

Pathologie de l'humidité.

Paroi simple

par **Paul DAHAN**

Ingénieur ETP, European Engineer, ex-professeur à l'ESTP

1. Caractéristiques physiques des matériaux

Tableau 1 – Caractéristiques physiques des matériaux de construction couramment utilisés

Matériaux	π (g/m · h · mmHg)	λ (W/°C)	E (kg/cm ²)	α (pour 1 °C)
Pare-vapeur aluminium	$0,0015 \cdot 10^{-5}$	230	2 000 000	$1,8 \cdot 10^{-5}$ à $2,3 \cdot 10^{-5}$
Revêtement d'imperméabilité				
• I 1 à I 3	$0,2898 \cdot 10^{-4}$ à $0,4522 \cdot 10^{-4}$	1,15		
• I 4	$0,7826 \cdot 10^{-4}$ à $1,2888 \cdot 10^{-4}$	1,15		
Panneaux de particules	$18 \cdot 10^{-4}$ à $50 \cdot 10^{-4}$	0,07 à 0,17	15 000 à 18 000	$0,4 \cdot 10^{-5}$ à $0,6 \cdot 10^{-5}$
Fibrociment	$2,0 \cdot 10^{-4}$ à $3,5 \cdot 10^{-4}$	0,65 à 0,95		
Contreplaqué	$8 \cdot 10^{-4}$	0,12 à 0,15		$0,4 \cdot 10^{-5}$ à $0,6 \cdot 10^{-5}$
Plaque de plâtre cartonné	$100 \cdot 10^{-4}$ à $250 \cdot 10^{-4}$	0,35	7 000	$0,9 \cdot 10^{-5}$
Plâtre	$130 \cdot 10^{-4}$	0,35 à 0,50	50 000 à 90 000	$0,8 \cdot 10^{-5}$ à $1,0 \cdot 10^{-5}$
Béton banché	$30 \cdot 10^{-4}$	1,75	175 000 à 300 000	$1 \cdot 10^{-5}$
Parpaing creux				
• densité > 2 100 kg/m ³	$27 \cdot 10^{-4}$ à $36 \cdot 10^{-4}$	1,75	125 000 à 150 000	$1 \cdot 10^{-5}$
• 1 600 < densité < 2 100 kg/m ³	$80 \cdot 10^{-4}$ à $150 \cdot 10^{-4}$			
Brique	$15 \cdot 10^{-4}$ à $25 \cdot 10^{-4}$	0,5 à 1,0	28 000 à 40 000	$0,55 \cdot 10^{-5}$ à $0,95 \cdot 10^{-5}$
Béton cellulaire	$200 \cdot 10^{-4}$	0,16 à 0,33	15 000 à 25 000	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Carreau de plâtre	$100 \cdot 10^{-4}$	0,35	50 000 à 60 000	$0,8 \cdot 10^{-5}$ à $0,9 \cdot 10^{-5}$
Brique plâtrière	$125 \cdot 10^{-4}$	0,8		
Verre cellulaire	0	0,055		
PVC cellulaire	$3,5 \cdot 10^{-4}$	0,031		
Polyuréthane en plaque (plaque préfabriquée expansée en continu)	$20 \cdot 10^{-4}$	0,029		
Polystyrène expansé				
• moulé en bloc par voie humide	$30 \cdot 10^{-4}$ à $40 \cdot 10^{-4}$	0,38 à 0,40	1 000	$37,5 \cdot 10^{-5}$
• moulé en continu par voie humide				
11 < densité < 15 kg/cm ³	$30 \cdot 10^{-4}$	0,043		$40,0 \cdot 10^{-5}$
16 < densité < 25 kg/cm ³	$15 \cdot 10^{-4}$	0,039		$37,5 \cdot 10^{-5}$
• thermocomprimé en continu par voie sèche				
densité = 18 kg/m ³	$14 \cdot 10^{-4}$	0,038		
densité = 23 kg/m ³	$8 \cdot 10^{-4}$	0,036		
• extrudé				
densité = 30 kg/m ³	$9,0 \cdot 10^{-4}$	0,035		
35 < densité < 40 kg/m ³	$4,5 \cdot 10^{-4}$	0,029		

Tableau 1 – Caractéristiques physiques des matériaux de construction couramment utilisés (suite)

Matériaux	π (g/m · h · mmHg)	λ (W/°C)	E (kg/cm ²)	α (pour 1 °C)
Mortier isolant (A base de billes de polystyrène)	170 · 10 ⁻⁴	0,085		
Laine de verre	600 · 10 ⁻⁴ à 800 · 10 ⁻⁴	0,034 à 0,047		
Laine de roche	600 · 10 ⁻⁴ à 800 · 10 ⁻⁴	0,039 à 0,041		
Pierre calcaire • Demi-ferme : densité = 2 000 kg/m ³ • Demi-ferme : densité = 2 500 kg/m ³	45 · 10 ⁻⁴ 10 · 10 ⁻⁴	1,4 2,2	145 000 190 000	0,7 · 10 ⁻⁵ 0,7 · 10 ⁻⁵
Mortier de ciment traditionnel	15 · 10 ⁻⁴ à 25 · 10 ⁻⁴	1,15	50 000 à 140 000	1 · 10 ⁻⁵
Enduit monocouche hydraulique	20 · 10 ⁻⁴ à 100 · 10 ⁻⁴	1,15	55 000 à 90 000	1 · 10 ⁻⁵
Revêtement plastique épais (RPE)	80 · 10 ⁻⁴ à 140 · 10 ⁻⁴	1,15		
Air à la pression atmosphérique : à 0 °C densité = 1,293 kg/m ³ à 20 °C densité = 1,204 kg/m ³ à 40 °C densité = 1,127 kg/m ³ à 60 °C densité = 1,060 kg/m ³	900 · 10 ⁻⁴	0,025 0,026 0,027 0,029		367 · 10 ⁻⁵ 343 · 10 ⁻⁵ 320 · 10 ⁻⁵ 300 · 10 ⁻⁵

2. Tables de Regnault

Tableau 2 – Tables de Regnault. Pression de saturation (mmHg)

$\frac{\delta P}{\delta \theta}$	°C	- 0,0	- 0,1	- 0,2	- 0,3	- 0,4	- 0,5	- 0,6	- 0,7	- 0,8	- 0,9
0,35	- 0	4,58	4,54	4,51	4,47	4,44	4,40	4,36	4,33	4,29	4,26
0,35	- 1	4,22	4,19	4,15	4,12	4,08	4,05	4,02	3,98	3,95	3,91
0,32	- 2	3,88	3,85	3,82	3,79	3,76	3,72	3,69	3,66	3,63	3,60
0,30	- 3	3,57	3,54	3,51	3,48	3,45	3,42	3,40	3,37	3,34	3,31
0,28	- 4	3,28	3,25	3,23	3,20	3,17	3,14	3,12	3,09	3,06	3,04
0,26	- 5	3,01	2,98	2,96	2,93	2,91	2,88	2,86	2,84	2,81	2,79
0,24	- 6	2,76	2,74	2,71	2,69	2,67	2,65	2,62	2,60	2,58	2,55
0,22	- 7	2,53	2,51	2,49	2,47	2,45	2,43	2,40	2,38	2,36	2,34
0,20	- 8	2,32	2,30	2,28	2,26	2,24	2,22	2,21	2,19	2,17	2,15
0,19	- 9	2,13	2,11	2,09	2,08	2,06	2,04	2,02	2,00	1,99	1,97
0,18	- 10	1,95	1,93	1,92	1,90	1,88	1,87	1,85	1,83	1,81	1,80
0,16	- 11	1,78	1,76	1,75	1,73	1,72	1,71	1,69	1,68	1,66	1,64
0,14	- 12	1,63	1,62	1,60	1,59	1,57	1,56	1,55	1,53	1,52	1,50
0,13	- 13	1,49	1,48	1,46	1,45	1,44	1,43	1,41	1,40	1,39	1,37
0,12	- 14	1,36	1,35	1,34	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,26	1,25
0,11	- 15	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14
0,10	- 16	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04
0,09	- 17	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95
0,09	- 18	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86
0,08	- 19	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,79	0,78
0,07	- 20	0,77	0,76	0,76	0,75	0,74	0,73	0,73	0,72	0,72	0,71

Tableau 3 – Tables de Regnault. Pression de saturation (mmHg)

$\frac{\delta P}{\delta \theta}$	°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,35	0	4,58	4,62	4,65	4,69	4,72	4,76	4,79	4,83	4,86	4,90
0,35	1	4,93	4,97	5,00	5,04	5,07	5,11	5,15	5,18	5,22	5,25
0,38	2	5,29	5,33	5,37	5,41	5,45	5,48	5,52	5,56	5,60	5,64
0,40	3	5,68	5,72	5,76	5,81	5,85	5,89	5,93	5,97	6,02	6,06
0,43	4	6,10	6,14	6,19	6,23	6,28	6,32	6,36	6,41	6,45	6,50
0,45	5	6,54	6,59	6,63	6,68	6,73	6,77	6,82	6,87	6,92	6,96
0,49	6	7,01	7,06	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,46
0,52	7	7,51	7,56	7,62	7,67	7,73	7,78	7,83	7,89	7,95	8,00
0,55	8	8,05	8,11	8,16	8,22	8,27	8,33	8,39	8,44	8,50	8,55
0,58	9	8,61	8,67	8,73	8,79	8,85	8,91	8,97	9,03	9,09	9,15
0,61	10	9,21	9,27	9,34	9,40	9,46	9,52	9,59	9,65	9,71	9,78
0,65	11	9,84	9,91	9,98	10,04	10,11	10,18	10,25	10,32	10,38	10,45
0,70	12	10,52	10,59	10,66	10,73	10,80	10,87	10,95	11,02	11,09	11,16
0,74	13	11,23	11,31	11,38	11,46	11,53	11,61	11,69	11,76	11,84	11,91
0,78	14	11,99	12,07	12,15	12,23	12,31	12,39	12,47	12,55	12,63	12,71
0,82	15	12,79	12,87	12,96	13,04	13,13	13,21	13,29	13,38	13,46	13,55
0,87	16	13,63	13,72	13,81	13,90	13,99	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44
0,92	17	14,53	14,62	14,72	14,81	14,91	15,00	15,10	15,19	15,29	15,38
0,98	18	15,48	15,58	15,68	15,78	15,88	15,98	16,08	16,18	16,28	16,38
1,03	19	16,48	16,59	16,69	16,79	16,90	17,01	17,12	17,22	17,33	17,43
1,09	20	17,54	17,65	17,76	17,87	17,98	18,09	18,20	18,32	18,43	18,54
1,15	21	18,65	18,77	18,89	19,00	19,12	19,24	19,36	19,48	19,59	19,71
1,21	22	19,83	19,95	20,08	20,20	20,33	20,45	20,57	20,70	20,82	20,95
1,27	23	21,07	21,20	21,33	21,46	21,59	21,72	21,86	21,99	22,12	22,25
1,35	24	22,38	22,52	22,66	22,79	22,93	23,07	23,21	23,35	23,48	23,62
1,41	25	23,76	23,90	24,05	24,19	24,34	24,48	24,63	24,77	24,92	25,06
1,49	26	25,21	25,36	25,52	25,67	25,82	25,97	26,13	26,28	26,43	26,58
1,57	27	26,74	26,90	27,06	27,22	27,38	27,54	27,71	27,87	28,03	28,19
1,65	28	28,35	28,52	28,69	28,86	29,03	29,19	29,36	29,53	29,70	29,87
1,74	29	30,04	30,22	30,40	30,57	30,75	30,93	31,11	31,29	31,46	31,64
1,83	30	31,82	32,01	32,20	32,38	32,57	32,76	32,95	33,14	33,32	33,51
1,92	31	33,70	33,90	34,09	34,29	34,48	34,68	34,88	35,07	35,27	35,46
2,02	32	35,66	35,88	36,07	36,28	36,49	36,69	36,90	37,11	37,32	37,52
2,12	33	37,73	37,95	38,16	38,38	38,60	38,81	39,03	39,25	39,47	39,68
2,23	34	39,90	40,13	40,36	40,58	40,81	41,04	41,27	41,50	41,72	41,95
2,33	35	42,18	42,42	42,66	42,89	43,13	43,37	43,61	43,85	44,08	44,32
2,45	36	44,56	44,81	45,06	45,31	45,56	45,81	46,07	46,32	46,57	46,82
2,56	37	47,07	47,33	47,59	47,86	48,12	48,38	48,64	48,90	49,17	49,43
2,69	38	49,69	49,96	50,24	50,51	50,79	51,06	51,34	51,61	51,89	52,16
2,81	39	52,44	52,73	53,02	53,30	53,59	53,88	54,14	54,46	54,74	55,03
2,95	40	55,32	55,62	55,92	56,23	56,53	56,83	57,17	57,43	57,74	58,04
3,09	41	58,34	58,65	58,97	59,29	59,60	59,92	60,24	60,55	60,87	61,18

Tableau 3 – Tables de Regnault. Pression de saturation (mmHg) (suite)

$\frac{\delta P}{\delta \theta}$	°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
3,23	42	61,50	61,83	62,16	62,49	62,82	63,15	63,48	63,81	64,14	64,47
3,38	43	64,80	65,15	65,49	65,84	66,18	66,53	66,88	67,22	67,57	67,91
3,54	44	68,26	68,62	68,98	69,35	69,71	70,07	70,43	70,79	71,16	71,52
3,70	45	71,88	72,26	72,63	73,01	73,39	73,76	74,14	74,52	74,90	75,27
3,86	46	75,65	76,04	76,44	76,83	77,23	77,62	78,02	78,41	78,81	79,20
4,03	47	79,60	80,01	80,42	80,83	81,24	81,65	82,06	82,48	82,89	83,30
4,21	48	83,71	84,14	84,57	85,00	85,43	85,86	86,30	86,73	87,16	87,59
4,40	49	88,02	88,47	88,92	89,37	89,82	90,26	90,71	91,16	91,61	92,06
4,59	50	92,51	92,98	93,45	93,92	94,39	94,85	95,32	95,79	96,26	96,73
4,80	51	97,20	97,69	98,18	98,67	99,16	99,65	100,1	100,6	101,1	101,6
5,00	52	102,1	102,6	103,1	103,6	104,1	104,6	105,2	105,7	106,2	106,7
5,20	53	107,2	107,7	108,3	108,8	109,3	109,8	110,4	110,9	111,4	112,0
5,40	54	112,5	113,0	113,6	114,1	114,7	115,2	115,8	116,3	116,9	117,4
5,65	55	118,0	118,6	119,2	119,7	120,3	120,9	121,5	122,1	122,6	123,2
5,90	56	123,8	124,4	125,0	125,6	126,2	126,8	127,4	128,0	128,6	129,2
6,15	57	129,8	130,4	131,1	131,7	132,3	132,9	133,6	134,2	134,8	135,5
6,40	58	136,1	136,7	137,4	138,0	138,7	139,3	140,0	140,6	141,3	141,9
6,65	59	142,6	143,3	144,0	144,6	145,3	146,0	146,7	147,4	148,0	148,7
6,90	60	149,4	150,1	150,8	151,5	152,2	152,9	153,6	154,3	155,0	155,7
7,20	61	156,4	157,1	157,9	158,6	159,4	160,1	160,8	161,6	162,3	163,1
7,50	62	163,8	164,6	165,3	166,1	166,8	167,6	168,4	169,1	169,9	170,6
7,75	63	171,4	172,2	173,0	173,8	174,6	175,3	176,1	176,9	177,7	178,5
8,05	64	179,3	180,1	180,9	181,8	182,6	183,4	184,2	185,0	185,9	186,7
8,40	65	187,5	188,4	189,2	190,1	190,9	191,8	192,7	193,5	194,4	195,2
8,75	66	196,1	197,0	197,9	198,8	199,7	200,5	201,4	202,3	203,2	204,1
9,05	67	205,0	205,9	206,8	207,8	208,7	209,6	210,5	211,4	212,4	213,3
9,35	68	214,2	215,1	216,1	217,0	218,0	218,9	219,9	220,8	221,8	222,7
9,75	69	223,7	224,7	225,7	226,7	227,7	228,7	229,7	230,7	231,7	232,7
10,10	70	233,7	234,7	235,7	236,8	237,8	238,8	239,8	240,8	241,9	242,9
10,45	71	243,9	245,0	246,0	247,1	248,2	249,2	250,3	251,4	252,5	253,5
10,95	72	254,6	255,7	256,8	257,9	259,0	260,1	261,3	262,4	263,5	264,6
11,30	73	265,7	266,8	268,0	269,1	270,3	271,4	272,6	273,7	274,9	276,0
12,10	75	289,1	290,3	291,6	292,8	294,0	295,2	296,5	297,7	298,9	300,2
12,50	76	301,4	302,7	303,9	305,2	306,5	307,7	309,0	310,3	311,6	321,8
12,95	77	314,1	315,4	316,7	318,1	319,4	320,7	322,0	323,3	324,7	326,0
13,45	78	327,3	328,7	330,0	331,4	332,8	334,1	335,5	336,9	338,3	339,6
13,90	79	341,0	342,4	343,8	345,2	346,6	348,0	349,5	350,9	352,3	353,7
14,35	80	355,1	356,6	358,0	359,5	360,9	362,4	363,9	365,3	366,8	368,2
14,84	81	369,7	371,2	372,7	374,3	375,8	377,3	378,8	380,3	381,9	383,4
15,34	82	384,9	386,5	388,0	389,6	391,2	392,7	394,3	395,9	397,5	399,0
15,83	83	400,6	402,2	403,8	405,5	407,1	408,7	410,3	411,9	413,6	415,2
16,33	84	416,8	418,5	420,2	421,8	423,5	425,2	426,9	428,6	430,2	431,1

Tableau 3 – Tables de Regnault. Pression de saturation (mmHg) (suite)

$\frac{\delta P}{\delta \theta}$	°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
16,82	85	433,6	435,3	437,1	438,8	440,5	442,2	444,0	445,7	447,4	449,2
17,32	86	450,9	452,7	454,5	456,2	458,0	459,8	461,6	463,4	465,1	466,9
17,81	87	468,7	470,5	472,4	474,2	476,1	477,9	479,7	481,6	483,4	485,3
18,31	88	487,1	489,0	490,9	492,8	494,7	496,6	498,5	500,4	502,3	504,2
19,30	89	506,1	508,1	510,0	512,0	514,0	515,9	517,9	519,9	521,9	523,8
19,79	90	525,8	527,8	529,9	531,9	533,9	535,9	538,0	540,0	542,0	544,1
20,29	91	546,1	548,2	550,3	552,4	554,5	556,6	558,6	560,7	562,8	564,9
21,28	92	567,0	569,2	571,3	573,5	575,6	577,8	580,0	582,1	584,3	586,4
21,77	93	588,6	590,8	593,1	595,3	597,5	599,7	602,0	604,2	606,4	608,7
22,77	94	610,9	613,2	615,5	617,8	620,1	622,4	624,7	627,0	629,3	631,6
23,26	95	633,9	636,3	638,6	641,0	643,4	645,7	648,1	650,5	652,9	655,2
23,75	96	657,6	660,0	662,5	664,9	667,4	669,8	672,3	674,7	677,2	679,6
24,74	97	682,1	684,6	687,1	689,7	692,2	694,7	697,2	699,7	702,3	704,8
25,24	98	707,3	709,9	712,5	715,1	717,7	720,2	722,8	725,4	728,0	730,6
26,23	99	733,2	735,9	738,6	741,2	743,9	746,6	749,3	752,0	754,6	757,3
27,22	100	760,0	762,8	765,5	768,3	771,0	773,8	776,6	779,3	782,1	784,8

3. Coefficients d'échange superficiel ou de résistance superficielle

Les rapports $1/h_i$ et $1/h_e$ (figure 1) deviennent respectivement R_{si} et R_{se} dans la réglementation thermique (RT) 2005 (figure 2). Ils ne changent pas fondamentalement d'une réglementation à l'autre.

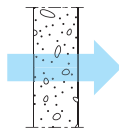
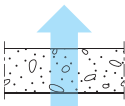
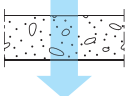
	Paroi en contact avec : - l'extérieur, - un passage ouvert, - un local ouvert.			Paroi en contact avec : - un autre local, chauffé ou non chauffé, - un comble, - un vide sanitaire.		
	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_i}$
Paroi verticale ou faisant avec le plan horizontal un angle supérieur à 60° 	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
Paroi horizontale ou faisant avec le plan horizontal un angle égal ou inférieur à 60°, flux ascendant (toiture) 	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
flux descendant (plancher bas) 	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Figure 1 – Coefficients d'échanges superficiels conventionnels (d'après DTU Th-K 77)

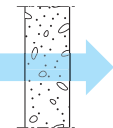
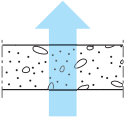
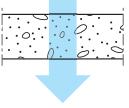
Paroi donnant sur : - l'extérieur - un passage ouvert - un local ouvert ⁽²⁾	R_{si} $m^2 \cdot K/W$	$R_{se}^{(1)}$ $m^2 \cdot K/W$	$R_{si} + R_{se}$ $m^2 \cdot K/W$
Paroi verticale Flux horizontal 	0,13	0,04	0,17
Flux ascendant 	0,10	0,04	0,14
Paroi horizontale Flux descendant 	0,17	0,04	0,21
⁽¹⁾ Si la paroi donne sur un volume non chauffé, R_{si} s'applique des deux côtés. ⁽²⁾ Un local est dit « ouvert » si le rapport de la surface totale de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à $0,005 m^2/m^3$. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.			

Figure 2 – Résistances superficielles (d'après RT 2005)