	216,00	239,00	264,00	290,00	317,00	346,00	377,00	410,00
77	41 938,0	3,86	0,9920	13,10	26,90	41,20	56,10	71,80	88,20	105,00	123,00	142,00	162,00	183,00	205,00	229,00	254,00	280,00	308,00	338,00	369,00	403,00	439,00
78	43 700,0	3,71	0,9948	13,70	28,00	43,00	58,70	75,20	92,40	111,00	130,00	150,00	171,00	193,00	217,00	242,00	269,00	297,00	328,00	360,00	395,00	432,00	472,00
79	45 524,0	3,57	0,9977	14,30	29,30	44,90	61,40	78,70	96,90	116,00	136,00	158,00	180,00	204,00	230,00	257,00	285,00	316,00	349,00	384,00	422,00	463,00	507,00
80	47 412,0	3,44	1,0005	14,90	30,50	47,00	64,20	82,40	102,00	122,00	143,00	166,00	190,00	216,00	243,00	272,00	303,00	336,00	372,00	411,00	452,00	498,00	547,00
81	49 364,0	3,31	1,0034	15,50	31,90	49,00	67,10	86,30	106,00	128,00	151,00	175,00	200,00	228,00	257,00	288,00	322,00	358,00	397,00	440,00	486,00	536,00	591,00
82	51 384,0	3,19	1,0062	16,20	33,20	51,20	70,20	90,30	112,00	134,00	158,00	184,00	211,00	241,00	272,00	306,00	342,00	382,00	425,00	471,00	522,00	578,00	640,00
83	53 473,0	3,08	1,0090	16,90	34,70	53,50	73,40	94,50	117,00	141,00	166,00	194,00	223,00	254,00	288,00	325,00	364,00	407,00	454,00	506,00	563,00	625,00	695,00
84	55 633,0	2,97	1,0119	17,60	36,10	55,80	76,70	99,00	123,00	148,00	175,00	204,00	235,00	269,00	306,00	345,00	388,00	435,00	487,00	544,00	608,00	678,00	757,00
85	57 865,0	2,86	1,0147	18,30	37,70	58,30	80,20	104,00	129,00	155,00	184,00	215,00	249,00	285,00	324,00	367,00	414,00	466,00	523,00	587,00	658,00	738,00	828,00
86	60 171,0	2,76	1,0175	19,00	39,30	60,80	83,80	108,00	135,00	163,00	194,00	227,00	263,00	302,00	344,00								

Tableau 4-1. Guide de sélection des humidificateurs Armstrong

	Vapeur centrale disponible			Vapeur centrale non disponible		
	Pas de problème chimique avec la centrale à vapeur	Problème chimique	Vapeur d'une source DI	Eau dure Entretien minimal	Eau de ville. Prix plus critique que performances	Eau DI (unités électriques)
Système de conditionnement d'air avec traînée de condensation critique	C	D/I	C	E/I	F/I	E/I
Système de conditionnement d'air sans traînée de condensation critique	A/G	D/H/K	B/G	E/H	F/H	E/H
Décharge directe dans l'ambiance	A/J	D/J	B/J	E/J	F/J	E/J

Légende : types d'humidificateurs

- A. Humidificateur à injection directe de vapeur Série 9000
- B. Humidificateur à injection directe de vapeur Série 1000
- C. Système HumidiPack/HumidiPack Plus avec vanne de régulation, purgeur et filtre
- D. Humidificateur à vapeur secondaire Série CS-10
- E. Humidificateur électronique HumidiClean Série HC-4000
- F. Humidificateur électronique à électrodes Série EHU-700

Type de dispersion

- G. Rampe en acier inoxydable enveloppée
- H. Tube de dispersion en acier inoxydable non enveloppé
- I. Tableau de distribution HumidiPack (uniquement)
- J. Dispersion par ventilateur
- K. Tube de dispersion de vapeur enveloppé (SJDT)

Traînée de condensation critique < 90 cm

L'humidification : un rôle essentiel

Bien que l'humidité soit invisible, ses effets s'observent sans difficulté. Pour les êtres humains, une humidification adéquate apporte un surcroît de confort et permet de travailler plus efficacement. Dans des environnements commerciaux et industriels, une régulation convenable de l'humidité améliore le fonctionnement des équipements et la tenue des matériaux.

Le maintien de la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments par la maîtrise du taux d'humidité permet de réduire les coûts en énergie, d'augmenter la productivité, d'économiser des frais de main d'oeuvre et d'entretien, et de garantir la qualité des produits. En résumé, l'humidification peut améliorer la qualité de vie et les conditions de travail grâce à un milieu ambiant plus favorable.

Les présentes notes techniques actualisées vous assisteront dans la résolution des problèmes et aideront à la formation des techniciens prenant part à la conception, l'installation et l'entretien de systèmes de climatisation.

Pour toute question spécifique sur l'humidification, n'hésitez pas à vous adresser à votre représentant Devatec. Dans le cas d'applications particulières ou difficiles, une assistance supplémentaire peut être fournie par les spécialistes Devatec.

La régulation de l'humidification permet de protéger tout ce qui est sensible à l'humidité : matériaux, personnel, machines délicates ou tout autre équipement. Outre les importants problèmes de confort et de commande de processus, la régulation de l'humidité permet d'éviter les accidents dans des atmosphères explosives. Vous ne pouvez pas vous permettre de ne PAS humidifier. La meilleure protection de la valeur de vos équipements consiste à utiliser les stratégies et les solutions éprouvées de Devatec en humidification.

Références

ASHRAE Handbook, 2000 Systems and Equipment.

ASHRAE Handbook, 2002 Fundamentals.

ASHRAE Handbook, 1999 HVAC Applications.

IBM Installation Planning Manual, April, 1973.

Obert, Edward F. Thermodynamics, 1948.

Static Electricity, National Fire Protection Association. 1941.
U.S. National Bureau of Standards.

Sommaire des notes techniques sur l'humidification

Importance de l'humidification

Effet de l'humidité sur les matériaux

Détermination des besoins en humidité des matériaux

La psychrométrie et l'humidification

Fonctionnement des humidificateurs

Principes de sélection des humidificateurs à vapeur

Principes de base d'application des humidificateurs à vapeur

Principes de dimensionnement des humidificateurs à vapeur

Humidificateurs à vapeur dans les systèmes centraux

Conseils d'installation

Applications des humidificateurs en décharge directe

IMPORTANT : Cette section a pour but de résumer certains principes généraux d'installation et de fonctionnement. L'installation proprement dite et l'exploitation doivent être confiées à des techniciens expérimentés. Pour la sélection ou l'installation des équipements, vous devez toujours demander l'aide ou les conseils d'un spécialiste. Les informations présentées dans ce document ne sauraient remplacer de tels conseils. Pour plus de détails, nous vous invitons à contacter Devatec ou son représentant local.

Glossaire

Humidité relative (HR) :

Rapport entre la tension de vapeur (ou fraction molaire) de la vapeur d'eau dans l'air et la tension de vapeur (ou fraction molaire) de l'air saturé à la même température sèche et à la même pression.

Chaleur sensible :

Chaleur qui, lorsqu'elle est ajoutée ou enlevée d'un corps, entraîne un changement de température de ce dernier (un thermomètre est "sensible" à cette chaleur). Se mesure en KJ.

Chaleur latente :

Chaleur entraînant ou accompagnant un changement de phase lorsqu'elle est ajoutée ou enlevée d'une substance. Cette chaleur n'est pas perçue par un thermomètre, d'où le nom de chaleur latente ou cachée. Se mesure en kJ.

Point de rosée :

Température à laquelle se produit la condensation (100% HR) lorsque l'air est refroidi à pression constante sans ajout ou retrait de vapeur d'eau.

Refroidissement par évaporation :

Processus au cours duquel de l'eau liquide s'évapore dans l'air. Le liquide absorbe la chaleur de l'air nécessaire à son évaporation ; la température de l'air diminue donc et le taux d'humidité de l'air augmente.

Enthalpie :

Appelée également contenu calorifique, l'enthalpie est la somme de l'énergie interne et du produit volume x pression. Se mesure en kJ/kg

Matériaux hygroscopiques :

Matériaux capables d'absorber ou de libérer de l'humidité.

Phase :

Décrit l'état d'une substance : solide, liquide ou gaz (vapeur).

L'humidification consiste à ajouter de l'eau dans l'air. L'humidité a une influence considérable sur certains facteurs physiologiques et sur l'environnement : un taux d'humidité inapproprié (trop élevé ou trop faible) peut causer une gêne chez certaines personnes et endommager un grand nombre d'équipements et de matériaux. A l'inverse, un type adéquat d'équipement d'humidification et de régulation permet de maîtriser l'humidité efficacement, de façon économique et sans problème.

En considérant l'importance de l'humidité parmi d'autres caractéristiques du milieu ambiant (température, propreté, circulation de l'air et rayonnement thermique) il convient de ne pas oublier que c'est pour la perception humaine que ce facteur est le plus difficile à saisir. Nous sommes plus sensibles et nous réagissons généralement plus vite aux changements de température, aux odeurs ou aux poussières, aux courants d'air ou à la chaleur rayonnée. Comme l'humidité et ces variables sont interdépendantes, elle constitue un élément vital de la régulation de l'air ambiant.

Humidité et température

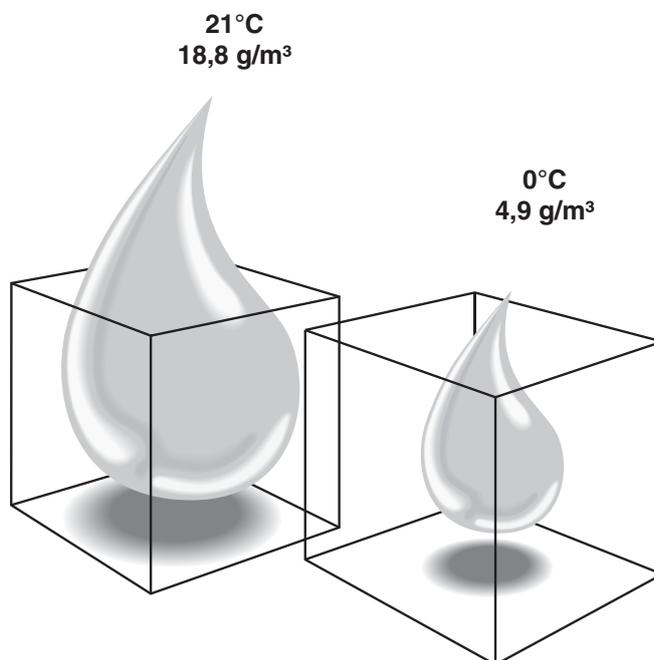
L'humidité correspond à la teneur en vapeur d'eau toujours présente dans l'air. L'humidité se définit par une mesure absolue : celle de la quantité de vapeur d'eau par quantité d'air. Cette valeur d'humidité n'indique toutefois pas dans quelle mesure l'air est sec ou humide. Cette indication s'obtient en calculant le rapport entre la pression partielle de vapeur effective et la pression partielle de vapeur saturée à la même température. Ce rapport correspond à l'humidité relative, qui s'exprime par la formule :

$$HR = \frac{vp_a}{vp_s} \Big| t$$

vp_a = pression de vapeur effective
 vp_s = pression de vapeur à la saturation
 t = température sèche

Pour des raisons pratiques, aux températures et aux pressions habituellement rencontrées dans les habitations, l'humidité relative est considérée comme étant la quantité de vapeur d'eau de l'air par rapport à la quantité maximale que l'air peut contenir à une température donnée.

"A une température donnée", telle est la clé pour comprendre la notion d'humidité relative. L'air chaud a la propriété de pouvoir contenir plus d'eau que l'air froid. Par exemple, 1 mètre cube d'air à 21°C peut contenir 18,8 g d'eau. Le même mètre cube d'air à 0°C ne contient plus que 4,9 g d'eau.



Si 1 mètre cube d'air à 0°C contient 3,6 g d'eau, son humidité relative est de 75%. Si le système de chauffage réchauffe cet air à 21°C sans apport de vapeur d'eau, il contiendra toujours 3,6 g d'eau. Toutefois, à 21°C, 1 mètre cube d'air peut contenir 18,8 g d'eau. Les 3,6 g qu'il contient effectivement lui confèrent une humidité relative d'un peu plus de 19%. Ce qui est beaucoup plus sec... que le désert du Sahara !

Circulation de l'air et humidité

Intervenant sous la forme d'infiltrations et de fuites, la circulation de l'air est une autre variable qui influence la relation entre la température et l'humidité relative. En général, l'air intérieur est remplacé par de l'air frais extérieur trois fois par heure (ou d'avantage en cas d'apport ou d'extraction forcés). Le système de chauffage réchauffe cet air extérieur humide, ce qui produit de l'air intérieur chaud et sec.

Refroidissement par évaporation

Nous venons de discuter des effets d'un changement de température sur l'humidité relative. Une modification de l'humidité relative produit également un changement de température. Par kilogramme d'eau évaporée dans l'air, la chaleur de vaporisation réduit la chaleur sensible de l'air d'environ 2 320 kJ. Cette eau peut provenir des personnes, du bois, du papier, des textiles ou d'autres matériaux hygroscopiques du bâtiment. En revanche, si les matériaux hygroscopiques absorbent une partie de l'eau de l'air humide, la chaleur de vaporisation correspondante peut être libérée dans l'air, ce qui augmente sa chaleur sensible.

Point de rosée

Lorsque la température d'une vitre est inférieure au point de rosée de l'air, de la condensation se forme sur la fenêtre. Le Tableau 7-2, extrait de l'ouvrage ASHRAE Systems and Equipment Handbook, présente les combinaisons d'humidité relative intérieure et de température extérieure auxquelles apparaît la condensation. Les appareils de convection habituellement utilisés sous les fenêtres des habitations actuelles permettent d'obtenir des taux d'humidité relativement élevés sans condensation visible en soufflant de l'air chaud le long des vitres.

Tableau 7-1. Kg d'eau par mètre cube d'air saturé et kg d'air sec à différentes températures (extrait du manuel ASHRAE)

°C	Taux d'humidité : par kg _w /kg _a	Volume spécifique m ³ /kg	°C	Taux d'humidité : par kg _w /kg _a	Volume spécifique m ³ /kg
-10	0,0013425	0,7469	8	0,006683	0,8046
-9	0,0014690	0,7499	9	0,007157	0,8081
-8	0,0016062	0,7530	10	0,007661	0,8116
-7	0,0017551	0,7560	11	0,008197	0,8152
-6	0,0019166	0,7591	12	0,008766	0,8188
-5	0,0024862	0,7622	13	0,009370	0,8225
-4	0,0027081	0,7653	14	0,010012	0,8262
-3	0,0029480	0,7685	15	0,010692	0,8300
-2	0,0032074	0,7717	16	0,011413	0,8338
-1	0,0034874	0,7749	17	0,012178	0,8377
0	0,003789	0,7781	18	0,012989	0,8417
1	0,004076	0,7813	19	0,013848	0,8457
2	0,004381	0,7845	20	0,014758	0,8498
3	0,004707	0,7878	21	0,015721	0,8540
4	0,005054	0,7911	22	0,016741	0,8583
5	0,005424	0,7944	23	0,017821	0,8627
6	0,005818	0,7978	24	0,018963	0,8671
7	0,006237	0,8012	25	0,020170	0,8717

Tableau 7-2. Humidités relatives auxquelles la condensation apparaît sur les fenêtres à 21°C lorsque la surface des vitres n'est pas chauffée

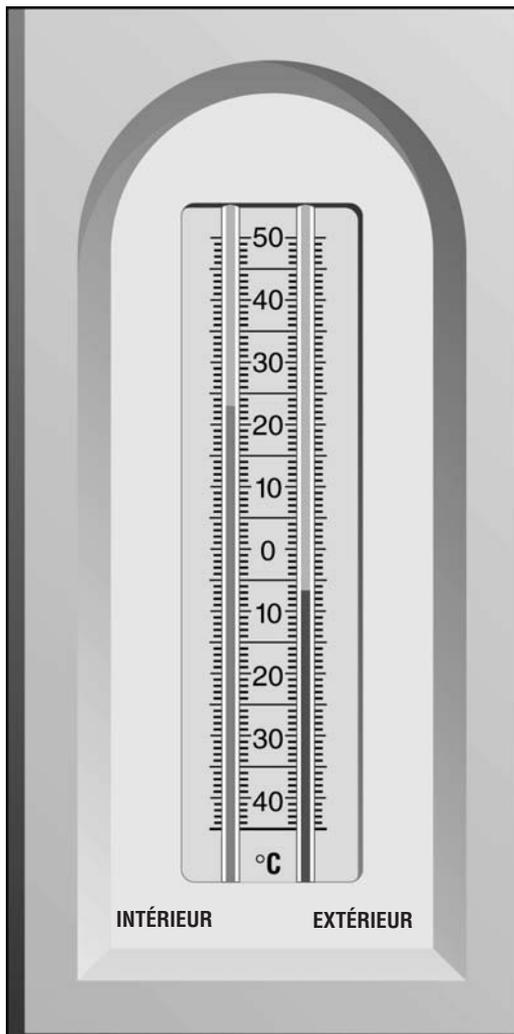
Température extérieure	Vitrage simple	Double vitrage
-23°C	11%	38%
-18°C	16%	42%
-12°C	21%	49%
-7°C	28%	56%
-1°C	37%	63%
4°C	48%	71%

Conservation de l'énergie avec régulation HR

L'humidité relative intérieure que nous venons de calculer est appelée Humidité Relative Intérieure Théorique (HRIT). Elle ne se présente pratiquement jamais. La valeur HR observée sur un instrument de mesure appelé hygromètre dépasse toujours la valeur théorique HRIT. Pourquoi ? Parce que l'air sec, avide d'humidité, tend à extraire l'humidité de tout ce qui en contient. Il retire donc l'humidité des matériaux hygroscopiques (bois, papier, aliments, cuir, etc.) et assèche la peau et les voies respiratoires des êtres humains.

Ce mode d'humidification de l'air s'effectue-t-elle à titre gratuit ? Non, c'est le type d'humidification le plus coûteux en termes de confort, de détérioration des matériaux et de difficultés de production. En outre, que l'humidité emportée par l'air provienne de personnes ou de matériaux ou qu'elle soit ajoutée dans l'air par un système d'humidification efficace, l'énergie mise en jeu est identique.

L'énergie réellement requise par un système d'humidification se calcule à partir du taux d'humidité qu'il faut effectivement atteindre dans le bâtiment et NON à partir du taux théorique. Dans pratiquement tous les cas, le coût de la régulation de l'humidité relative sera très peu élevé en termes de consommation supplémentaire d'énergie et, dans certains cas, peut se traduire par une réduction.



Dans un important palais des congrès du centre des États-Unis, une réduction de la consommation globale de vapeur a été constatée après l'ajout d'un système d'humidification à vapeur. D'une saison de chauffage sans humidification à la suivante, après la mise en service d'humidificateurs, la consommation de vapeur pour l'humidification a été de 820 tonnes, alors que la consommation de vapeur de chauffage a diminué de 1 130 tonnes pour la même période. Cette réduction de consommation (mesurée) a été obtenue malgré que la saison ait été plus froide de 7,2% par rapport à l'année précédente. Les résultats de cette installation indiquent qu'il est possible de réduire la quantité totale de vapeur nécessaire à la climatisation en réglant un niveau d'humidité relative plus élevé.

Examinons à présent un système théorique sur la base de l'enthalpie (contenu calorifique).

- Supposons une journée d'hiver, la température extérieure étant de 0°C à 75% HR.
- L'enthalpie de l'air est de 7,1 kJ/kg d'air sec (AS).
- Si l'air est réchauffé à 22°C sans ajout d'humidité, l'enthalpie passe à 29,2 kJ/kg AS.
- L'humidité relative théorique est de 17%, alors que le taux HR réel est d'environ 25%.
- A 22°C et 25% HR, l'enthalpie est de 32,4 kJ/kg AS.
- L'humidité supplémentaire est extraite des matériaux hygroscopiques et des personnes présentes.

Mais qu'en est-il de l'énergie supplémentaire, à savoir la différence entre 29,2 kJ/kg AS et 32,4 kJ/kg AS ? Cette augmentation de 11% doit être fournie par le système de chauffage pour compenser le refroidissement par évaporation. Si un système d'humidification est utilisé pour obtenir un taux confortable de 35% HR, l'enthalpie est de 36,8 kJ/kg AS.

Il ne s'agit que de 13,5% d'augmentation par rapport à l'inévitable valeur calorifique de 32,4 kJ/kg AS, soit nettement moins que l'augmentation théorique de 26% pour passer de 17% HR (29,2 kJ/kg AS) à 35% HR (36,8 kJ/kg AS) à 22°C. Si la température était de 19°C à 35% HR (avec un taux d'humidité plus élevé, une température plus basse reste confortable), l'enthalpie serait de 32 kJ/kg AS, soit une légère diminution d'énergie.

Problèmes engendrés par l'air sec

L'air sec peut être à l'origine de nombreux problèmes coûteux, pénibles et parfois même dangereux. Si vous ne connaissez pas les effets de l'air sec, la cause de ces problèmes ne vous paraîtra pas évidente. Vous devriez vous intéresser à ce facteur si vous traitez ou manipulez des matériaux hygroscopiques comme le bois, le papier, les fibres textiles, le cuir ou des produits chimiques. L'air sec ou les variations de taux d'humidité peuvent causer de sérieux problèmes en production et risquent de détériorer les matériaux.

Dans des conditions atmosphériques sèches, de l'électricité statique peut s'accumuler et nuire au fonctionnement d'équipements de production ou de machines électroniques dans les bureaux. Aux endroits où on manipule des matériaux aux propriétés électrostatiques (papier, disques d'ordinateur, films plastiques, etc.), l'air sec aggrave le problème de l'électricité statique. Dans des atmosphères potentiellement explosives, l'air sec et l'accumulation d'électricité statique qui en résulte peuvent devenir extrêmement dangereux.

Humidité et confort

Des études ont montré que la plupart des personnes se sentent mieux lorsque l'humidité relative est maintenue entre 35% et 55%. Lorsque l'air est sec, l'humidité de la peau s'évapore plus facilement, ce qui produit une sensation de froid, même par des températures de 24°C ou plus. Étant donné que nous percevons la plupart du temps l'humidité relative par différence de température, il est possible d'obtenir des conditions de confort à des températures basses en régulant convenablement le taux d'humidité. Les économies de chauffage sont généralement très substantielles au cours même d'une seule saison hivernale.

Nécessité de réguler l'humidité dans les milieux de travail électroniques actuels

Dans les bureaux et les ateliers, l'électronique a révolutionné la façon de travailler, de communiquer, de collecter des données et d'entretenir les équipements. Dans les bureaux, les photocopieurs, les téléphones, les ordinateurs, les télécopieurs et même les thermostats muraux sont commandés électroniquement. En outre, l'agencement des postes de travail intègre de plus en plus de parois et de mobiliers comportant des tissus en fibres naturelles ou synthétiques.

Dans les ateliers, de plus en plus de machines sont commandées électroniquement. Les salles de commande sont beaucoup plus nombreuses que par le passé, du fait de la multiplication des systèmes électroniques.

En résumé, l'humidification de l'air est devenue une nécessité incontournable, en raison des caractéristiques de l'activité industrielle et commerciale d'aujourd'hui.

Pourquoi le matériel électronique sensible est-il menacé par une humidification inappropriée ?

Les circuits intégrés, ou puces électroniques, sont au cœur de tous les circuits électroniques actuels. La puce électronique se compose essentiellement d'une très mince couche de matériau semi-conducteur sur laquelle est gravée un circuit miniaturisé. Les composants électroniques (et les puces en particulier) peuvent être surchargés par des transitoires électriques (pointes de tension). De minuscules cratères ou zones de fusion peuvent alors se former sur le semi-conducteur, causant un dysfonctionnement, une perte de mémoire ou une panne permanente. La détérioration peut être immédiate ou la durée de vie du composant peut être réduite par rapport à celle des composants non soumis à des transitoires électriques.

Les décharges électrostatiques représentent la principale source de pointes de tension. Bien que de très courte durée, ces transitoires peuvent être destructifs pour les très minces surfaces des semi-conducteurs. Les charges électrostatiques peuvent engendrer des potentiels aussi élevés que ceux de la foudre et se décharger plus rapidement encore. Ces phénomènes de décharge électrostatique sont particulièrement dangereux car ils sont la source des transitoires en question. L'électricité statique s'accumule également sur le corps humain. La secousse que l'on ressent en touchant un bouton de porte ou en serrant la main d'une personne n'est autre qu'une décharge électrostatique. Le Tableau 9-1 ci-dessous présente les potentiels qui peuvent être engendrés par des activités courantes.

Les charges électriques s'accumulent sur les surfaces (le corps humain, dans le cas présent) ; lorsqu'une surface se rapproche d'une autre moins chargée, une décharge se produit. Observez les taux d'humidité auxquels ces potentiels électriques peuvent être générés. Lorsque l'humidité augmente, les potentiels sont réduits du fait du film humide qui se forme sur les surfaces et qui conduit les charges électriques à la terre. Bien que les 65% à 90% HR mentionnés dans le Tableau 9-1 soient impraticables dans les bureaux, les phénomènes de décharge électrostatique sont toutefois fortement atténués par une augmentation d'humidité.

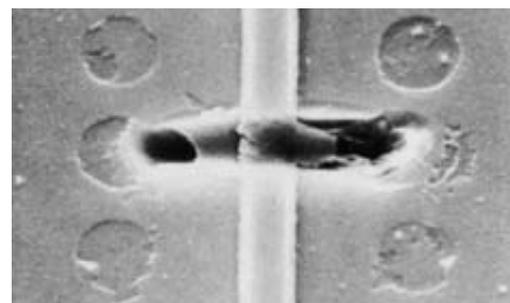
Les dégâts électrostatiques sont possibles et probables

Une étude sur les décharges électrostatiques corporelles a été menée pendant 16 mois dans une pièce mal régulée avec tapis de laine. L'intensité des décharges a été mesurée en ampères. Les résultats ont montré, par exemple, qu'une décharge de 0,3 A est 100 fois plus probable à 10%-20% HR qu'à 45%-50% HR. Autrement dit, plus le taux d'humidité est élevé, plus la probabilité et l'intensité des décharges diminuent.

En plus du risque de détérioration des appareils électroniques, les décharges électrostatiques peuvent entraîner de graves risques d'accident dans de nombreux processus du fait des étincelles qu'elles produisent. L'électricité statique est extrêmement dangereuse en présence de gaz, de liquides volatils ou de poussières explosives. De telles situations se rencontrent dans les fabriques de munitions, les cabines de peinture, les ateliers d'imprimerie, les usines pharmaceutiques, etc. Bien qu'il existe de nombreux produits antistatiques (tapis spéciaux, aérosols, bracelets, etc), il convient de ne pas oublier que l'humidification est un moyen antistatique passif par excellence. Elle agit en permanence et pas seulement lorsque quelqu'un se rappelle par hasard qu'il serait bon d'utiliser un équipement antistatique.

Figure 9-1. Effet de l'humidité sur les potentiels électrostatiques.

Mode de génération	Potentiels électrostatiques (Volts)	
	10%-20% Humidité relative	65%-90% Humidité relative
Marcher sur un tapis	35 000	1 500
Marcher sur un sol en vinyle	12 000	250
Travailleur à son poste	6 000	100
Enveloppes de vinyle pour instructions de travail	7 000	600
Sachets ordinaires en PE prélevés sur la table	20 000	1 200
Chaise de travail avec siège en mousse de polyuréthane	18 000	1 500



Circuit intégré détérioré par une décharge électrostatique. (Photo avec l'autorisation de Motorola Semiconductor, Inc.)

Papier et produits en papier

Les directeurs de production de l'industrie du papier connaissent très bien les pertes excessives de mise au rebut et les plaintes des clients causées par les problèmes suivants, qui se produisent en hiver :

1. Papier qui gondole.
2. Craquelure ou cassure aux plis des boîtes pliantes en carton ondulé ou en carton dur.
3. Moindre solidité des emballages et des boîtes.
4. Retards de production lorsque l'électricité statique rend difficile le passage des feuilles en machine.
5. Défauts de collage.

Tous ces problèmes hivernaux ont une cause commune : le papier trop sec ou gondolé résultant d'une humidité intérieure trop faible.

Lorsque l'air est chauffé sans y ajouter de vapeur d'eau, son taux HR diminue. Le Tableau 10-1 montre que de l'air extérieur à -18°C et 75% HR n'aura plus que 4,4% d'humidité relative lorsqu'il est chauffé à l'intérieur jusqu'à 21°C. Bien que le taux HR théorique devrait être de 4,4%, la valeur observée sera beaucoup plus élevée du fait de l'humidité perdue par le papier.

Ce type d'humidification est très onéreux en termes de papier et de production.

Le taux HR de l'air ambiant détermine la teneur en eau du papier, comme indiqué au Tableau 11-1. Les fibrilles du papier se chargent d'humidité lorsque le papier est plus sec que l'air ambiant et libèrent de l'humidité dans le cas inverse.

Pour garantir la solidité et la maniabilité du papier, il est essentiel de maintenir son taux d'humidité entre 5% et 7%. Cette condition nécessite une HR intérieure de 40% à 50% en fonction de la composition du papier

Les teneurs en humidité des différents types de papier peuvent s'écarter légèrement de celles indiquées dans le tableau ; elles suivent toutefois le même modèle.

Les changements de teneur en humidité du papier ont donc une influence sur son épaisseur, sa planéité, sa dureté, sa taille et sa souplesse.



Figure 10-1. Effet de la teneur en humidité sur le pliage du papier. La feuille de gauche a un taux d'humidité approprié. La feuille de droite manque d'humidité et devient cassante au pliage.

Tableau 10-1. Réduction du taux HR intérieur et séchage du papier par le chauffage

Température extérieure en °C	Température intérieure 21°C	
	HR intérieure en %	Humidité approximative du papier %
-29	1,5	0,5
-23	2,5	0,8
-18	4,4	1,2
-12	7,2	2,2
-7	11,6	3,3
-1	18,1	4,3
4	26,8	5,3
10	38,3	6,4
16	54,0	8,0
21	75,0	11,6

Effet du chauffage intérieur sur le taux HR et la teneur en humidité du papier Kraft d'emballage. REMARQUE : dans ce tableau, on suppose que le taux HR extérieur est de 75%. Pour une HR extérieure habituellement inférieure, le taux HR intérieur est également inférieur. Des températures intérieures supérieures à 21°C engendrent également des HR plus faibles.



Impression

Les problèmes d'air sec rencontrés en fabrication du papier se retrouvent également dans les imprimeries.

Le gondolage du papier, généralement causé par la dilatation ou la contraction d'une feuille non protégée, se produit lorsque l'air ambiant trop sec absorbe l'humidité de la face exposée qui rétrécit et s'enroule. L'enroulement s'effectue dans le sens des fibres de la feuille. Cet effet se manifeste davantage sur du papier de faible grammage ou sur du papier d'emballage ou du papier couché sur une seule face.

Travail du bois, fabrication de meubles et produits en bois

Comme tous les matériaux hygroscopiques, le bois se charge ou libère de l'humidité à mesure que le taux HR de l'air ambiant varie. Pour une température et une HR données, lorsque le bois cesse d'absorber ou de libérer de l'humidité, il a atteint sa teneur d'équilibre en eau (TEE). L'humidité du bois est alors en équilibre avec l'humidité de l'air.

En général, il n'est pas pratique de maintenir une humidité intérieure aussi élevée en hiver qu'en été. Toutefois, lorsque la saison froide s'installe, les humidificateurs permettent une diminution progressive du taux RH de l'air et de la TEE du bois jusqu'à un niveau minimum convenable pour le travail. Dans ces conditions le gauchissement et le fendillement ne se produisent pas.

Traitement du cuir

Une HR maintenue uniformément dans une fourchette de 40% à 60 % (plus large pour les salles d'étuvage) permet de réduire le fendillement, de minimiser la perte de souplesse et de maintenir la qualité et l'aspect du cuir, tout en atténuant les problèmes de poussière dans les ateliers

Bureaux

Une HR maintenue entre 30% et 40% arrête le fendage, la fissuration longitudinale, le retrait et la rupture du joint de colle dans les panneaux et les meubles : la durée de vie des tapis et des draperies est également augmentée. Le matériel électronique de bureau, comme les ordinateurs, les copieurs xérogaphiques et les téléphones nécessitent une HR constante de 40% à 50% pour prévenir les transitoires électriques néfastes (voir page 9).



Bibliothèques et musées

Le maintien de l'humidité relative à des valeurs de 40% à 50 % dans les salles de stockage, les réserves et les galeries prolonge la durée de vie des collections précieuses en stabilisant la souplesse de la colle, de l'amidon et de la caséine. Cela permet également de minimiser la fragilisation des fibres du papier, des canevas, du papyrus et des reliures en cuir.

Tableau 11-1. Teneur en eau du papier à différents taux d'humidité relative (en g/kg)

Matériau	Description	Humidité relative %								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
Papier journal	Pâte de bois 24% de cendre	2,1	3,2	4,0	4,7	5,3	6,1	7,2	8,7	10,6
HMF Writing	Pâte de bois 3% de cendre	3,0	4,2	5,2	6,2	7,2	8,3	9,9	11,9	14,2
White Bond	Chiffons 1 % de cendre	2,4	3,7	4,7	5,5	6,5	7,5	8,8	10,8	13,2
Papier registre	75% de chiffons 1 % de cendre	3,2	4,2	5,0	5,6	6,2	6,9	8,1	10,3	13,9
Kraft d'emballage	Conifère	3,2	4,6	5,7	6,6	7,6	8,9	10,5	12,6	14,9

Il n'existe pas de taux d'humidité unique permettant d'obtenir une teneur en humidité adéquate dans tous les matériaux hygroscopiques. D'un matériau à l'autre, les besoins en humidité varient fortement. Nous traiterons donc de matériaux hygroscopiques typiques qui nécessitent des taux HR spécifiques pour éviter la perte d'humidité entraînant une détérioration ou des problèmes de production.

Tableau 12-1. Humidités relatives recommandées

Processus ou produit	Temp. °C	%HR	Processus ou produit	Temp °C	%HR	Processus ou produit	Temp. °C	%HR
Résidences	21-22	30	Disjoncteurs :			Thé		
Bibliothèques et musées			Assemblage de fusibles et			Emballage	18	65
Archives	13-18	35	coupe-circuits	23	50	Tabac		
Stockage d'objets d'art	16-22	50	Enroulement de condensateurs	23	50	Fabrication de cigares et	21-24	55-65
Animaux empaillés	4-10	50	Stockage du papier	23	50	cigarettes		
Centraux de télécommunication			Guipage de conducteurs	24	65-70	Ramollissement	32	85-88
Terminaux de téléphone	22-26	40-50	Assemblage de parafoudres	20	20-40	Écôtage et effeuillage	24-29	70-75
Studios de radio et TV	23-26	30-40	Disjoncteurs thermiques,			Emballage et transport	23-24	65
Bâtiments commerciaux et publics			assemblage et essais	24	30-60	Sauçage et conditionnement		
(cafétérias, restaurants, terminaux d'aéroport	21-23	20-30	Réparation de transformateurs HT	26	55	du tabac de cape	24	75
bureaux, salles de bowling)			Alternateurs hydrauliques			Stockage et préparation		
Hôpitaux			rodage de la butée axiale	21	30-50	du tabac de remplissage	25	70
Zones cliniques en général	22	30-60	Redresseurs :			Stockage et conditionnement		
Salles d'opération	20-24	50-60	traitement des plaques de			du tabac de cape	24	75
Salles de réveil	24	50-60	sélénium et d'oxyde de cuivre	23	30-40	Produits pharmaceutiques		
Obstétrique...			Fourrure			Stockage des poudres (avant fab.)*		-
Salle de nouveaux nés à terme	24	30-60	Stockage	4-10	55-65	Zones de stockage et d'emballage		
Salle de soins intensifs	24-27	30-60	Gomme			des poudres après fab.	24	35
Matériaux hygroscopiques industriels :			Fabrication	25	33	Salle de broyage	24	35
Abrasive			Floconnisation	20	63	Compression des pilules	24	35
Manufacture	26	50	Découpage	22	53	Salle d'enrobage des pilules	24	35
Céramiques			Broyage	23	47	Poudres et comprimés		
Réfractaires	43-66	50-90	Emballage	23	58	effervescents	24	20
Atelier de moulage	27	60-70	Cuir			Pilules sous-cutanées	24	30
Stockage d'argile	16-27	35-65	Séchage	20-52	75	Colloïdes	24	30-50
Production de décalcomanies	24-27	48	Stockage, temp. hivernale	10-16	40-60	Gouttes pectorales	24	40
Salle de décoration	24-27	48	Lentilles optiques			Produits adénoïdes	24	5-10
Céréales			Fusion	24	45	Fabrication des ampoules	24	35-50
Emballage	24-27	45-50	Polissage	27	80	Capsules de gélatine	24	35
Distillation			Allumettes			Stockage des capsules	24	35
Stockage			Fabrication	22-23	50	Micro analyse	24	50
Grain	-14	35-40	Séchage	21-24	60	Fabrication biologique	24	35
Levure liquide	0-1		Stockage	16-17	50	Extraits hépatiques	24	35
Fabrication en général	16-24	45-60	Champignons			Sérums	24	50
Vieillessement	18-22	50-60	Ensemencement	16-22	**	Salles d'animaux	24-27	50
Appareils électriques			Période de croissance	10-16	80	Salles de petits animaux	24-26	50
Electronique et rayons X :			Stockage	0-2	80-85			
Bobines et enroulements de transfo	22	15	Peinture					
Assemblage de semi-conducteurs	20	40-50	Peinture au pistolet	16-32	80	Développement photographique		
Instruments électriques			Plastiques			Studio photo		
Fabrication et laboratoire	21	50-55	Ateliers de fabrication :			Vestiaire	22-23	40-50
Assemblage de thermostats	24	50-55	Poudre thermodurcissable	27	25-30	Atelier	22-23	40-50
et étalonnage			Emballage cellophane	24-27	45-65	Chambre noire film	21-22	45-55
Assemblage d'humidistats	24	50-55	Contreplaqué			Chambre noire papier	21-22	45-55
et étalonnage			Pressage à chaud (résine)	32	60	Salle de séchage	32-38	35-45
Petits mécanismes	24	50-55	Pressage à froid	32	15-25	Salle de finition	22-24	40-55
Assemblage à tolérances précises	22	40-45	Objets enrobés de caoutchouc			Salle de stockage		
Assemblage et test de compteurs	24	60-63	Enrobage	27	25-30*	Film et papier n&b	22-24	40-60
			Articles chirurgicaux	24-27	25-30*	Film et papier couleur	24-10	40-50
			Stockage avant fabrication	16-24	40-50*	Studio d'animation	22	40-55
			Laboratoire (normes ASTM)	23	50*	Contrôle de l'électricité statique		
						Textiles, papier, explosifs		>55
						Salles et chambres blanches		45
						Traitement de données	22	45-50
						Traitement du papier		
						Aire de finition	21-24	40-45
						Laboratoire de test	23	50

* en contenants hermétiques en plastique stockés en fûts hermétiques.

La psychrométrie et l'humidification

La psychrométrie est la mesure des propriétés thermodynamiques de l'air humide. Il s'agit d'un excellent outil de résolution des problèmes, qui montre clairement comment les propriétés de l'air humide sont affectées par la chauffage, le refroidissement et l'humidification. Des données psychrométriques sont en effet nécessaires pour mettre au point les processus de distribution de l'air et résoudre leurs problèmes.

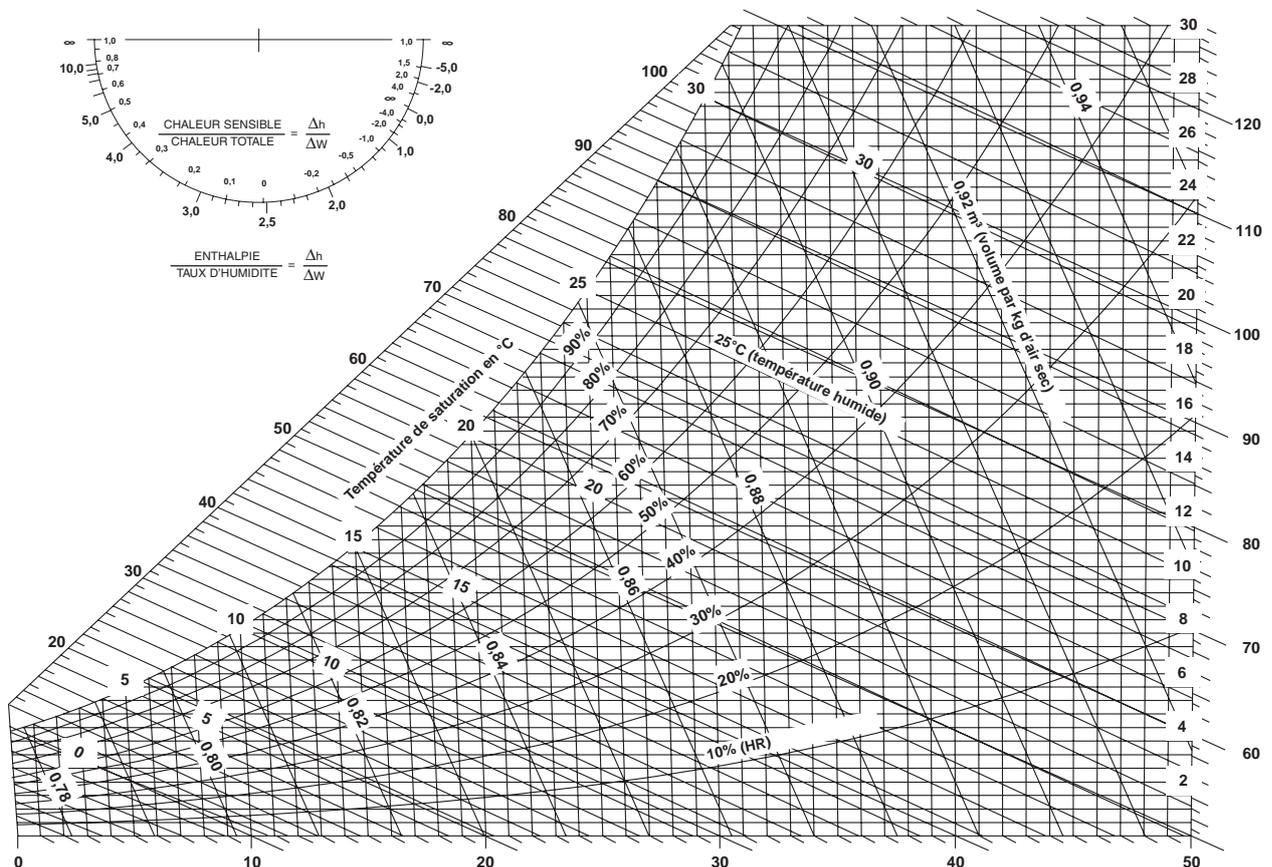
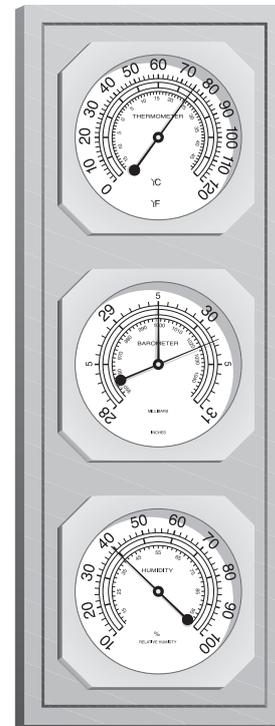
La plupart des problèmes complexes de chauffage, de réfrigération et d'humidification peuvent se décomposer en problèmes relativement simples. Le diagramme psychrométrique est un graphique qui illustre clairement les paramètres régissant les propriétés de l'air humide.

L'importance particulière des données psychrométriques s'explique par la façon dont on chauffe les nouveaux bâtiments (et de nombreux immeubles plus anciens). Les plus faibles températures de gaine (13°C et moins) utilisées dans les nouveaux bâtiments rendent la régulation de l'humidité plus difficile, car ces basses températures limitent la capacité d'absorption d'humidité. L'ajout d'humidité par le biais du système central de conditionnement d'air doit assurer le réchauffement de l'air avant sa sortie de la gaine.

De telles applications nécessitent parfois que l'on renforce l'humidification dans la gaine de distribution après qu'elle a atteint sa température finale (réchauffement).

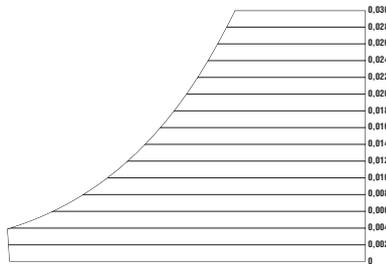
Pour maintenir les conditions normales de 21°C et 50% HR, l'humidité des gaines est généralement très élevée (75% HR et plus). Pour éviter la sursaturation des gaines, il est alors nécessaire d'installer un humidistat à limite supérieure, qui devient dans ce cas le régulateur principal de l'humidificateur. Comme cet humidistat est à proximité immédiate de l'humidificateur et

que l'air circule en permanence et doit être maintenu dans des conditions proches de la saturation, la sortie de l'humidificateur doit être régulée avec rapidité, précision et de façon reproductible.

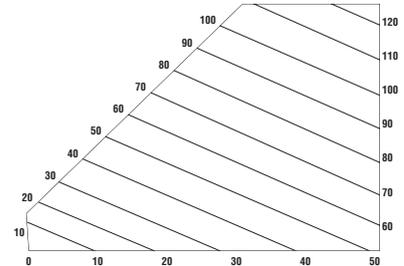


Le diagramme est une représentation graphique des propriétés thermodynamiques de l'air humide.

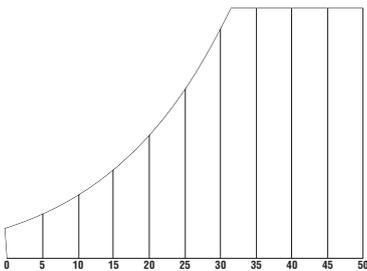
Il se compose de huit éléments principaux :



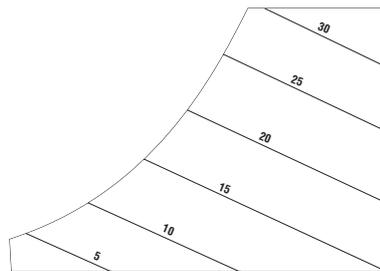
1. Les valeurs de taux d'humidité sont représentées verticalement sur l'échelle de droite, partant de 0 kg/kg d'air sec jusqu'à 0,03 kg/kg d'air sec.



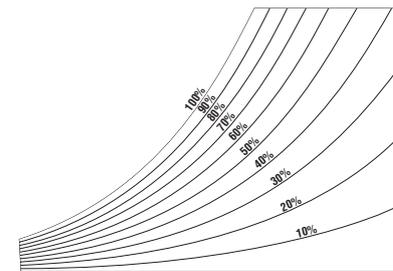
2. L'enthalpie, ou chaleur totale, est représentée le long de droites obliques, à intervalles de 10kJ/kg d'air sec et allant de gauche à droite et de haut en bas.



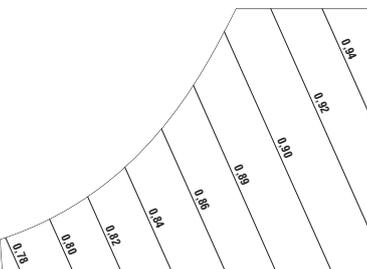
3. Les températures sèches sont représentées par des droites verticales à intervalles de 1°C.



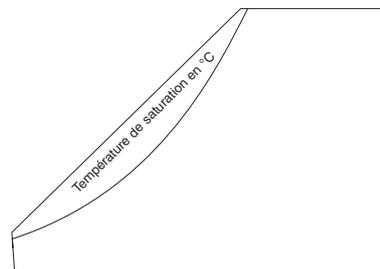
4. Les températures humides sont représentées par des droites obliques pratiquement parallèles aux lignes d'enthalpie. Elles sont tracées à intervalles de 1°C.



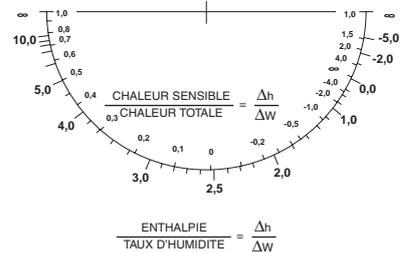
5. Les courbes d'humidité relative sont tracées de gauche à droite à intervalles de 10%. Elles commencent en bas à 10% et se terminent en haut à la courbe de saturation (100%).



6. Les lignes de volume indiquant le nombre de mètres cubes par kilogramme d'air sec sont tracées à intervalles de 0,01m³.



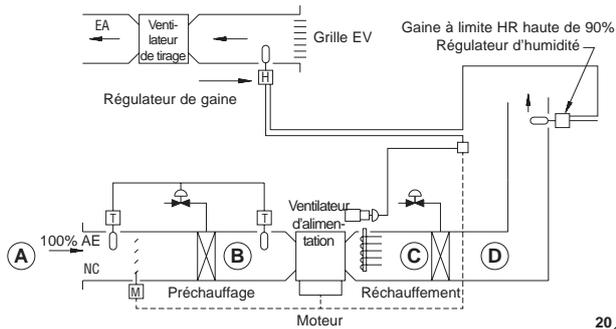
7. La région diphasique comporte une zone hachurée étroite, à gauche de la zone de saturation correspondant à un mélange en équilibre d'eau condensée et de vapeur.



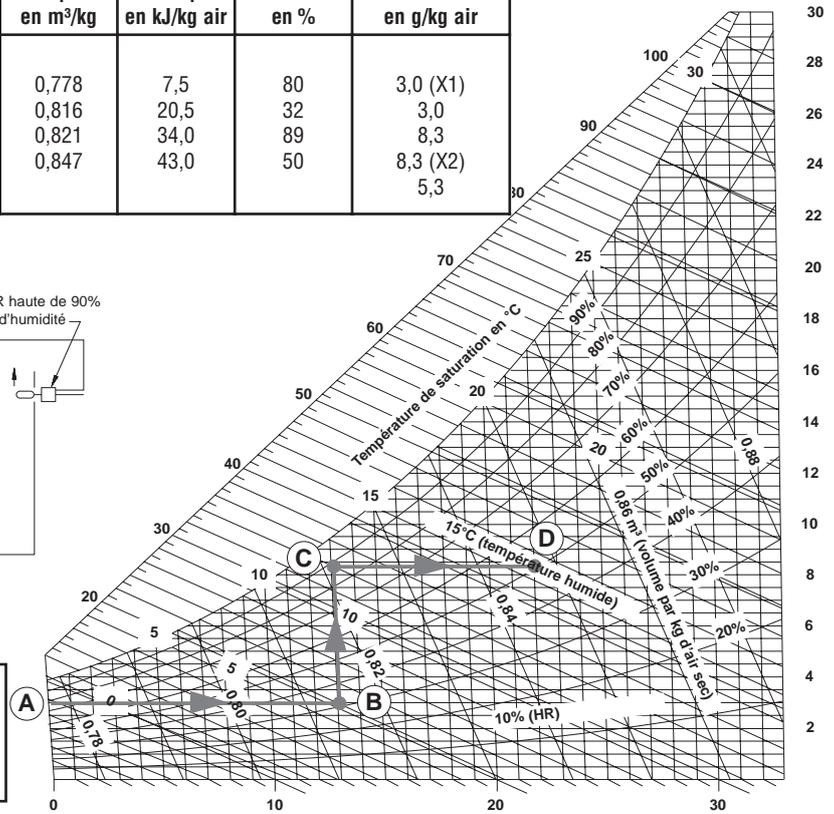
8. Le rapporteur en haut à gauche du diagramme présente une double échelle. L'une correspond au rapport des différences d'enthalpie. L'autre indique le rapport entre la chaleur sensible et la chaleur totale. Le rapporteur donne l'angle de la droite le long de laquelle se déroule un processus.

Tableau 15-1. Système 1

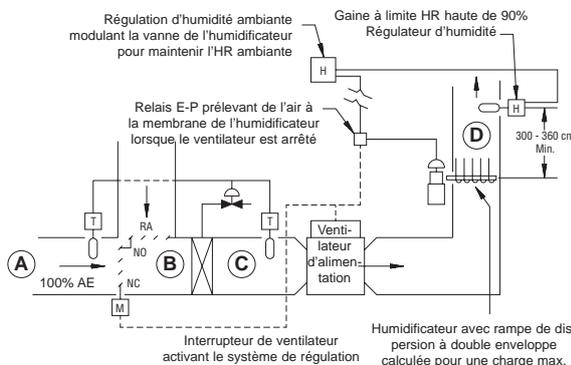
	T° sèche en °C	T° humide en °C	Vol. spécif. en m³/kg	Enthalpie en kJ/kg air	HR en %	Taux d'humidité en g/kg air
100% d'air extérieur						
A Conditions extérieures	0	-1,2	0,778	7,5	80	3,0 (X1)
B Préchauffage	13	6,0	0,816	20,5	32	3,0
C Humidification à la vapeur	13	12,0	0,821	34,0	89	8,3
D Réchauffement (final)	22	15,4	0,847	43,0	50	8,3 (X2)
ΔX (X2-X1)						5,3



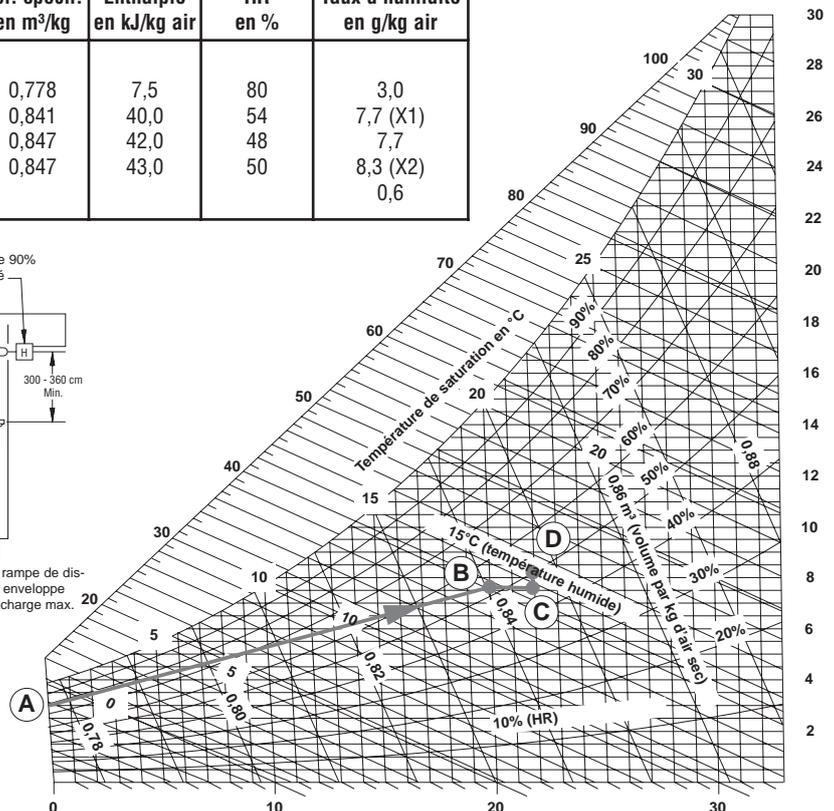
Légende	
EA.....	Air évacué
Relais E-P.....	Relais électropneumatique
H.....	Régulateur d'humidité
M.....	Moteur de registre
MA.....	Air mélangé
NC.....	Normalement fermé
NO.....	Normalement ouvert
OSA.....	Air extérieur
RA.....	Retour d'air
T.....	Régulateur de température


Tableau 15-2. Système 2

	T° sèche en °C	T° humide en °C	Vol. spécif. en m³/kg	Enthalpie en kJ/kg air	HR en %	Taux d'humidité en g/kg air
90% d'air recirculé						
A Conditions extérieures	0	-1,2	0,778	7,5	80	3,0
B Conditions de mélange	20	14,3	0,841	40,0	54	7,7 (X1)
C Réchauffement	22	15,0	0,847	42,0	48	7,7
D Humidification	22	15,4	0,847	43,0	50	8,3 (X2)
ΔX (X2-X1)						0,6

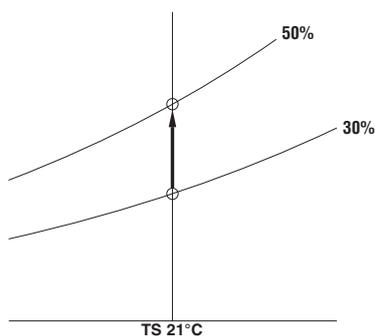


Légende	
EA.....	Air évacué
Relais E-P.....	Relais électropneumatique
H.....	Régulateur d'humidité
M.....	Moteur de registre
MA.....	Air mélangé
NC.....	Normalement fermé
NO.....	Normalement ouvert
OSA.....	Air extérieur
RA.....	Retour d'air
T.....	Régulateur de température



Humidification à vapeur (isotherme)

Contrairement à d'autres méthodes d'humidification, les humidificateurs à vapeur ont un effet minimal sur les températures sèches. L'humidificateur à vapeur décharge de la vapeur d'eau prête à l'emploi. Pour se mélanger à l'air et augmenter l'humidité relative, cette vapeur ne nécessite aucune chaleur supplémentaire. Elle est émise par de l'eau pure portée à 100°C. Cette température élevée pourrait faire croire que la décharge de vapeur dans l'air va augmenter la température de ce dernier, mais c'est une fausse impression. En réalité, un mélange air-vapeur se forme au fur et à mesure de la décharge de vapeur dans l'air. Dans ce mélange, la température de la vapeur décroît rapidement pour atteindre pratiquement la température de l'air.



Le diagramme psychrométrique permet de montrer que l'humidificateur à vapeur met en oeuvre un processus à température sèche constante. Partant d'un point sur une ligne de température sèche quelconque, l'humidification à vapeur se déroule le long de cette ligne à température constante. L'exemple ci-dessus illustre que l'augmentation d'humidité relative de 30% à 50% s'effectue à température sèche constante de 21°C. La température sèche ne varie pas, étant donné que la vapeur contient la chaleur (enthalpie) nécessaire à son passage dans l'air sous forme d'humidité. Avec de la vapeur à haute pression ou une forte augmentation en HR (plus de 50%), les résultats d'essais montrent une augmentation de température sèche de 0,5 à 1°C. Cela se traduit par une charge nulle du système de chauffage ou de climatisation.

Humidificateurs à injection directe de vapeur

Les humidificateurs à vapeur les plus courants sont du type à injection directe. Ces systèmes d'humidification à vapeur demandent très peu d'entretien. La vapeur elle-même agit comme agent de nettoyage et empêche le dépôt de substances minérales sur les pièces du système, contrairement aux humidificateurs à pulvérisation ou à cuvette d'évaporation, qui peuvent se colmater.

L'humidification à injection directe de vapeur présente également le double avantage d'une régulation à réponse plus rapide et plus précise. Comme la vapeur d'eau est prête à l'emploi, il suffit de la mélanger à l'air pour satisfaire les besoins du système. En outre, la sortie des humidificateurs à injection directe de vapeur peut être commandée par une vanne de régulation modulante, qui peut être réglée par le système à une position quelconque entre la fermeture et l'ouverture complète. Les humidificateurs à injection directe peuvent ainsi répondre plus rapidement aux fluctuations de la demande.

Étant donné leur température élevée, les humidificateurs à vapeur sont pratiquement stériles. Si l'eau d'appoint de la chaudière est de bonne qualité et qu'il n'y a pas de condensation, d'égouttage ou de projection dans les conduites, aucune bactérie ou odeur ne sera dispersée par la vapeur d'humidification.

Un système à vapeur installé correctement pose rarement des problèmes de corrosion. Le tartre et les dépôts (formés dans la chaudière ou entraînés par la vapeur) sont éliminés de l'humidificateur par le purgeur.

Humidificateurs à vapeur secondaire

Les humidificateurs vapeur secondaire fonctionnent avec un échangeur de chaleur dans lequel de la vapeur traitée produit, par échange de chaleur, une vapeur secondaire à partir d'eau non traitée. Comme la vapeur secondaire est généralement à la pression atmosphérique, l'emplacement des unités est d'une plus grande importance.

L'entretien des humidificateurs à vapeur secondaire dépend de la qualité de l'eau utilisée. Les impuretés comme le calcium, le magnésium et le fer peuvent former un dépôt de tartre qui nécessite de fréquents nettoyages. La réponse de la régulation est plus lente qu'en injection directe de vapeur, étant donné le temps nécessaire pour amener l'eau à l'ébullition.

Humidification par injection directe de vapeur

Figure 16-1. A séparateur

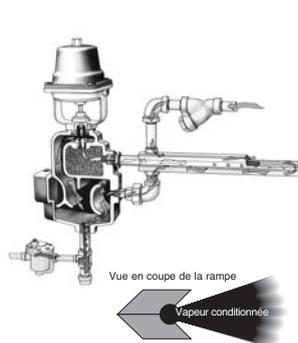
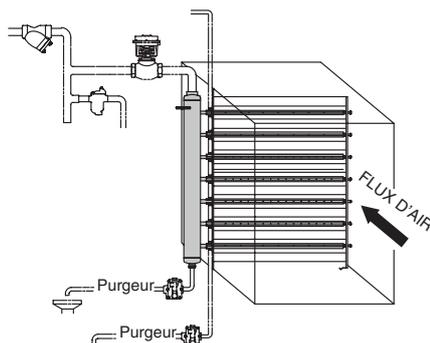
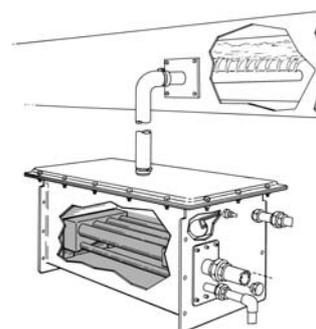


Figure 16-2. A panneau



Humidification à vapeur secondaire

Figure 16-3.



Humidificateurs électriques à vapeur (type à électrodes)

Les humidificateurs électriques à vapeur s'utilisent dans des installations ne disposant pas de source de vapeur. La vapeur est générée à la pression atmosphérique par un courant électrique dans l'eau. Les unités à électrodes ont une réponse proportionnelle à l'intensité du courant dans l'eau. Dans ce type d'unités, l'eau pure déminéralisée, dé-ionisée ou distillée ne permet généralement pas d'obtenir une conductivité suffisante.

La qualité de l'eau affecte le fonctionnement et l'entretien des humidificateurs à électrodes. Une eau dure nécessite un nettoyage plus fréquent, tandis que l'eau adoucie peut raccourcir la durée de vie des électrodes. La résolution des problèmes est facilitée par des diagnostics exécutés par des microprocesseurs.

Les unités à électrodes sont facilement adaptables à différents signaux de commande et permettent une sortie entièrement modulée. Toutefois, la nécessité de faire bouillir l'eau ne permet pas de comparer la régulation de ces unités à celle des unités à injection directe.

Humidificateurs électriques à vapeur (type à résistance)

Ce type d'humidificateur électrique fonctionne généralement avec une résistance de chauffage immergée pour amener l'eau à ébullition. Comme le courant électrique ne passe plus dans l'eau, la conductivité de l'eau ne pose plus de problème. La technologie Ionic Bed permet d'obtenir des humidificateurs polyvalents qui s'adaptent à différentes qualités d'eau. Dans ces unités, l'élément Ionic Bed remplaçable en matière fibreuse attire les particules solides de l'eau lorsque celle-ci est chauffée, ce qui réduit l'entartrage à l'intérieur de l'humidificateur. La qualité de l'eau n'affecte pas le fonctionnement et l'entretien consiste à remplacer la cartouche en matière fibreuse.

Les unités Ionic Bed sont facilement adaptables à différents signaux de commande et permettent une sortie entièrement modulée. La nécessité de porter l'eau à ébullition affecte la régulation.

Humidificateurs à vapeur au gaz

Ces humidificateurs à vapeur fonctionnent avec un brûleur alimenté au gaz naturel ou au propane. La chaleur de combustion est transmise à l'eau dans un échangeur de chaleur où se forme de la vapeur d'humidification à pression atmosphérique. Les gaz de combustion doivent être évacués selon la réglementation en vigueur. La composition du gaz, la qualité de l'air de combustion et la ventilation peuvent affecter le fonctionnement. La qualité de l'eau peut également influencer le fonctionnement et l'entretien des humidificateurs chauffés au gaz. Dans ces uni-

tés, un élément Ionic Bed remplaçable en matière fibreuse attire les particules solides de l'eau lorsque celle-ci est chauffée, ce qui réduit l'entartrage à l'intérieur de l'humidificateur. La qualité de l'eau n'affecte donc pas le fonctionnement et l'entretien consiste à remplacer la cartouche en matière fibreuse.

Les humidificateurs au gaz de type Ionic Bed sont facilement adaptables à différents signaux de commande et permettent une sortie entièrement modulée. Toutefois, la régulation de l'humidité relative ambiante est limitée par la nécessité de porter l'eau à ébullition et par la technologie des valves et des brûleurs à gaz.

Systèmes à pulvérisation (adiabatique)

Dans les systèmes à pulvérisation, de l'eau est atomisée à l'aide d'air comprimé pour former un flux de particules d'eau microscopiques ayant l'aspect d'un brouillard. Pour se vaporiser, l'eau nécessite environ 2 300 kJ d'énergie par kilogramme. Les particules d'eau passent rapidement de la phase liquide à la phase gazeuse en absorbant l'énergie de l'air ambiant ou du jet d'air. Dans les systèmes à pulvérisation convenablement dimensionnés, l'air contient suffisamment d'énergie pour vaporiser l'eau et éviter un dépôt d'eau sur les surfaces, ce qui peut entraîner des problèmes de régulation ou d'hygiène.

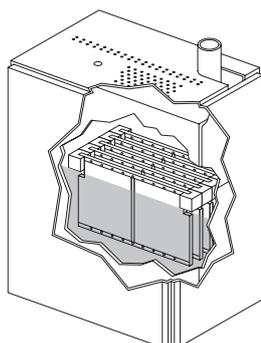
Les systèmes à pulvérisation n'apportent pratiquement aucune part de l'énergie de vaporisation nécessaire pour amener le taux HR à la valeur souhaitée. C'est pour cette raison que les systèmes à pulvérisation sont des processus à enthalpie pratiquement constante. Comme le montre l'exemple psychrométrique, la température sèche diminue au fur et à mesure de l'augmentation du taux HR de 30% à 50%. Ce refroidissement par évaporation peut apporter certains avantages aux systèmes ayant une grande puissance calorifique interne à dissiper.

Contrairement à bon nombre d'humidificateurs adiabatiques, les systèmes à pulvérisation correctement dimensionnés sont capables de moduler à la fois la pression de l'air comprimé et la pression d'eau pour réguler la sortie. Bien que l'évaporation nécessite un certain temps et une certaine distance (dans le système de traitement de l'air), la réponse en régulation est immédiate. Un haut rendement d'évaporation garantit un fonctionnement optimal du système.

Avant d'utiliser un système à nébulisation, une analyse de l'eau est conseillée si de l'eau à osmose inverse ou dé-ionisée n'est pas disponible.

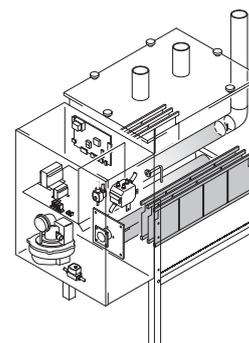
Humidificateur électrique à vapeur avec Ionic Bed

Figure 17-1.



Humidificateur au gaz avec Ionic Bed

Figure 17-2.



Comparaison des coûts

Pour une comparaison exacte des coûts lors de la sélection d'un système d'humidification, il convient de tenir compte des frais d'installation, d'exploitation et d'entretien, sans oublier les frais initiaux. Les frais d'humidification sont généralement très inférieurs aux frais de chauffage ou de réfrigération.

Les frais initiaux dépendent bien sûr de la taille des unités. Sur la base du rapport prix-capacité, les unités de grande capacité sont plus économiques quel que soit le type d'humidificateur : un humidificateur d'une capacité de 500 kg/heure revient donc moins cher que deux humidificateurs de même type de 250 kg/heure.

Le coût initial des humidificateurs à injection directe de vapeur est le plus faible ; les systèmes à pulvérisation et les humidificateurs au gaz sont les moins économiques en termes de coût initial, pour une capacité de 45 kg/h ou plus.

Les frais d'installation des différents types d'humidificateurs ne sont pas formulables avec précision, car les distances de rac-

cordement à l'eau, à la vapeur et à l'électricité varient fortement d'une installation à l'autre. Les frais d'exploitation de l'injection directe de vapeur, faibles, sont légèrement plus élevés pour un système à vapeur secondaire. Les frais d'exploitation des systèmes à pulvérisation et au gaz (lit ionisé) sont également peu élevés. Les frais en énergie sont plus élevés pour les humidificateurs électriques.

Les humidificateurs à injection directe de vapeur sont les plus économiques quant aux frais d'entretien ; ils sont suivis par les systèmes à pulvérisation. Les humidificateurs électriques et les humidificateurs au gaz Ionic Bed sont spécialement conçus pour minimiser l'entretien tout en étant plus souples quant à la qualité de l'eau. Les frais d'entretien des autres types peuvent varier fortement en fonction de la qualité de l'eau et des applications.

Ce qui précède résume les principales considérations lors de la sélection d'un système d'humidification. Le Tableau 19-1, page 19 présente les possibilités de chaque type d'humidificateur.

Figure 18-1.

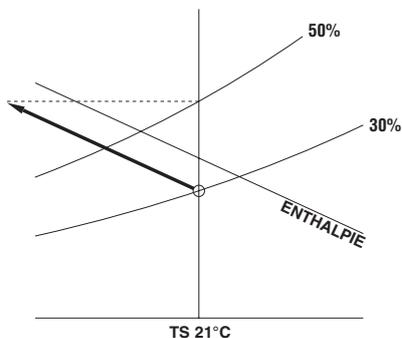


Figure 18-2. Tête de pulvérisation

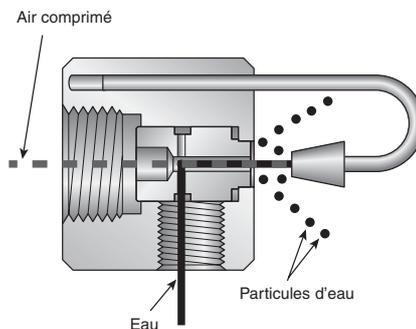
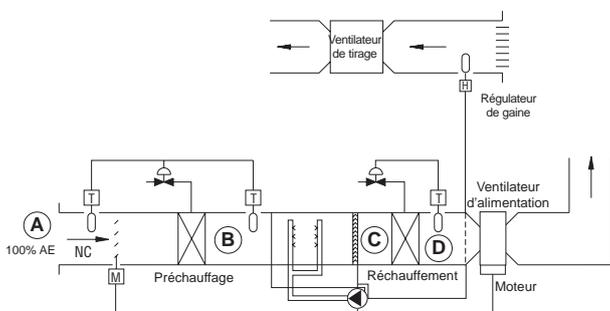


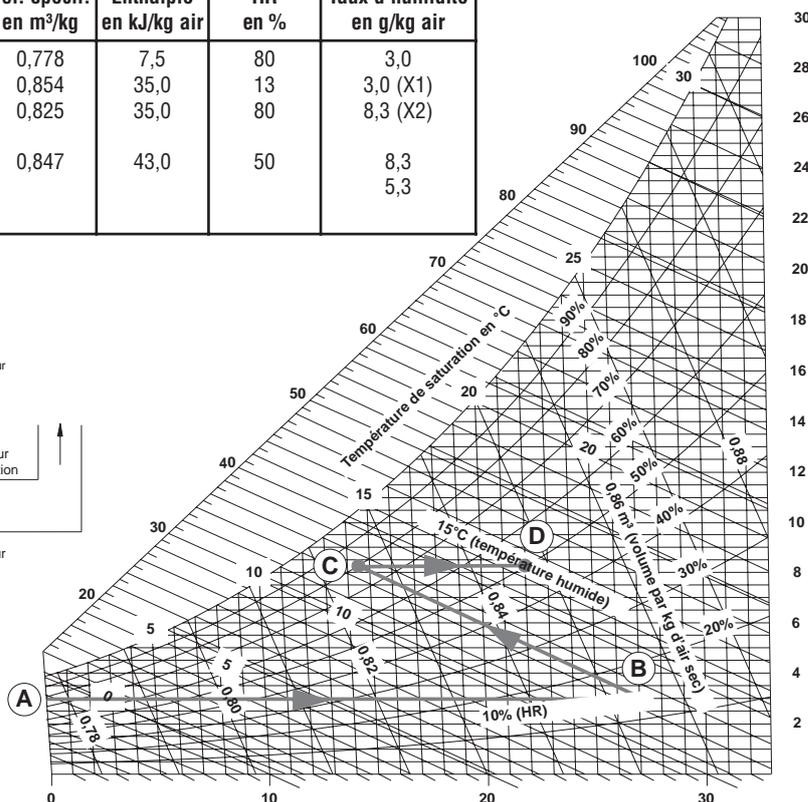
Tableau 18-1. Système 3

	T° sèche en °C	T° humide en °C	Vol. spécif. en m³/kg	Enthalpie en kJ/kg air	HR en %	Taux d'humidité en g/kg air
A Conditions extérieures	0	-1,2	0,778	7,5	80	3,0
B Préchauffage	27,0	12,3	0,854	35,0	13	3,0 (X1)
C Humidification avec eau recyclée non chauffée*	14,5	12,3	0,825	35,0	80	8,3 (X2)
D Réchauffement	22,0	15,4	0,847	43,0	50	8,3
ΔX (X2-X1)						5,3

* en supposant un rendement de 80%



Légende	
EA.....	Air évacué
Relais E-P.....	Relais électropneumatique
H.....	Régulateur d'humidité
M.....	Moteur de registre
MA.....	Air mélangé
NC.....	Normalement fermé
NO.....	Normalement ouvert
OSA.....	Air extérieur
RA.....	Retour d'air
T.....	Régulateur de température



Applications conseillées

Vapeur : conseillée pour pratiquement toutes les applications dans des bâtiments commerciaux, publics ou industriels. Dans les installations sans vapeur centrale, les besoins en capacité inférieurs à 90 kg/h peuvent être satisfaits par des générateurs de vapeur autonomes de type Ionic Bed. Pour des capacités supérieures, les humidificateurs à vapeur centrale sont les plus efficaces et les plus économiques. La vapeur doit être spécifiée avec prudence lorsqu'il s'agit d'ajouter de grandes quantités d'humidité à des matériaux hygroscopiques dans des espaces confinés de faible volume. Dans de telles conditions d'application, il est conseillé de consulter un représentant Armstrong.

Systèmes à pulvérisation : les systèmes à pulvérisation convenablement conçus avec un appoint d'eau dé-ionisée ou à osmose inverse permettent d'éviter les problèmes d'hygiène, de prolifération d'algues ou de bactéries, ainsi que les odeurs ou le tartre. Les avantages potentiels en énergie des systèmes à pulvérisation devrait être étudiés pour toute application nécessitant plus de 230 kg/h sans vapeur centrale ou lorsque le refroidissement par évaporation est bénéfique, comme dans le cas d'écono-

miseurs côté air ou des installations nécessitant la dissipation d'une grande puissance calorifique interne.

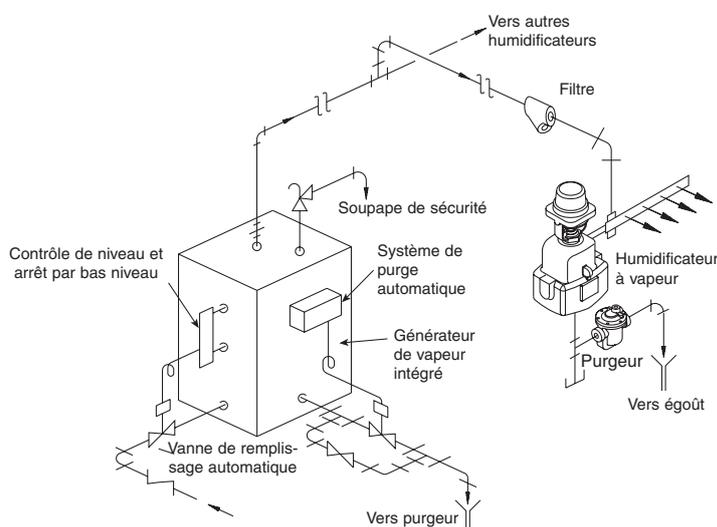
Résumé : la conclusion qui s'impose est que la vapeur offre le meilleur mode naturel d'humidification. L'humidification à vapeur permet d'utiliser de la vapeur produite avec le meilleur rendement dans une chaudière. Il n'y a pas de dépôt de particules minérales et comme la vapeur ne contient pas d'eau liquide, elle n'engendre pas de problèmes d'hygiène, de prolifération d'algues ou de bactéries et ne produit pas d'odeurs, de corrosion ou de tartre.

Ayant ces avantages à l'esprit, les ingénieurs ne doivent spécifier une chaudière ou un générateur de vapeur que si le bâtiment à humidifier ne dispose pas d'une distribution de vapeur. Lorsque c'est économiquement réalisable, la charge d'humidification minimum descend dans la fourchette de 90 kg/h. La capacité des générateurs de vapeurs est généralement spécifiée avec une marge de 50% au-delà de la charge d'humidification en fonction de la longueur des tuyauteries et du nombre d'humidificateurs et de rampes de distribution à chauffer. La Figure 19-1 représente le schéma type d'une installation d'humidification avec chaudière

Tableau 19-1. Comparaison des méthodes d'humidification

	Vapeur directe	Vapeur secondaire	Vapeur électrique	Vapeur électrique Ionic Bed	Vapeur au gaz Ionic Bed	Systèmes à pulvérisation
Effet sur la température	Pratiquement pas					Chute substantielle
Capacité par taille d'unité	Petite à très grande	Petite	Petite à moyenne	Petite à moyenne	Petite à moyenne	Petite à très grande
Qualité de vapeur	Excellente	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Moyenne
Réponse en régulation	Immédiate	Lente	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Immédiate
Régulation	Bonne à excellente	Inférieure à la moyenne	Moyenne	Moyenne	Inférieure à la moyenne	Bonne à excellente
Hygiène/corrosion	Milieu stérile, pas de corrosion	Possibilité de bactéries	Programmé pour éviter les bactéries	Programmé pour éviter les bactéries	Programmé pour éviter les bactéries	Conçu pour éviter la prolifération de bactérie
Fréquence d'entretien	Annuelle	Mensuelle	Mensuelle à trimestrielle	Trimestrielle à semestrielle	Trimestrielle	Annuelle
Facilité d'entretien	Bonne	Mauvaise	Moyenne	Bonne	Moyenne	Bonne
Coût : (par unité de capacité)	Faible	Elevé	Moyen	Moyen	Elevé	Moyen
Installation	Varie selon la disponibilité de vapeur, d'eau, de gaz, d'électricité, etc.					
Exploitation	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Faible	Faible
Entretien	Faible	Elevé	Elevé	Faible à moyen	Faible à moyen	Faible

Figure 19-1. Schéma type d'une installation d'humidification à chaudière



Guide de conception - Combinaisons chaudière-humidificateur

1. La capacité brute de la chaudière doit être au moins égale à 1,5 fois la charge d'humidification.
2. Un adoucisseur d'eau doit être utilisé sur l'alimentation de la chaudière.
3. Un retour de condensat n'est pas nécessaire (sauf si requis par ailleurs).
4. La pression de chaudière doit être de 1barg ou moins.
5. Un système de purge est souhaitable.
6. Toutes les tuyauteries de vapeur devraient être calorifugées.

Humidificateurs à vapeur électriques ou au gaz

Lorsqu'une distribution de vapeur n'est pas disponible, les humidificateurs autonomes au gaz ou à l'électricité peuvent satisfaire des besoins peu exigeants en capacité. La caractéristique principale à prendre en compte lors de la sélection d'un tel humidificateur est sa capacité à fonctionner dans de larges plages de qualité d'eau. C'est en raison de cette capacité que les humidificateurs électriques ou au gaz Ionic Bed sont souvent choisis.

Humidificateurs à injection directe de vapeur

Pour comprendre les avantages de la vapeur sur les autres modes d'humidification, il convient d'évaluer trois caractéristiques essentielles.

- Le traitement
- La régulation
- La distribution

L'humidificateur doit traiter la vapeur de manière à ce qu'elle soit parfaitement sèche et ne présente pas un taux significatif de particules. La réponse aux signaux de régulation doit être immédiate et la modulation en sortie doit être précise. La distribution de vapeur dans l'air doit être aussi uniforme que possi-

ble. Un comportement inadéquat quant à ces trois caractéristiques indique que l'humidificateur ne répond pas aux exigences essentielles d'humidification.

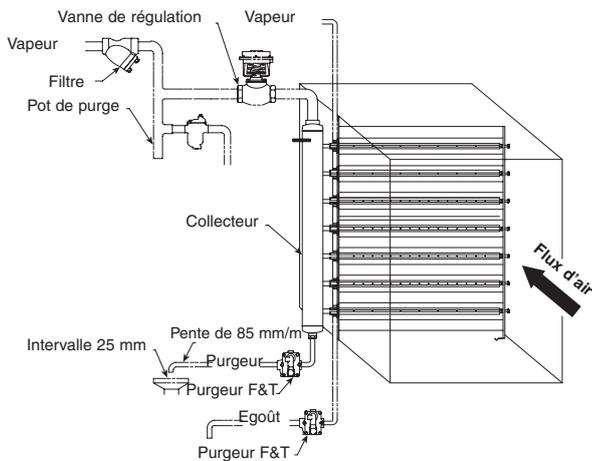
Les humidificateurs à injection directe de vapeur existent en trois principaux types : le type à panneau de conception spéciale, le type à gobelet et le type à séparateur d'eau de condensation.

Les humidificateurs à panneau de conception spéciale font l'objet d'études évoluées pour des applications particulières où la traînée de condensation est un problème de première importance.

Les humidificateurs à gobelet reçoivent la vapeur latéralement, ce qui permet au condensat de tomber par gravité dans le purgeur. En pratique, une bonne partie de la vapeur condensée passe toutefois dans le flux d'air et la vapeur proprement dite est mal dispersée.

Le séparateur d'eau de condensation est un appareil plus évolué qui répond aux critères essentiels de fonctionnement lorsqu'il est convenablement conçu.

Figure 20-1. Humidificateur à panneau



REMARQUE : le condensat ne peut pas remonter ou se décharger dans le retour pressurisé.

Figure 20-2. Humidificateur à gobelet

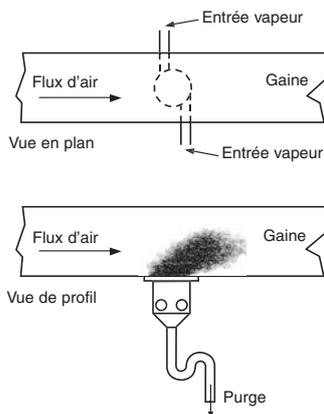
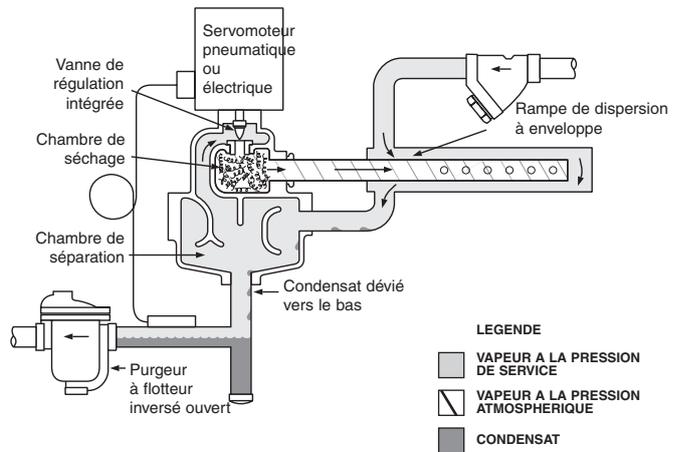


Figure 20-3. Humidificateur à séparateur d'eau de condensation



Conditionnement de la vapeur

Dans son mouvement le long des conduites, la vapeur peut entraîner du tartre et des dépôts ; un filtre Y est donc indispensable pour retenir les grosses particules solides. De la même façon, l'eau qui se condense dans les conduites peut être entraînée dans l'humidificateur sous forme de gouttelettes ou même de bouchons de condensat.

Dans l'humidificateur, plusieurs étapes sont nécessaires pour empêcher activement la dispersion de fines particules solides et liquides en même temps que la vapeur d'humidification.

La chambre de séparation de l'humidificateur doit être d'un volume suffisant afin de réduire au maximum la vitesse et séparer le condensat de la vapeur de façon optimale.

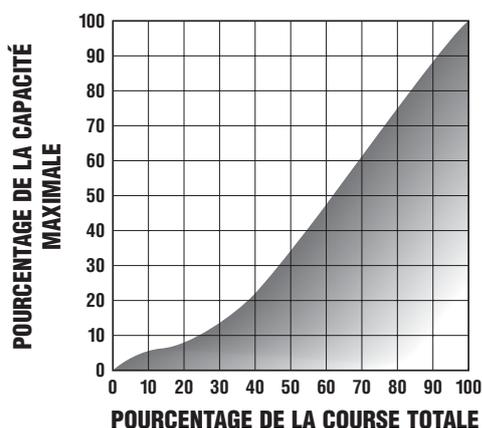
Convenablement séparé, le condensat transporte un proportion importante de particules microscopiques qui peuvent être évacuées par le purgeur.

La vapeur sortant de la chambre de séparation peut encore contenir des particules liquides, qu'il faudra éliminer. Dans les humidificateurs équipés d'une chambre de séchage interne enveloppée par la vapeur sortant de la chambre de séparation, les gouttelettes résiduelles peuvent s'évaporer à nouveau avant l'éjection de la vapeur. Pour la même raison, la vanne de régulation devrait également être intégrée dans le corps de l'humidificateur. Pour éviter la condensation lors de l'éjection de la vapeur, l'humidificateur et la conduite de dispersion doivent être enveloppés de vapeur à la pression et à la température de service.

Seule une conception de l'humidificateur appropriée au traitement de la vapeur peut assurer le niveau essentiel d'hygiène et de propreté ambiante. Ces quelques directives contribueront à améliorer le confort et à garantir que l'humidificateur répondra aux besoins physiques vitaux du système.

Régulation

Graphique 21-1. Courbe caractéristique linéaire modifiée pour les vannes utilisées en régulation. La modification de linéarité permet d'obtenir une régulation plus précise lorsque le débit demandé est très faible et que le pointeau est à peine levé de son siège.



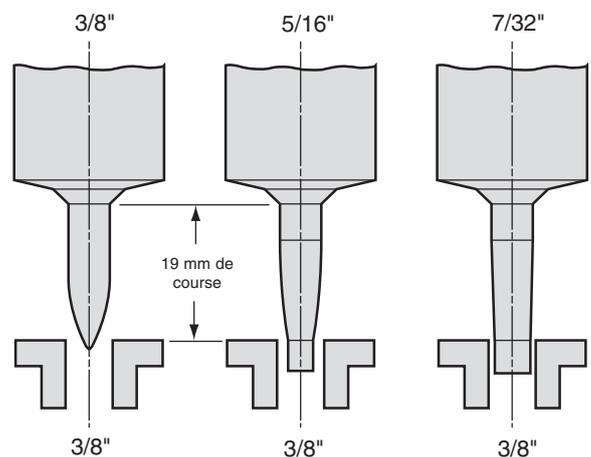
Dans la plupart des applications, les humidificateurs fonctionnent en continu à une fraction de leur capacité maximale.

La régulation de l'humidificateur doit fournir une réponse immédiate et moduler la sortie avec précision pour maintenir l'humidité relative requise. Une mauvaise régulation peut rendre difficile le réglage du taux d'humidité souhaité et peut conduire à un excès d'humidité et à des zones mouillées dans les gaines.

La précision de la régulation de l'humidificateur est influencée par deux facteurs : la vanne à pointeau et le servomoteur qui la positionne.

Pour une régulation précise du débit, la vanne doit être spécialement conçue pour l'injection de vapeur dans l'air. Les vannes à pointeau parabolique sont considérées comme les meilleures dans ce type d'application. Elles permettent une course plus longue que les vannes industrielles équivalentes et leur pointeau est habituellement engagé dans l'orifice de passage même en position d'ouverture complète. Il est ainsi possible de moduler le débit avec précision sur toute la course de la vanne.

Figure 21-1. Vanne à pointeau parabolique



Vanne de régulation

Le profil parabolique du pointeau offre également une très grande marge de réglage. La marge de réglage est le rapport entre le débit maximum et le débit minimum réglable de vapeur dans la vanne. Plus cette marge de réglage est grande, plus le réglage du débit de vapeur est précis. Le Tableau 22-1 présente les marges de réglage des vannes à pointeau parabolique utilisées dans les humidificateurs Armstrong Série 9000. Ces valeurs sont typiques de ce type de vanne.

Le servomoteur est un autre élément important de régulation de l'humidité. Il existe différents types de servomoteurs adaptés aux différents types de systèmes. Autant à l'ouverture qu'à la fermeture, le servomoteur doit être capable de positionner le pointeau de la vanne par rapport à son siège de manière pratiquement identique. Cette caractéristique est essentielle pour obtenir un débit de vapeur précis et constant vers l'humidificateur.

Les servomoteurs électriques ont de par leur conception une caractéristique de positionnement parfaitement linéaire à l'ouverture et à la fermeture. Les servomoteurs pneumatiques n'ont pas toujours des caractéristiques de positionnement et de maintien permettant une régulation précise. Les servomoteurs pneumatiques à membrane ne sont conseillés que s'ils satisfont aux critères suivants :

1. Grande surface de membrane (au moins 72 cm²) pour obtenir une force de levage suffisante. Cela permet d'utiliser un ressort assez fort pour compenser l'effet d'hystérésis et la réaction du fluide sur le positionnement de la vanne par rapport à la pression d'air du servomoteur.
2. Le matériau de la membrane doit être résistant à l'usure et à la fatigue.
3. La course du servomoteur doit être suffisamment longue (en rapport avec le dessin du pointeau et de son siège) pour assurer une grande marge de réglage.

Tous les servomoteurs de modulation, qu'ils soient électriques ou pneumatiques, doivent être équipés d'un ressort de rappel. Ce ressort est indispensable pour assurer la fermeture de la vanne en cas de coupure de courant ou d'air comprimé.

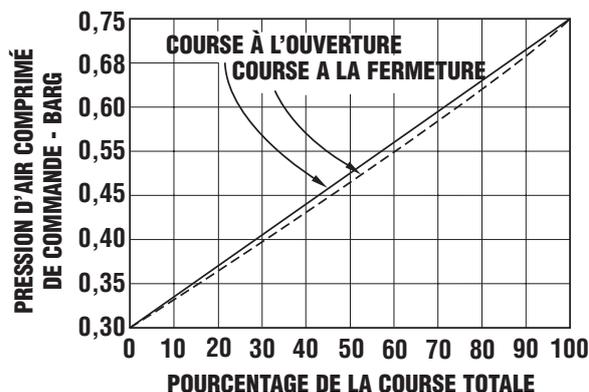
Dans le cas d'applications industrielles internes et pour des gaines très limitées, une vanne solénoïde peut être utilisée pour un fonctionnement tout ou rien. Pour des applications avec gaines, ce type de servomoteur ne devrait pas être spécifié sans une analyse détaillée du système.

Tableau 22-1. Marges de réglage des vannes pour humidificateur à vapeur

Taille de vanne	Marge de réglage	
	Rapport de débit max:min	Débit minimum en % du maximum
1 1/2"	63:1	1,6
1 1/4"	69:1	1,4
1 1/8"	61:1	1,6
1"	53:1	1,9
7/8"	44:1	2,3
3/4"	33:1	3,0
5/8"	123:1	0,8
9/16"	105:1	0,9
1/2"	97:1	1,0
15/32"	85:1	1,2
7/16"	75:1	1,3
13/32"	64:1	1,6
3/8"	70:1	1,4
11/32"	59:1	1,7
5/16"	49:1	2,0
9/32"	40:1	2,5
1/4"	31:1	3,2
7/32"	24:1	4,2
3/16"	18:1	5,6
5/32"	59:1	1,7
1/8"	37:1	2,7
7/64"	28:1	3,5
3/32"	21:1	4,8
5/64"	15:1	6,9
1/16"	10:1	10,0

Graphique 22-1. Caractéristique de fonctionnement souhaitée pour les servomoteurs pneumatiques

Le positionnement de la vanne est pratiquement identique à l'ouverture et à la fermeture, quelle que soit la pression de l'air comprimé de commande.



Dispersion de la vapeur

La dispersion de la vapeur est le troisième élément essentiel de bonne conception d'un humidificateur. La vapeur doit être injectée aussi uniformément que possible dans l'air afin qu'elle soit absorbée le plus rapidement possible, sans formation de zones saturées.

Dans des gaines ordinaires, une seule rampe de dispersion installée longitudinalement permet d'assurer une bonne répartition de la vapeur. Dans des gaines ou un plenum de grandes dimensions, il peut s'avérer nécessaire d'étendre le mode d'injection, ce qui nécessite plusieurs rampes installées sur un ou plusieurs humidificateurs.

Dans le cas de surfaces industrielles sans système central de traitement de l'air, l'humidification s'effectue généralement à l'aide d'unités injectant directement la vapeur dans l'ambiance. La vapeur et l'air peuvent alors être mélangés de manière appropriée selon deux modes. Soit un ventilateur de dispersion est monté sur l'humidificateur, soit une unité de chauffage est installée pour disperser et absorber la vapeur d'eau.

Figure 23-2. Rampe de dispersion simple dans une gaine ordinaire

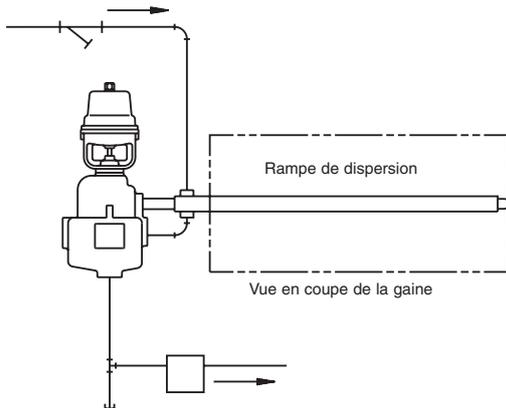


Figure 23-1. Humidificateur pour injection directe de vapeur

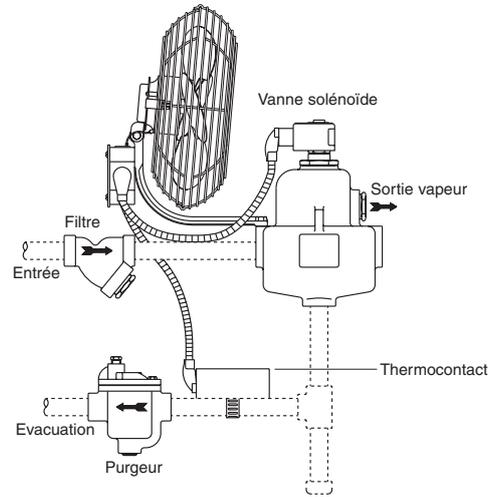
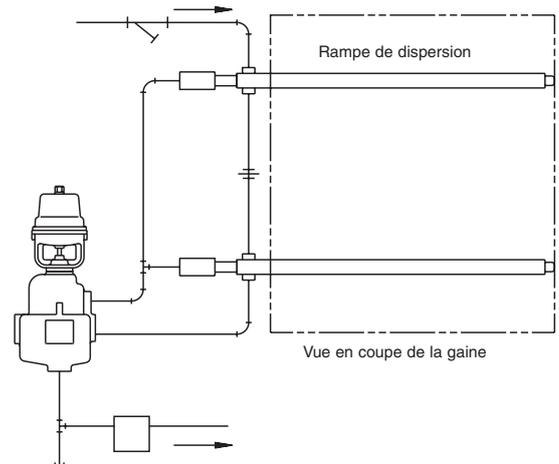


Figure 23-3. Plusieurs rampes de dispersion dans une gaine de grande dimension

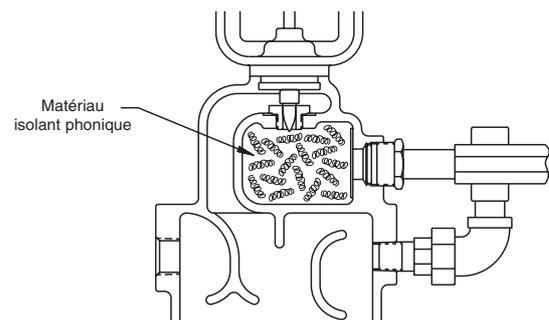


Remarque : pour le raccordement de plusieurs rampes, voir page 26

Bruit de fonctionnement

Outre les caractéristiques présentées plus haut, le bruit de fonctionnement doit être pris en compte dans la sélection des humidificateurs destinés à des installations où un fonctionnement silencieux est important (hôpitaux, bureaux, écoles, etc.)

Figure 23-4. La vanne de régulation produit un bruit d'échappement. Pour atténuer ce bruit, il est nécessaire de placer un isolant acoustique autour de la vanne.



Plusieurs principes de base doivent être pris en compte lors de la mise en œuvre d'équipements d'humidification afin de garantir le fonctionnement correct du système.

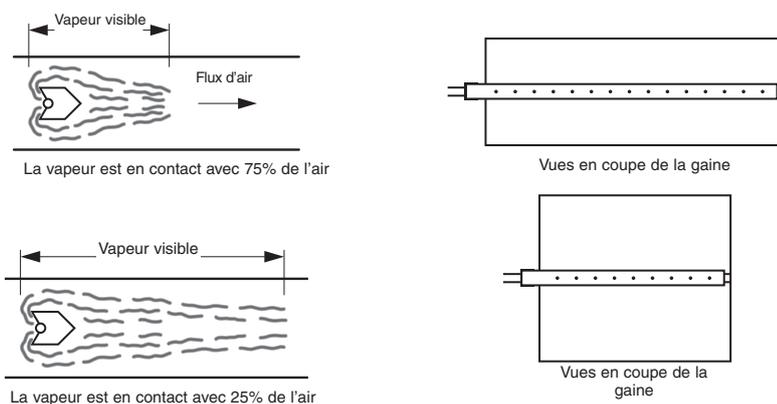
La dissipation de la vapeur dans les conduits d'air est l'une de ces préoccupations. Dans le processus d'humidification à vapeur, de la vapeur d'eau pure à 100°C est mélangée à de l'air à une température inférieure. Ce mélange de vapeur chaude et d'air froid est le siège d'un transfert de chaleur. Un phénomène de condensation se produit chaque fois que la vapeur cède de la chaleur. Cette condensation est appelée vapeur visible. Lorsque la rampe de dispersion injecte de la vapeur dans l'air, cette vapeur sous forme de gaz invisible se transforme rapidement en particules d'eau visibles, puis se dissipe pour redevenir à nouveau invisible.

La présence de vapeur visible indique une zone de sursaturation où de la vapeur invisible se condense en particules d'eau. Lorsqu'elle se condense, la vapeur à l'état de gaz cède sa chaleur latente de vaporisation (environ 2320 kJ/kg de vapeur). Comme elle se mélange complètement à l'air de la gaine, elle réabsorbe la chaleur latente précédemment cédée et, de vapeur visible, elle se transforme en gaz invisible. (Voir Figure 24-2.)

Autrement dit, il est très important de tenir compte de la dissipation de la vapeur dans les gaines de ventilation pour localiser correctement les capteurs de température ou d'humidité. Tout capteur placé à proximité ou dans une zone de vapeur visible fournira une indication imprécise du fait des poches d'air saturées en eau. Dans une configuration de gaine normale, tous les capteurs devraient se trouver à une distance de 300 à 360 cm en aval d'une rampe de dispersion. Toutefois, les caractéristiques suivantes du système affectent la formation de vapeur visible et doivent être prise en compte pour localiser les capteurs.

1. Rapport hauteur sur largeur des gaines. Le rapport hauteur sur largeur des gaines est un facteur qui influence la formation de vapeur visible. La Figure 24-1 représente deux gaines d'égale section, avec des rapports hauteur sur largeur différents. Les vitesses d'air, les températures, les HR et les débits de vapeur des rampes sont identiques. Dans la gaine de section carrée, la rampe est toutefois plus courte et sa vapeur entre en contact avec un pourcentage d'air plus faible, ce qui se traduit par une plus longue formation de vapeur visible.

Figure 24-1.



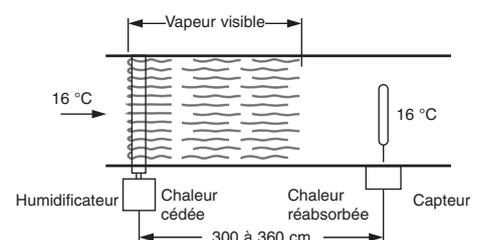
2. Température de l'air dans la gaine. La température de l'air dans la gaine influence également la longueur de la formation de vapeur visible. Un air plus chaud produit une formation de vapeur visible plus courte (voir Figure 25-2, page 25), toutes les autres conditions étant identiques.

3. Rampes isolées. Bien que l'humidification à la vapeur soit un processus isotherme, quelques kJ d'énergie sont cependant transférés au flux d'air par les rampes de dispersion enveloppées de vapeur. En général, cela se traduit par un gain de température inférieur à 1°C. L'emploi de rampes isolées permet de réduire ce transfert de chaleur pour les applications où la température de l'air est critique.

Dans les cas où ces rampes isolées ne peuvent pas être évitées, leur installation doit toutefois faire l'objet d'un examen. En général, l'installation d'une rampe de dispersion enveloppée de vapeur nécessite que l'on oriente l'injection de vapeur dans le sens opposé au courant d'air. **Dans le cas de rampes isolées, le jet de vapeur doit être dirigé dans le sens du courant d'air** pour éviter une accumulation d'humidité sur les surfaces froides de l'enveloppe d'isolation. Ce type de montage ne bénéficie toutefois plus de la turbulence engendrée par l'écoulement de l'air autour de la rampe, qui se manifeste dans le cas des rampes standard. Il en résulte une plus longue traînée de vapeur visible. La Figure 25-1 illustre une installation correcte et son effet sur la traînée de condensation.

4. Vitesse de l'air dans la gaine. Lorsque la vitesse de l'air dans la gaine augmente, la traînée de condensation s'allonge également. La Figure 25-4 représente deux coupes dans une gaine où les vitesses sont respectivement de 2,5 m/s et 10 m/s. Les autres conditions sont identiques : température, humidité de l'air, dimensions de gaine et débit de vapeur injecté par des rampes identiques. La longueur de la traînée de condensation est approximativement proportionnelle à la vitesse de l'air dans la gaine.

Figure 24-2. Variations typiques de température sèche (sensible) dans une gaine à proximité de la rampe de dispersion. La température augmente en fonction de la chaleur latente de vaporisation cédée (à proximité ou dans la traînée de condensation, la température peut s'élever de 1 à 2°C). Cependant, comme la vapeur visible se mélange à l'air et s'évapore de nouveau, la chaleur d'évaporation est réabsorbée et la température de l'air revient à sa valeur initiale.



5. Nombre de rampes de dispersion dans la gaine.

Dans une gaine de grande section requérant la capacité d'injection de deux humidificateurs, une dispersion optimale de la vapeur s'obtient en installant deux rampes sur toute la largeur de la gaine et en les espaçant verticalement de façon à diviser la hauteur en trois. Le même effet peut être obtenu à l'aide de rampes de dispersion multiples alimentées par un seul humidificateur de capacité suffisante. Lorsque la vapeur est injectée à partir de plusieurs rampes, le débit de chaque rampe est plus faible et davantage d'air entre donc en contact avec la vapeur. Cet effet est illustré dans la Figure 25-5.

6. HR de l'air dans la gaine. L'humidité relative de l'air de la gaine influence également la vapeur visible. Plus le taux d'humidité relative est élevé en aval de l'injection de vapeur, plus la traînée de condensation est longue. Lorsque les conditions dans la gaine sont proches de la saturation, la traînée de condensation est alors la plus longue. Il est heureusement possible de contrôler l'humidité relative dans la gaine à l'aide d'un humidistat, comme illustré dans la Figure 27-2, page 27.

Etant donné que l'installation de plusieurs rampes réduit la longueur de la traînée de condensation, cette configuration devrait être envisagée chaque fois que les conditions suivantes existent à l'endroit de l'humidificateur :

- A. La température de l'air dans la gaine est inférieure à 13°C ou l'humidité relative est supérieure à 80%.
- B. La vitesse de l'air dans la gaine est supérieure à 4 m/s.
- C. Des filtres "finaux" ou à "haut rendement" sont situés à moins de 300 cm en aval de l'humidificateur.

D. La hauteur de gaine est supérieure à 900 mm.

E. La vapeur visible entre en contact avec des accessoires (bobines, ventilateurs, registres, filtres non finaux, aubes directrices, etc.) situés en aval de l'humidificateur.

Le diagramme de la Figure 26-1 permet de déterminer le nombre de rampes nécessaires pour obtenir la longueur de mélange requise. Par exemple :

- Température d'air : 13°C
- HR : 80%
- Vitesse de l'air : 2 m/s
- Longueur de mélange requise : 1 mètre
- Débit de vapeur : 300 kg/h
- Dimensions AHU : 2 750 mm x 2 750 mm

Pour une longueur de mélange requise de 1 mètre, le graphique indique que 0,3 m de rampe devraient injecter un maximum de 7,2 kg/h de vapeur. Pour maintenir la longueur de mélange d'un mètre, la longueur totale de dispersion devrait donc être au moins de : $(300 / 7,2) \cdot 0,3 = 12,5$ mètres

Compte tenu des dimensions AHU, la plus grande rampe qui peut être installée aurait une longueur de 2,7 mètres. Dans ce cas, le nombre de rampes est de : $12,5 / 2,7 = 4,6 = 5$ rampes.

Dans le cas de l'exemple donné, ces calculs montrent que 5 rampes de 2,7 mètres sont nécessaires pour injecter 300 kg/h de vapeur et la mélanger à l'air de la gaine sur une distance de 1 mètre à partir de l'humidificateur.

Figure 25-1. Rampe de dispersion standard

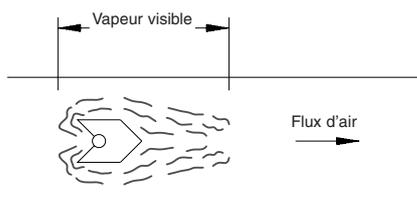


Figure 25-2. Rampe de dispersion isolée

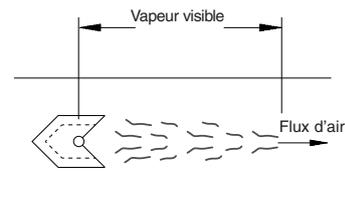


Figure 25-3.

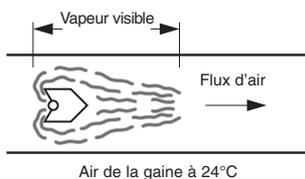


Figure 25-4.

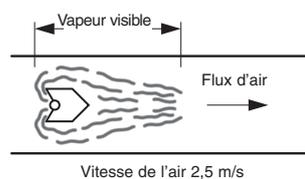
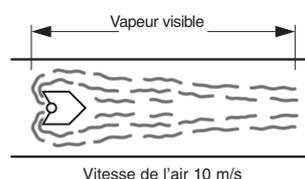
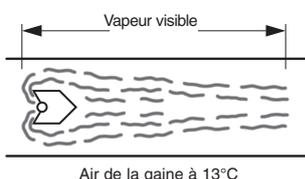
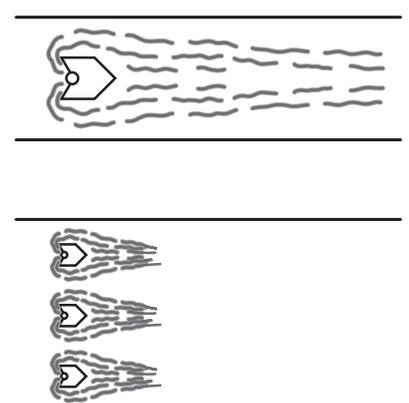


Figure 25-5.



Le Tableau 26-1 et la Figure 26-2 présentent des nombres types de rampes et les espacements correspondant entre les rampes lorsque la hauteur de gaine est supérieure à 900 mm.

Si vous avez besoin de conseils spécifiques, n'hésitez pas à consulter votre représentant Armstrong ou commandez le logiciel de dimensionnement et de sélection Armstrong Humid-A-ware sur le site www.armstrong.be.

Pour les humidificateurs à plusieurs rampes de dispersion, l'agencement de la tuyauterie dépend de l'emplacement des rampes.

Lorsque toutes les rampes sont situées au-dessus de l'entrée de l'humidificateur, les rampes devraient être raccordées comme indiqué dans la Figure 26-3.

Si une ou plusieurs rampes sont placées en dessous de l'entrée de l'humidificateur, les rampes devraient être purgées séparément comme indiqué dans la Figure 26-4.

Dans la mesure du possible, les rampes de taille inférieure permettent de réduire le coût des installations à rampes multiples. Il est important de veiller à ce que la capacité de l'humidificateur n'excède pas la somme des capacités des rampes. Le schéma de raccordement est donné à la Figure 27-3, page 27.

7. Rampe de dispersion trop proche du filtre à haut rendement. Un grand nombre de systèmes de traitement de l'air exigent l'usage de filtres à haut rendement (également appelés filtres "absolus" ou "finaux"). Ces filtres retiennent jusqu'à 99,97% des particules de 0,3 microns de diamètre et jusqu'à 100% des plus grosses particules. Le Tableau 26-2 montre l'importance de ces qualités de filtrage par rapport aux tailles de particule de substances courantes.

Figure 26-1.

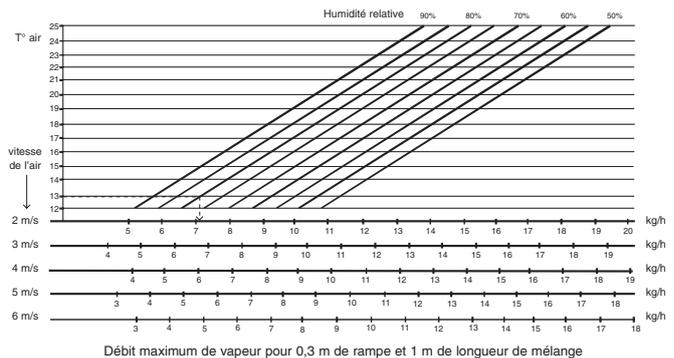


Figure 26-2.

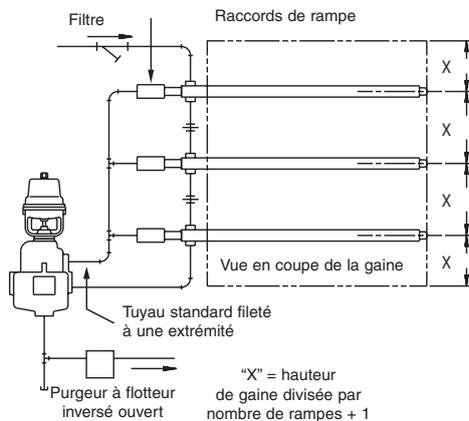
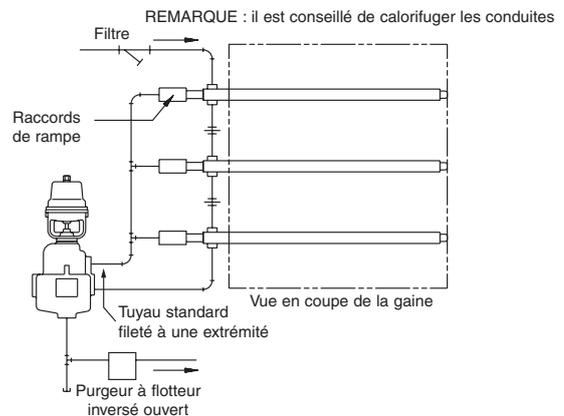


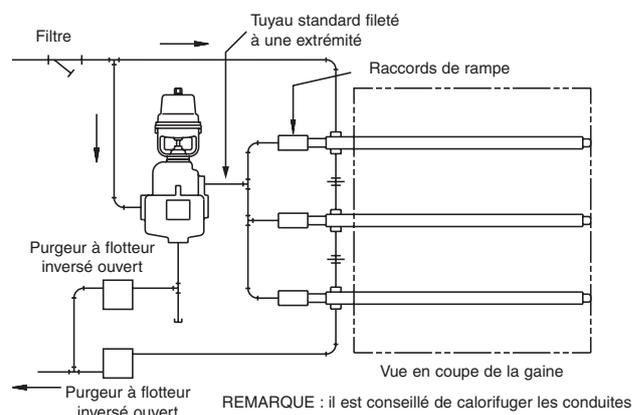
Figure 26-3.



Hauteur de gaine en mm au droit de l'humidificateur	Nbre de rampes à installer sur un ou plusieurs humidificateurs
900 à 1 500	2
1 500 à 2 000	3
2 000 à 2 500	4
2 500 et plus	5 ou plus

Substance	Taille de particule en microns
Particules visibles à l'oeil	10 ou plus
Cheveu	100
Poussière	1 à 100
Pollen	20 à 50
Brouillard (vapeur visible)	2 à 40
Brume (eau pulvérisée)	40 à 500
Fumée industrielle	0,1 à 1
Bactéries	0,3 à 10
Molécules gazeuses (vapeur)	0,0006

Figure 26-4.



Comme les particules d'eau présentes dans la vapeur visible ont une taille de 2 à 40 microns, elles sont facilement retenues dans les filtres à haut rendement. Certains types de filtre absorbent l'humidité en se dilatant, ce qui réduit le débit à travers le matériau filtrant. La pression statique dans la gaine augmente alors de la pression normale (environ 25 mm de colonne d'eau) à 1 000 mm CE. Lorsqu'un filtre absorbe l'humidité, il libère également la chaleur latente de condensation de la vapeur dans l'air de la gaine.

Lorsqu'une rampe de dispersion est placée trop près d'un filtre absolu, ce filtre retient la vapeur d'eau visible et empêche l'humidité d'atteindre l'espace à humidifier. Si la rampe de dispersion est située plus loin en amont, les particules d'eau peuvent s'évaporer et, à l'état de gaz, la vapeur traverse librement un filtre absolu.

En général, la vapeur d'eau se dissipe convenablement si la rampe d'humidification est placée à une distance minimum de 300 cm en amont du filtre absolu. Toutefois, si l'air de la gaine est à une température trop basse ou que sa vitesse est trop grande, ou si la gaine est trop haute, plusieurs rampes peuvent être nécessaires pour accélérer le mélange de la vapeur et de l'air de la gaine. Pour une meilleure protection, il convient d'installer un capteur en amont du filtre absolu pour limiter d'humidité à un maximum d'environ 90%. (Voir Figure 27-2.)

Les humidificateurs à panneau de conception spéciale

Dans le cas d'applications où les distances d'absorption aval sont très limitées, des systèmes de conception spéciale peuvent être envisagés. Ces systèmes comportent un collecteur et un assemblage de tubes de dispersion intégrant une vanne de régulation, un filtre, un purgeur sur l'alimentation en vapeur et un ou deux purgeurs sur le collecteur. Chaque système est adapté de façon à uniformiser la dispersion et à raccourcir la distance de mélange aval. (Voir Figure 27-4.)

Comment les systèmes à panneau de vapeur réduisent la distance de mélange

La vapeur traitée pénètre dans chaque tube de dispersion et sort par des tubulures partant du centre du tube pour être éjectée au travers d'orifices dans l'écoulement d'air.

L'air rencontre tout d'abord des tubes déflecteurs (voir Figure 27-1) qui modifient l'écoulement en augmentant sa vitesse. L'air s'écoulant autour des tubes déflecteurs rencontre à contre-courant les jets de vapeur qui s'échappent à grande vitesse des orifices. La vapeur se disperse ainsi plus uniformément et se dissipe plus rapidement dans l'air, ce qui se traduit par une distance de mélange plus courte que celle obtenue avec les rampes ou les tubes de dispersion conventionnels.

Figure 27-1.

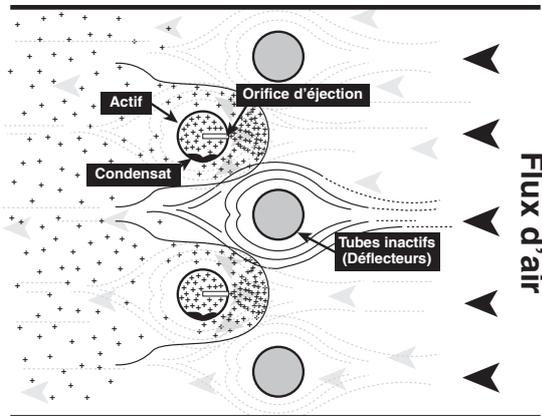


Figure 27-3.

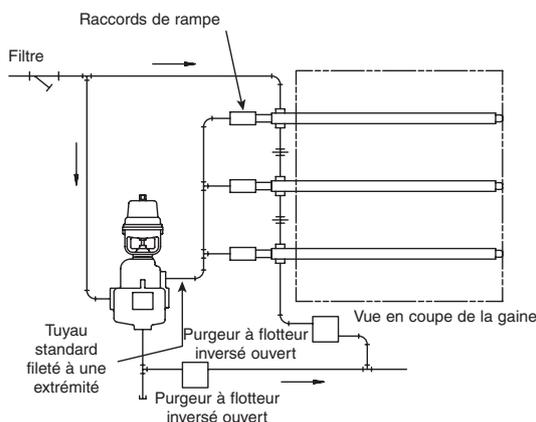


Figure 27-2.

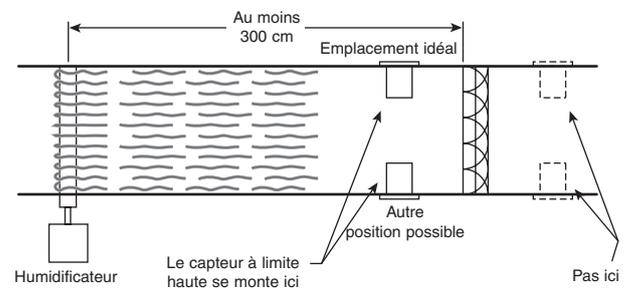
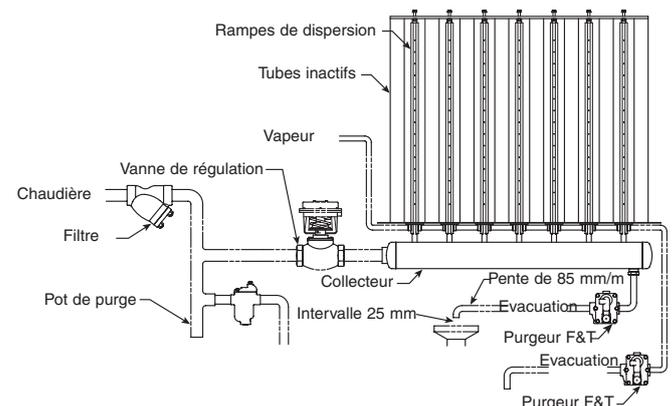


Figure 27-4. Système à panneau de vapeur



REMARQUE : le condensat ne peut pas remonter ou s'évacuer dans le retour pressurisé.

Prise en compte de la psychrométrie dans les gaines de ventilation

En pratique, il n'est pas rare que des besoins en humidification ne puissent pas être satisfaits par un système central de conditionnement d'air. Il s'agit souvent de salles nécessitant la dissipation d'une grande puissance calorifique par une amenée d'air à basse température de façon à maintenir les conditions de température d'étude. Les salles d'opérations des hôpitaux ou les salles d'informatique sont des exemples typiques où l'air des gaines de ventilation doit avoir une température de l'ordre de 10°C pour maintenir la température ambiante dans les conditions d'étude de 24°C. Ces basses températures de gaine empêchent une humidification suffisante de l'air et ne permettent pas d'atteindre la valeur d'étude HR dans les salles, à savoir 55% HR.

Dans de telles conditions, à titre d'exemple, de l'air à 10 °C et 90% HR contient un peu moins de 6,86g d'eau par kg d'air. A 24°C, cette même quantité de 6,86g d'eau produit une humidité relative de 39%. Pour atteindre les conditions d'étude de 55% HR, l'air devrait contenir 10,2 g d'eau par kg d'air, soit 3,34 g de plus qu'il ne peut en contenir à la température de la gaine, selon la psychrométrie.

De telles applications nécessitent que l'on renforce l'humidification de l'air de la salle après qu'il ait atteint sa température finale. Dans ce but, des humidificateurs électriques autonomes peuvent être utilisés. Il est toutefois conseillé d'utiliser des unités humidificateur-ventilateur qui peuvent être installées soit dans la salle à humidifier, soit dans une gaine éloignée. Pour les hôpitaux, les unités humidificateur- ventilateur devraient être équipées d'un filtre à haut rendement (95%) pour répondre aux réglementations en vigueur.

Détermination du débit d'humidification des systèmes de climatisation

La plupart du temps, les ingénieurs préfèrent calculer les besoins en humidification sur la base de conditions d'étude psychrométriques. Il existe toutefois des méthodes rapides permettant d'effectuer et de vérifier les calculs psychrométriques. Ces méthodes sont décrites plus bas.

Dimensionnement primaire

Pour dimensionner les humidificateurs intégrés aux gaines des systèmes de climatisation, les données suivantes doivent être connues :

- Débit d'air en m³/h
- Température et humidité relative extérieures d'étude
- Température et humidité relative requises à l'intérieur
- Pression de vapeur d'alimentation des humidificateurs

La formule pour le calcul du débit est la suivante :

$$\text{Débit d'humidification :} = \frac{\text{m}^3/\text{h} \cdot \rho \cdot (X_2 - X_1)}{1\,000}$$

en kg/h

Où :

- m³/h = débit d'air non humidifié d'humidité relative R₁
- X₂ = teneur en eau requise pour l'air intérieur en g/kg air
- X₁ = teneur en eau de l'air à humidifier (à partir des conditions extérieures) en g/kg air
- ρ = masse spécifique de l'air en kg/m³ (à la température intérieure)

EXEMPLE, supposons :

10 000 m³/h d'air extérieur.
 Conditions d'étude de l'air extérieur : -10°C à 80% RH
 Pression de vapeur : 1 barg
 HR requise de 40% à 24°C
 Des capteurs sont utilisés pour l'air.

$$\text{Débit d'humidification en kg/h} = \frac{10\,000 \cdot 1,19 \cdot (7,42 - 1,28)}{1\,000} = 73 \text{ kg/h}$$

Un seul humidificateur peut fournir ce débit. Toutefois, deux humidificateurs commandés de façon séquentielle pourraient être nécessaires pour éviter la condensation dans les gaines aux faibles débits d'humidification. La longueur de la rampe de dispersion est fonction de la largeur de gaine à l'endroit où l'humidificateur doit être monté.

Dimensionnement de l'humidificateur d'appoint

Supposons que l'humidificateur primaire permette d'atteindre 40% HR à 21°C et qu'il soit nécessaire de maintenir 60% HR dans un laboratoire alimenté par un débit d'air de 1 500 m³/h à 40% HR et 21°C.

$$\text{Débit d'humidification en kg/h} = \frac{1\,500 \cdot 1,2 \cdot (9,3 - 6,17)}{1\,000} = 5,63 \text{ kg/h}$$

Comparaison entre les conditions de gaine et ambiantes

Lorsqu'un taux d'humidité élevé est requis dans une pièce (21°C - 60% RH) et que la température de gaine est inférieure (10°C) à la température ambiante, l'humidistat à limite haute de la gaine agit comme capteur d'humidité. Les humidistats à limite haute des gaines devraient être réglés sur 70% et 90% HR. Il n'est pas conseillé de régler la valeur limite à plus de 90% HR. Le Tableau 28-4, page 28 indique l'humidité ambiante maximum réalisable en fonction des conditions de gaine données.

Tableau 28-4. HR ambiante maximum en fonction des conditions de gaine

Température de gaine °C	Humidité relative de gaine (RH)	HR ambiante @ Température °C			
		20°	21°	22°	24°
10	90%	47%	44%	41%	37%
	85%	44%	41%	39%	35%
	80%	42%	39%	36%	33%
13	90%	57%	53%	49%	44%
	85%	53%	50%	46%	42%
	80%	50%	47%	44%	39%
16	90%	68%	63%	59%	53%
	85%	64%	60%	56%	50%
	80%	60%	56%	52%	47%

Cycles économiseurs

Certains systèmes à récupération mélangent une proportion variable d'air de retour et d'air extérieur pour obtenir de l'air à une température donnée. Dans ce cas, la détermination des débits maxima d'humidification demande une étude spéciale.

De tels systèmes utilisent généralement une quantité fixe d'air extérieur (environ 10% à 30%) lorsque la température extérieure correspond au maximum d'étude (-23°C). Si la température extérieure augmente, une plus grande quantité d'air extérieur est mélangée à l'air de retour pour obtenir la température finale de 13 °C. Comme le débit d'humidification est fonction de la quantité d'air extérieur introduite (et de sa teneur en eau), le besoin maximum en humidification aura lieu à une température extérieure différente du maximum considéré pour l'étude.

Conditions

Les Tableaux 29-1 et 29-3 ci-dessous donnent le pourcentage d'air extérieur nécessaire pour maintenir le mélange d'air à la température souhaitée en fonction de la température extérieure. Le Tableau 29-1 correspond à une température de retour (température ambiante) de 21°C et le Tableau 29-3 à une température de retour de 24°C.

Les Tableaux 29-2 et 29-4 peuvent servir à déterminer le débit maximum d'humidification aux températures et HR données du mélange d'air, en supposant 40% HR avec un minimum de 10% HR pour l'air extérieur.

REMARQUE : pour des systèmes à température plus basse, des conditions de sursaturation doivent être prise en compte.

EXEMPLE

Supposons que l'air de retour à 21°C soit mélangé à de l'air extérieur à 13°C pour produire un mélange à température constante dans la gaine. Les conditions d'étude de l'espace climatisé sont 21°C et 40% RH. Le débit d'air total du système de ventilation est de 68 000 m³/h. Déterminer le débit maximum d'humidification.

D'après le Tableau 29-2, pour une température de mélange de 13°C et une humidité relative d'étude de 40% HR, le débit d'humidification maximum est de 3,0 kg par 1 000 m³/h de débit total d'air. Ce débit correspond à une température extérieure de 13°C. En multipliant le résultat précédent de 3,0 kg par 68, l'on obtient le débit total en kg/h requis pour un système de 68 000 m³/h. Le débit maximum d'humidification est donc de 204 kg/h de vapeur.

Tableau 29-1. Retour d'air à 21°C

T° de mélange souhaitée °C	% air extérieur requis en fonction de la température														
	-23°	-18°	-15°	-12°	-9°	-7°	-4°	-1°	2°	4°	7°	10°	13°	16°	18°
10	25	29	31	33	36	40	45	50	57	67	80	100	-	-	-
13	19	21	23	25	27	30	33	36	43	50	60	75	100	-	-
16	12	14	15	17	18	20	22	25	29	33	40	50	67	100	-
18	6	7	7	8	9	10	11	13	14	16	20	25	33	50	100

Tableau 29-2. Retour d'air à 21°C

Débit maximum d'humidification (en kg/h de vapeur/1 000 m³/h d'air total) en fonction de la T° extérieure et de l'humidité relative intérieure												
HR intérieure	30%		35%		40%		45%		50%		55%	
Air mélangé °C	Air extérieur °C	Débit max.										
10	6	2,1	10	2,9	10	3,8	10	4,7*	10	5,7*	10	6,6*
13	6	1,5	11	2,1	13	3,0	13	4,0	13	4,9	13	5,9*
16	6	1,0	11	1,4	16	2,2	16	3,1	16	4,1	16	5,0
18	6	0,5	11	0,7	18	1,2	18	2,1	18	3,0	18	4,0

Tableau 29-3. Retour d'air à 24°C

T° de mélange souhaitée °C	% air extérieur requis en fonction de la température														
	-23°	-18°	-15°	-12°	-9°	-7°	-4°	-1°	2°	4°	7°	10°	13°	16°	18°
10	30	33	36	38	42	45	50	56	62	71	83	100	-	-	-
13	23	26	28	31	33	36	40	44	50	57	67	80	100	-	-
16	18	20	21	23	25	27	30	33	37	43	50	60	75	100	-
18	12	13	14	15	16	18	20	22	25	29	33	40	50	67	100

Tableau 29-4. Retour d'air à 24°C

Débit maximum d'humidification (en kg/h de vapeur/1 000 m³/h d'air total) en fonction de la T° extérieure et de l'humidité relative intérieure												
HR intérieure	30%		35%		40%		45%		50%		55%	
Air mélangé Temp. °C	Air extérieur °C	Débit max.										
10	8	3,0	10	4,1	10	5,2*	10	6,3*	10	7,4*	10	8,5*
13	8	2,4	13	3,3	13	4,4	13	5,6*	13	6,6*	13	7,8*
16	8	1,8	16	2,5	16	3,6	16	4,7	16	5,8	16	6,9*
18	8	1,2	18	1,7	18	2,6	18	3,7	18	4,8	18	5,9*

* Les débits d'humidification excéderont 90% HR à la température indiquée. Un appoint d'humidification est donc recommandé.

Pour qu'un humidificateur fonctionne sans problème et donne entière satisfaction, il est essentiel de le positionner, de le monter et de le réguler correctement. Le but principal est d'obtenir l'humidité relative requise sans condensation et sans formation de gouttes ou de projections d'eau. L'humidité sous forme liquide ne peut être tolérée dans le système, même de façon localisée. Outre le danger pour la construction que représente la présence d'eau dans les gaines, un danger pour la santé beaucoup plus grave peut apparaître lorsque des bactéries y trouvent un milieu de prolifération.

En plus de la nécessité d'un humidificateur bien conçu et fonctionnant correctement, d'autres facteurs méritent une attention particulière. L'humidificateur doit avoir une capacité appropriée au système ; il doit être correctement positionné par rapport aux autres composants et doit être monté et raccordé de manière à ne pas rendre toutes les autres précautions inopérantes. Lors du dimensionnement des humidificateurs, il convient de s'assurer qu'ils fourniront la quantité de vapeur par heure calculée dans l'étude du projet. La pression de vapeur d'alimentation des humidificateurs doit être relativement constante pour garantir un débit suffisant. Il convient de vérifier également qu'il n'y a pas de risque d'ajouter plus d'humidité dans l'air, par rapport à ce qu'il peut contenir à la température réelle. Le diagramme psychrométrique peut s'avérer très utile pour déterminer les valeurs d'humidité possibles de l'application.

Positionner correctement les humidificateurs dans le système est très important, bien que cette tâche soit parfois rendue difficile par la conception même du système. Les exemples qui suivent montrent l'emplacement correct d'un humidificateur dans des systèmes type.

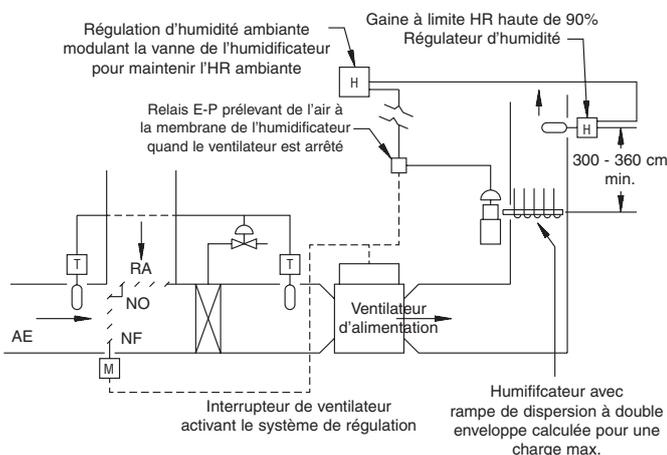
Système 1

Il s'agit d'un simple système de ventilation. La température finale de l'air de la gaine est supposée légèrement supérieure à la température ambiante. La position souhaitable de la rampe de dispersion de l'humidificateur primaire est fixée en aval du ventilateur. Cet humidificateur devrait être dimensionné pour fournir le débit maximum d'étude. Si l'humidificateur était placé entre l'échangeur et le ventilateur, il pourrait influencer le capteur de température. Le capteur d'humidité à limite haute indiqué sur le schéma est facultatif. Ce capteur est conseillé si le débit de l'humidificateur dans les conditions d'étude risque de saturer l'air lorsque l'humidité de l'air extérieur est supérieure à celle considérée dans l'étude. Le capteur à limite haute devrait être placé à une distance de 300 à 360 cm en aval de l'humidificateur. Les températures à l'endroit du capteur et de l'humidificateur doivent être identiques. Une température plus basse à l'endroit de l'humidificateur pourrait entraîner un risque de saturation si le capteur à limite haute se trouvait à un endroit plus chaud.

Le système représenté est un système à commande pneumatique. L'interrupteur du ventilateur active le système de commande et le relais électropneumatique est alimenté en air à partir de la membrane du servomoteur lorsque le ventilateur est à l'arrêt. La commande pneumatique est également représentée ; dans le cas d'une commande électrique, la position des appareils serait identique.

Système 1

Figure 30-1. Système de ventilation avec humidification primaire



Caractéristiques de ce système et des systèmes suivants :

- Une régulation précise est possible grâce à la réponse immédiate de l'humidificateur à vapeur.
- La commande peut être électrique ou pneumatique (comme sur le schéma).
- Pas besoin de bacs de récupération ou de séparateurs de gouttelettes pour faciliter le positionnement de l'humidificateur.
- L'ajout d'humidité s'effectue sans changement significatif de température sèche.
- La vanne de régulation à pointeau parabolique intégrée à l'humidificateur est dimensionnée avec précision pour satisfaire les besoins en débit de vapeur.

Légende

EA.....	Air évacué
Relais E-P.....	Relais électropneumatique
H.....	Régulateur d'humidité
M.....	Moteur de registre
MA.....	Air mélangé
NC.....	Normalement fermé
NO.....	Normalement ouvert
OSA.....	Air extérieur
RA.....	Retour d'air
T.....	Régulateur de température

Système 2

Ce système avec échangeur de préchauffage et de chauffage utilise 100% d'air extérieur. L'échangeur de préchauffage amène l'air extérieur à une température de gaine régulée entre 10°C et 16°C. L'échangeur de chauffage ajoute plus de chaleur sensible en fonction des besoins de l'espace ambiant. Dans ce système, la position souhaitable de l'humidificateur primaire est en aval de l'échangeur de chauffage de façon à introduire l'humidité à la plus haute température sèche de l'air.

Remarquez que le capteur d'humidité se trouve dans la gaine d'évacuation. Lorsqu'il n'est pas possible de trouver un emplacement approprié pour le capteur d'humidité dans l'espace à humidifier, la meilleure solution consiste alors à le placer dans la gaine d'évacuation aussi près que possible de la grille de sortie.

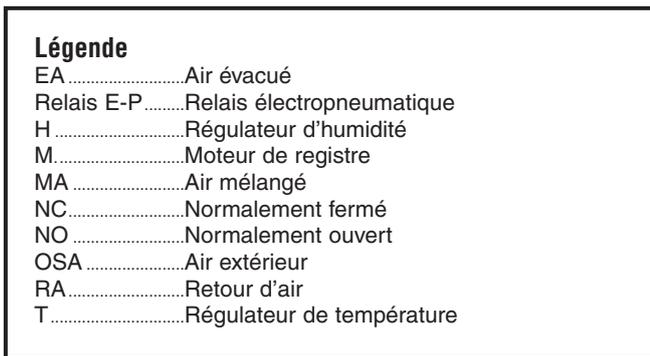
Dans le présent cas, le capteur à limite haute est également facultatif, tout en étant conseillé.

Système 3

Ce système est similaire au précédent. Il aspire également 100% d'air extérieur et comporte des échangeurs de préchauffage et de chauffage. Deux humidificateurs sont utilisés et sont régulés séquentiellement à partir d'un capteur placé dans l'espace à humidifier ou dans la gaine de ventilation. Ces deux humidificateurs sont repérés sur le schéma par V-1 et V-2.

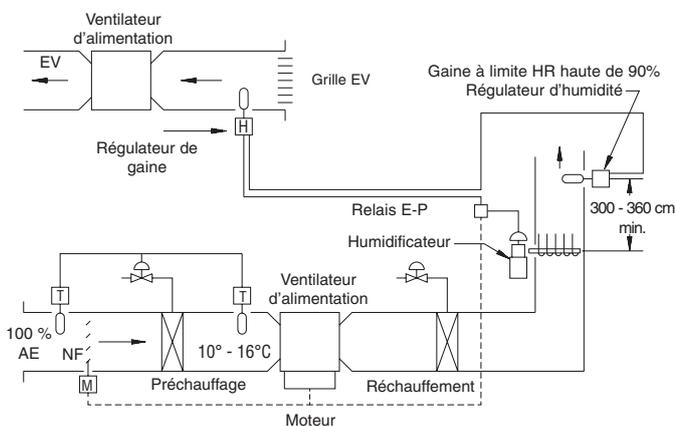
V-1 fournit un tiers de la capacité totale avec une plage de fonctionnement de 0,2 à 0,5 bar. V-2 est dimensionné pour les deux tiers restants avec une plage de fonctionnement de 0,6 à 0,9 bar. Cette disposition permet une meilleure régulation de l'injection de vapeur, en particulier lorsque les conditions de fonctionnement s'écartent considérablement des conditions d'étude. Il est ainsi possible d'éviter la surcharge et la saturation dans la gaine. Lorsque les conditions extérieures sont tempérées, l'humidificateur V-1 peut satisfaire les besoins en injectant une partie seulement du débit total d'étude.

Lorsque l'air extérieur devient plus froid et sec, l'humidificateur V-1 ne satisfait plus la demande et l'unité V-2 commence à s'ouvrir pour fournir le supplément nécessaire. Ce fonctionnement séquentiel permet une régulation plus précise dans toutes les conditions d'air extérieur et empêche la sursaturation dans la gaine aux conditions d'étude minimales. Dans ce cas également, le capteur à limite haute est facultatif, tout en étant conseillé.



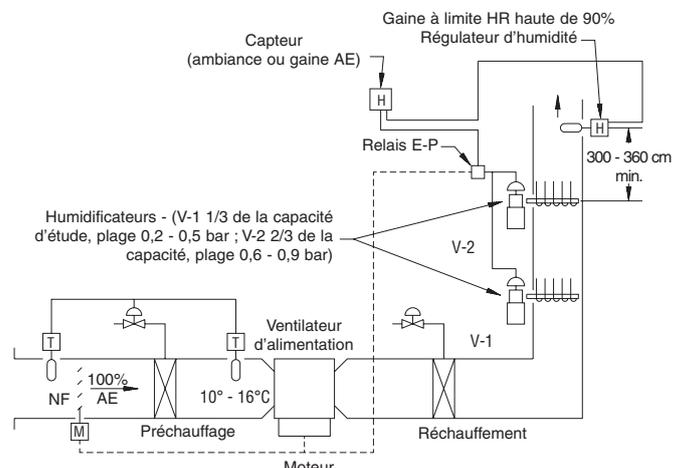
Système 2

Figure 31-1. Système à 100% d'air extérieur chauffé avec humidification primaire.



Système 3

Figure 31-2. Système à 100% d'air extérieur chauffé avec commande séquentielle de l'humidification primaire.



Système 4

Ce système est un autre cas à 100% d'air extérieur. L'air quittant l'échangeur de préchauffage est maintenu à température sèche constante dans une plage de 13 à 16°C. Deux humidificateurs sont utilisés : l'un comme humidificateur primaire, l'autre comme humidificateur d'appoint ou secondaire.

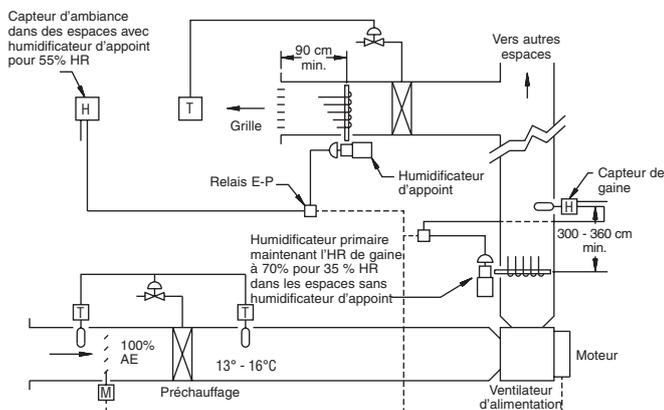
Ce système permet de commander directement un humidificateur primaire à partir d'un capteur en gaine afin d'obtenir un taux d'humidité suffisant d'environ 35% HR dans l'espace humidifié à 24°C. L'unité d'appoint, située en aval d'un échangeur de chauffage et d'un ventilateur, peut être dimensionnée et commandée de façon à augmenter le taux HR jusqu'à 55% aux endroits où c'est désirable. Cette disposition permet une régulation individuelle à un taux d'humidité supérieur, qu'il ne serait pas possible d'atteindre autrement.

Cette combinaison d'humidificateurs est importante, car l'unité primaire permet de réduire la capacité de l'unité d'appoint à une valeur telle que la saturation et la vapeur visible ne sont plus possibles, même lorsque les unités sont placées à 90 cm de la grille de sortie. Pour plus d'informations à ce sujet, consultez votre représentant Armstrong ou commandez le logiciel Humid-A-ware(tm) pour le dimensionnement et la sélection d'humidificateurs à www.armstrong.be.

Dans ce système type de traitement de l'air, il ne serait pas possible, pour des raisons psychrométriques, d'introduire assez d'humidité dans l'air en aval de l'échangeur de préchauffage pour obtenir le maximum d'humidité requise dans l'ambiance au-delà de 35% HR. L'association d'un humidificateur primaire et d'un humidificateur d'appoint est la seule solution permettant de réguler l'humidité relative ambiante au-delà d'environ 35%.

Système 4

Figure 32-1. Système à 100% d'air extérieur chauffé avec humidification primaire et secondaire.

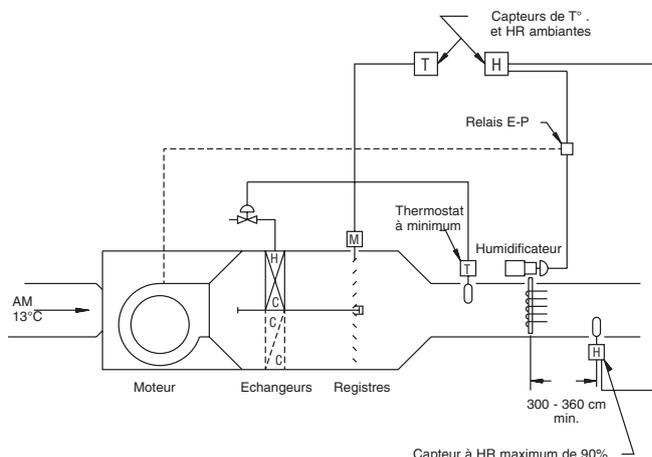


Système 5

Ce système se compose d'une unité intégrée de chauffage et de ventilation avec registres de face et de dérivation pour une seule zone. L'humidificateur devrait être placé en aval des registres de mélange de sorte que l'humidité soit introduite aux températures d'air régnant à la sortie de l'unité de chauffage et de ventilation. A cet endroit, il est possible de maintenir un taux élevé d'humidité relative sans problème de saturation dans la gaine. Cette position convient mieux que juste avant les échangeurs, du fait de meilleures conditions de température et de mélange. Un capteur à limite haute situé à 300-360 cm en aval de l'humidificateur est également conseillé pour éviter toute saturation dans la gaine.

Système 5

Figure 32-2. Unité de chauffage et de ventilation intégrée avec registres de face et de dérivation - humidification primaire.



Système 6

Ce système se compose d'une unité intégrée de chauffage et de ventilation multi-zone avec registres de face et de dérivation pour chaque zone. Cet exemple montre une méthode de positionnement de l'humidification primaire qui doit toutefois se limiter à des conditions de confort de 35 % HR. Ces systèmes sont des unités intégrées dans lesquelles l'humidificateur est habituellement placé en amont des échangeurs, comme indiqué sur le schéma. Cette position permet une dispersion égale de vapeur aux étages chauds ou froids avant de quitter la zone de chauffe ; elle limite toutefois la quantité d'humidité qui peut être ajoutée à de l'air à 13°C. Les conditions d'étude au-dessus de 35% HR présentent un risque d'impact de vapeur condensée sur les échangeurs.

Dans de telles unités, il est parfois possible de placer deux humidificateurs à cet endroit avec des déflecteurs de séparation ; ces humidificateurs sont alors dimensionnés pour des conditions d'humidité relative différentes dans leur section respective. Lorsqu'un taux HR plus élevé est nécessaire, des humidificateurs d'appoint peuvent être installés dans des zones particulières.

Système 7

Il s'agit d'un système à double gaine à haute vitesse avec humidificateur primaire et secondaire comme indiqué sur le schéma. Comme pour le système 6, l'humidificateur primaire est capable de fournir uniquement l'humidification de confort (30% à 35% HR). L'espace étant limité l'humidificateur primaire est placé en amont du ventilateur ; il est dimensionné pour maintenir une condition de gaine de 90% HR à la température du mélange d'air. L'humidificateur doit se trouver le plus loin possible en amont (à 90 cm au moins de la face du ventilateur) pour assurer un bon mélange d'air et permettre au capteur de gaine de détecter à temps le manque de saturation. Le montage de plusieurs rampes permet un bon mélange d'air.

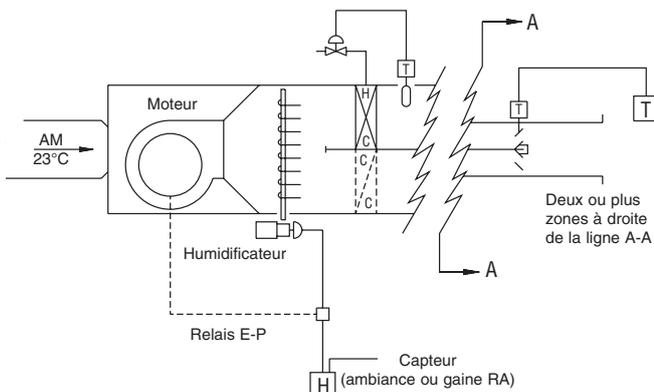
Remarquez, dans ce cas, que l'humidificateur primaire ne devrait pas être commandé par une capteur d'ambiance ou un capteur de gaine d'évacuation, mais par un capteur sur la gaine d'alimentation, comme indiqué sur le schéma. Comme chaque zone est dotée de sa propre boîte de mélange à température régulée, le positionnement de l'humidificateur primaire dans l'ambiance ou dans la gaine d'évacuation ne permettrait pas une régulation précise. De plus, la distance entre l'humidificateur et le capteur pourrait entraîner un retard ou un dépassement de réponse.

Légende

EA	Air évacué
Relais E-P	Relais électropneumatique
H	Régulateur d'humidité
M.....	Moteur de registre
MA	Air mélangé
NC.....	Normalement fermé
NO	Normalement ouvert
OSA	Air extérieur
RA	Retour d'air
T	Régulateur de température

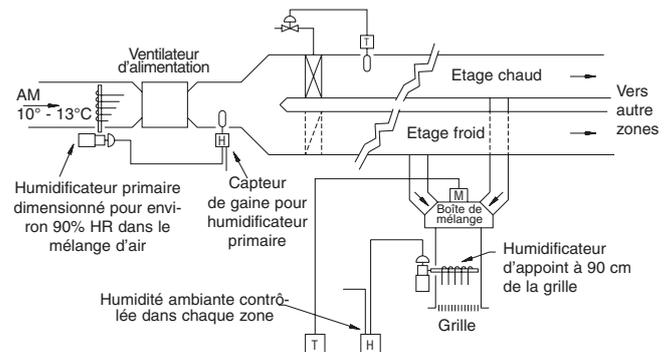
Système 6

Figure 33-1. Unité multi-zone de chauffage et de ventilation intégrée avec registres de face et de dérivation pour chaque zone - humidification primaire.



Système 7

Figure 33-2. Système à double gaine à haute vitesse avec humidification primaire et secondaire.



Installations de conditionneurs d'air en groupe

Les humidificateurs doivent souvent être installés dans des conditionneurs d'air centraux en groupe. Dans ce cas, les exigences de positions peuvent être inhabituelles étant donné le compartimentage serré des groupes.

Dans une unité à injection horizontale de type "à aspiration" (Figure 34-1), il est conseillé de placer l'humidificateur à la sortie du ventilateur. Dans certains cas, cet emplacement n'est pas possible. Remarquez qu'à l'emplacement auxiliaire, la rampe de dispersion injecte la vapeur vers le haut à l'endroit où l'air est le plus turbulent. Cela permet d'obtenir un mélange optimum avant d'atteindre les pales du ventilateur. Lorsque l'humidificateur occupe la position auxiliaire, un capteur à limite haute réglé sur 80% HR devrait être placé à l'endroit indiqué.

Pour un conditionneur de type "à aspiration" à injection verticale, les emplacements d'humidificateur conseillés (Figure 34-2) sont identiques à ceux de l'unité horizontale. Dans le cas de la position auxiliaire, il est préférable d'installer un capteur à limite haute réglé sur 80% HR. La rampe de dispersion doit être dirigée vers le haut comme dans le cas de l'unité à injection horizontale.

Figure 34-1. Injection horizontale
Si l'humidificateur est installé à la position conseillée, le capteur à limite haute doit être réglé sur 90% HR - en position auxiliaire le réglage doit être de 80% HR.

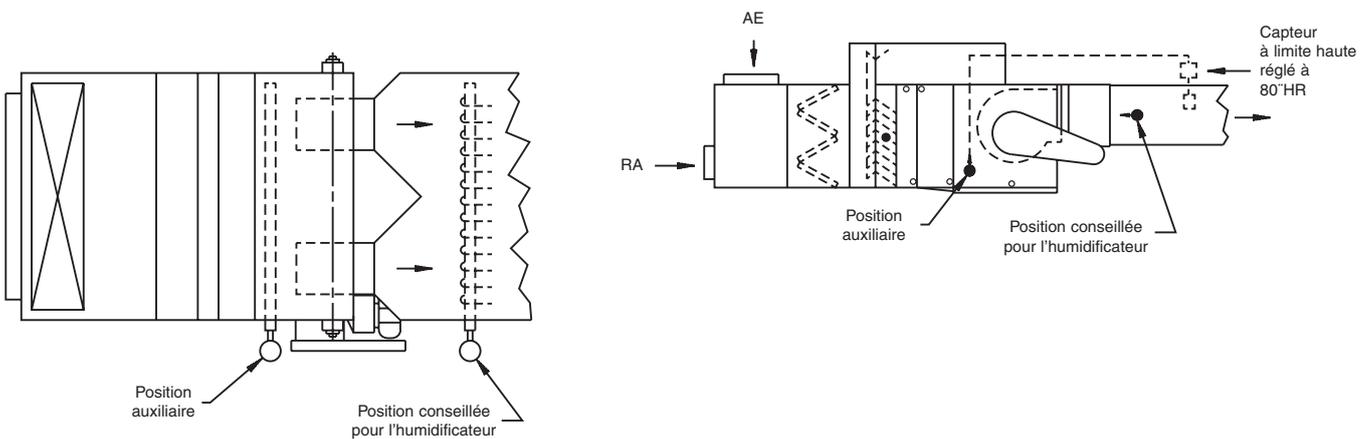
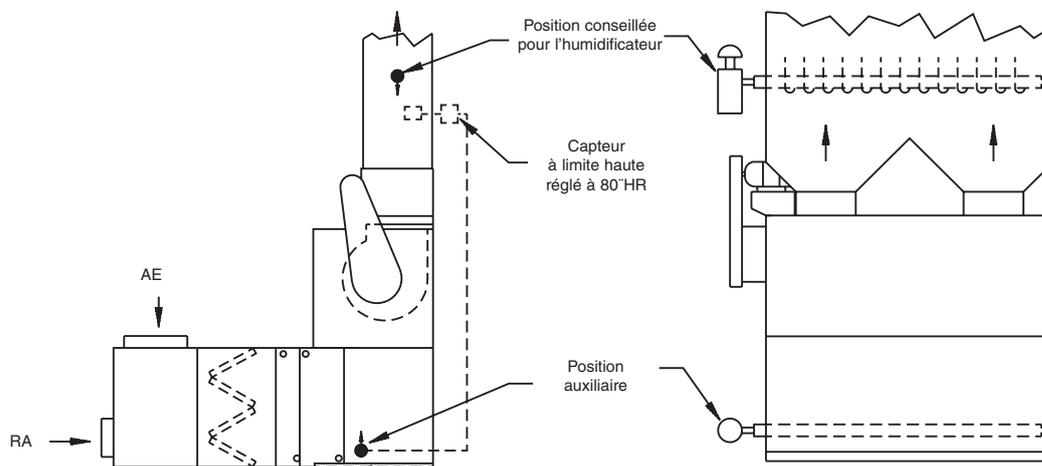


Figure 34-2. Injection verticale



Dans un conditionneur en groupe à basse pression de type "à refoulement" à plusieurs sorties (Figure 35-1), les recommandations sont pratiquement identiques. Toutefois, pour éviter de surcharger l'étage froid et éviter également l'impact d'injection, les jets de la rampe de dispersion sont dirigés vers le haut et non vers la sortie du ventilateur.

Comme pour les unités de type "à aspiration", il est conseillé d'installer un capteur à limite haute réglé sur 90% HR. Dans une unité en groupe à haute pression de type "à refoulement" (Figure 35-2), la position recommandée est également le plus près possible du ventilateur, les jets de vapeur étant dirigés vers la sortie du ventilateur. Un capteur à limite haute réglé sur 90% est souhaitable.

Dans les systèmes à basse ou à haute pression, lorsque l'humidificateur est installé à la position auxiliaire, le capteur à limite haute doit être réglé sur 80% HR.

Figure 35-1. Système à basse pression

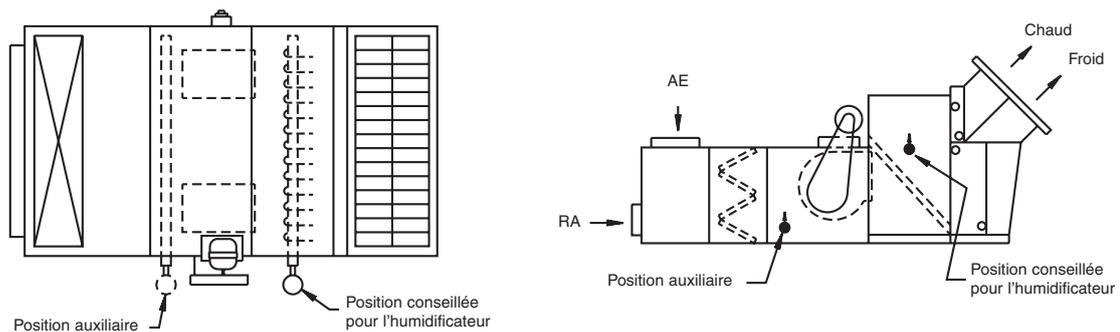
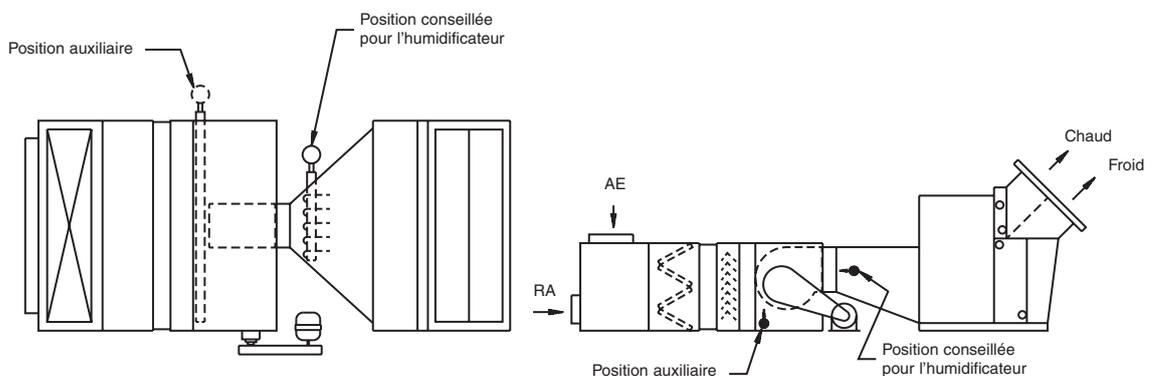
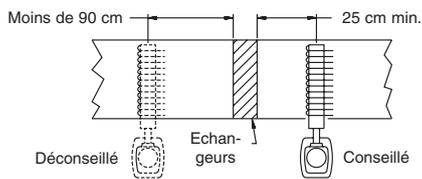


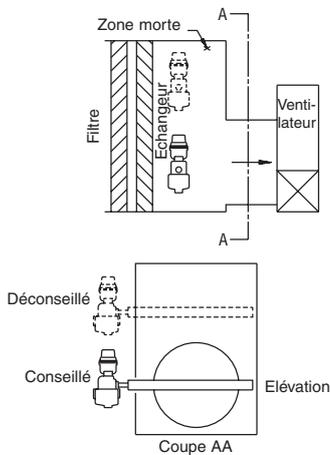
Figure 35-2. Système à haute pression



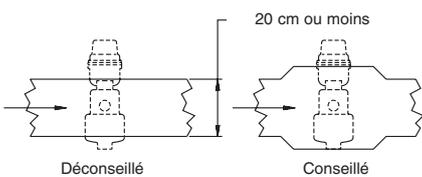
Dans la présentation des systèmes, nous avons indiqué quelques conseils sur ce qu'il convient de faire ou de ne pas faire pour positionner correctement les humidificateurs. Passons en revue toutes ces précautions qui permettent d'éviter des problèmes. Par exemple, dans la mesure du possible, la rampe de dispersion doit être installée en aval des échangeurs. Si une distance de plus de 90 cm est possible entre l'échangeur et la rampe, cette dernière peut être installée à cet endroit (plus de 90cm pour les systèmes aux vitesses élevées).



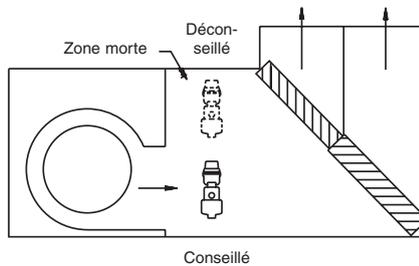
Lorsque l'humidificateur doit être placé dans la section d'échangeur en amont du ventilateur, la rampe doit être installée dans le flux d'air le plus direct et le plus loin possible de l'entrée du ventilateur.



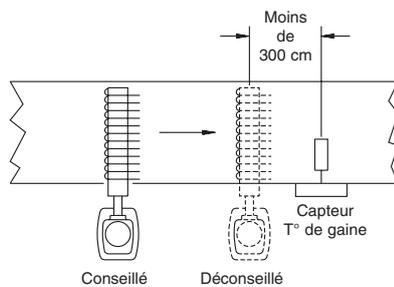
Il vaut mieux ne pas risquer une réduction de débit dans les gaines de 20 cm de hauteur ou moins. Dans ce cas, il convient d'installer une section plus haute.



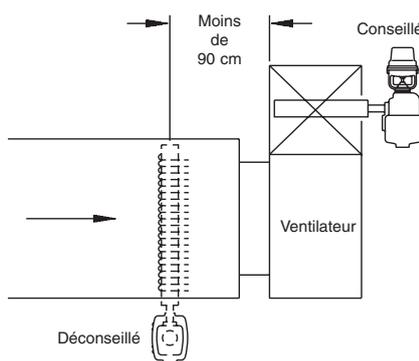
Lorsque l'humidificateur doit être installé dans un conditionneur d'air multi-zone en groupe, la rampe de dispersion doit se trouver au centre du flux d'air et aussi près que possible de la sortie du ventilateur.



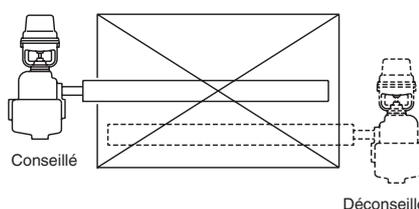
Une rampe de distribution doit être placée à plus de 300 cm d'un capteur de température pour éviter de perturber les signaux. La rampe de distribution ne devrait jamais



se trouver à moins de 90 cm de l'entrée d'un ventilateur. L'endroit idéal est la sortie du ventilateur. Dans la mesure du possible, la rampe

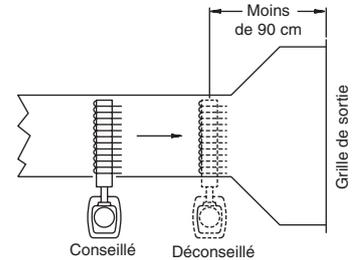


doit être placée au centre de la gaine. Les rampes de distribution doivent tou-

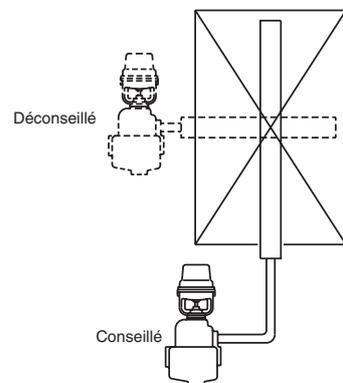


jours être montées le plus loin possible en amont des grilles, jamais à moins de 90 cm.

La rampe de dispersion doit toujours être

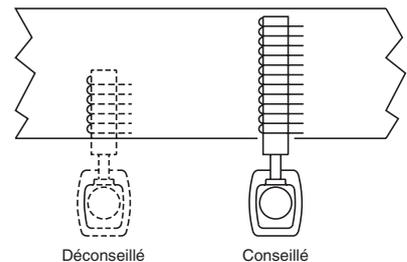


installée parallèlement au plus grand côté de la gaine. La longueur de la rampe de dispersion

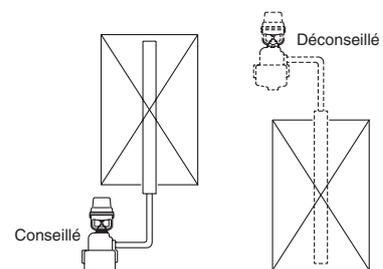


doit toujours correspondre au plus grand côté de la gaine.

La rampe ne doit jamais être montée ver-



ticalelement en dessous de l'humidificateur. Cette configuration pose un problème de purge du condensat dans l'enveloppe de la rampe. La position verticale au dessus de l'humidificateur est admise.



Application des humidificateurs à injection directe

L'ensemble des besoins doit être étudié pour déterminer la quantité de vapeur nécessaire à l'humidification et définir le nombre, la taille et le type des unités, ainsi que l'emplacement de l'humidificateur et des capteurs d'humidité.

Dimensions et emplacement en ventilation naturelle

Dans les applications industrielles d'humidification les plus courantes, les conditions sont :

Température ambiante : 18 à 27°C.

Humidité relative : 35 à 80%.

Ventilation naturelle : infiltration autour des fenêtres et des portes.

Données de sélection indispensables

- Température extérieure minimum : pour la plupart des cas, 5°C au-dessus de la température la plus basse enregistrée dans la région. Des températures inférieures se maintiennent rarement pendant plus de quelques heures.
- Température intérieure
- HR souhaitée
- Pression de vapeur disponible pour l'humidification
- Volume ambiant en m³
- Renouvellements d'air par heure : dans des conditions normales, à l'exclusion de l'air apporté par la ventilation ou repris des matériaux hygroscopiques.

Locaux, 1 côté exposé.....	1
Locaux, 2 côtés exposés.....	1 1/2
Locaux, 3 ou 4 côtés exposés.....	2
Locaux sans fenêtres ou portes extérieures.....	1/2 - 3/4

Problème type :

Conditions extérieures d'étude	-15°C à 90% HR
Température intérieure.....	21°C
HR requise	40%
Renouvellements d'air par heure	2
Pression de vapeur	0,35 bar

Dimension du local 120 m x 50 m x 7,5 m (avec plafond de 3 m)
Ventilation naturelle
Chauffage par : unités avec ventilateur à commande tout ou rien

Etape I : Vapeur nécessaire à l'humidification. Volume du local (120 m x 50 m x 7,5 m) ou 45 000 m³

Utilisant la formule expliquée page 28 :

$$\text{Débit de vapeur en kg/h} = \frac{2.45\ 000 \cdot 1,2 \cdot (6,17 - 0,91)}{1\ 000} = 568\ \text{kg/h}$$

Etape II : Unités à commande électrique ou pneumatique. La grande surface au sol nécessite plusieurs humidificateurs. Aucun risque d'explosion n'a été spécifié, des unités à commande pneumatique ne sont donc pas exigées. Des unités électriques sont conseillées.

Etape III : Nombre d'humidificateurs. Diviser le débit de vapeur requis par la capacité des humidificateurs à la pression de vapeur disponible.

Etape IV : Taille des humidificateurs. Pour cet exemple, un grand nombre d'humidificateurs de petite capacité est conseillé. Avec des unités de grande capacité, de la condensation pourraient se former sur les bas plafonds. De plus, étant donné la grande surface au sol, les humidistats d'un petit nombre d'unités seraient fortement espacés, ce qui se traduirait par une précision insuffisante de la régulation.

Etape V : Type d'humidificateur. Dans le présent exemple, des unités à ventilateur intégré sont préférables aux unités à jet de vapeur associées à des unités de chauffage. Comme les unités de chauffage sont commandées par tout ou rien en fonction de la température, l'humidistat pourrait appeler de la vapeur lorsque l'unité de chauffage la plus proche est à l'arrêt. La vapeur injectée par l'humidificateur pourrait donc s'élever et se condenser sur le plafond, étant donné sa faible hauteur. Le type à ventilateur intégré est donc conseillé.

Etape VI : Emplacement des humidificateurs. Différentes configurations étant possibles, les emplacements effectifs sont habituellement choisis en fonction des prises de vapeur et des conduites de retour disponibles, pour une installation plus économique avec un minimum de nouvelles conduites.

Dans le cas de ce local de 120 m x 50 m x 7,5 m, il y aurait vraisemblablement des conduites de vapeur des deux côtés et les humidificateurs pourraient être disposés comme indiqué en noir à la Figure 38-1. Si les conduites partaient du centre, leur tracé serait également pratique. Dans un local de 50 m de large, les dérivations vers les unités à ventilateur intégré auraient une longueur de 6 m. Si le local avait une largeur de 18 ou 24 m, les dérivations ne seraient pas plus longues que pour le présent raccordement.

Etape VII : Emplacement d'humidistat. L'humidistat devrait se trouver à une distance de 6 à 9 m de l'humidificateur et légèrement de côté par rapport au courant d'air sortant de l'unité. L'humidistat doit "percevoir" son humidificateur et se trouver dans l'air en mouvement. Il ne doit pas se trouver à l'arrière d'un pilier ou dans le creux d'une poutre H. Pour réguler correctement l'humidité, l'humidistat doit recevoir un échantillon représentatif.

Dimensions et emplacement en ventilation forcée

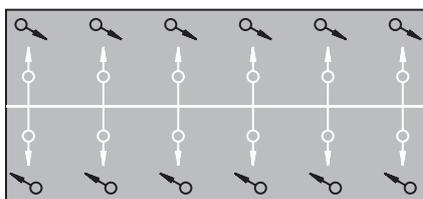
Problème type : locaux de fraisage et de ponçage dans les fabriques de meubles. Dans ce cas, le problème de sélection et d'installation des humidificateurs est pratiquement identique au cas précédent, excepté :

1. Le nombre de renouvellements d'air par heure ;
2. L'emplacement des humidificateurs et des humidistats.

Renouvellements d'air : peuvent être définis à partir du débit des ventilateurs d'extraction. Le nombre de renouvellement d'air par heure s'obtient en divisant le débit en mètres cube par heure des ventilateurs par le volume du local à humidifier en mètres cube.

Lorsque le débit de ventilation forcée n'est pas connu, le renouvellement d'air peut être mesuré à l'aide d'un vélocimètre, toutes portes ouvertes et ventilateurs à plein débit. Pour effectuer cette mesure, vous pouvez vous adresser à votre représentant Armstrong.

Figure 38-1. Les humidificateurs doivent être placés de manière à limiter la longueur des conduites. Les positions en noir correspondent à des conduites le long des murs extérieurs ; l'alimentation par une conduite centrale est représentée en blanc.



Emplacement des humidificateurs : il ne faut pas oublier que les humidificateurs doivent maintenir le taux d'humidité 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 en période de chauffage. Il se peut que toutefois que les ventilateurs ne fonctionnent que 40 ou 80 heures par semaine. Les humidificateurs et les humidistats doivent donc être placés à des endroits où ils peuvent assurer une bonne répartition de l'humidité autant pendant les périodes d'arrêt que pendant le fonctionnement des ventilateurs.

Humidification en cas de risque d'explosion

Pour des locaux à risque d'explosion, les humidificateurs à commande pneumatique sont dimensionnés exactement comme pour les locaux conventionnels, à part le fait que les conditions d'air d'appoint, d'humidité relative et de pression minimum de vapeur sont plus sévères.

L'emplacement des humidificateurs doit permettre une dispersion et une répartition optimale de la vapeur dans le local.

Applications industrielles spéciales

Dans certains processus industriels, une couche d'air d'humidité relative élevée est requise à proximité immédiate de feuilles ou de films en mouvement rapide, comme des feuilles de papier, de minces films en plastique, en tissu, en cellophane, etc. Le but est d'empêcher l'accumulation de charges électrostatiques ou d'éviter que le matériau ne perde son humidité. Comme les feuilles ou les films sont souvent chauds, ils tendent à perdre leur humidité très rapidement. Les humidificateurs à projection de vapeur spécialement adaptés à ce type d'application maintiennent une couche laminaire fortement humide à proximité de la feuille, qui empêche toute perte d'humidité et permet de conserver la teneur en eau du matériau.

Dans ce type d'application, l'humidificateur et le moteur d'entraînement doivent être réciproquement verrouillés. Il est également essentiel de projeter de la vapeur sèche exempte de gouttelettes d'eau.

Figure 38-2. Schéma type d'implantation d'humidificateurs dans un atelier de travail du bois avec ventilateurs d'extraction. Les flèches indiquent le flux d'air pulsé par les ventilateurs. Les humidificateurs sont dimensionnés pour les débits d'air imposés par les ventilateurs. Les humidificateurs sont disposés de manière à répartir uniformément l'humidité, que les ventilateurs soient à l'arrêt ou en marche.

