

ANNEXE 4

VALEURS THERMODYNAMIQUES

SUBSTANCES INORGANIQUES

Substance	Forme	Masse molaire	$\Delta_f H_{298}^{\circ}$ [kJ mol ⁻¹]	S_{298}° [J K ⁻¹ mol ⁻¹]	$\Delta_f G_{298}^{\circ}$ [kJ mol ⁻¹]
Aluminium					
Al	s	26,98		28,3	
Al ₂ O ₃	s	101,95	– 1675,7	50,9	– 1582,3
Al ³⁺	aq	26,98	– 524,7	– 321,7	– 481,2
AlCl ₃	s	133,34	– 704,2	110,7	– 628,8
Antimoine					
Sb	s	121,76		45,7	
SbH ₃	g	124,78	145,1	232,8	147,8
SbCl ₃	g	228,11	– 313,8	337,8	– 301,2
SbCl ₅	g	299,02	– 394,3	401,9	– 334,3
Argent					
Ag	s	107,87		42,55	
Ag ⁺	aq		105,6	72,7	77,1
AgBr	s	187,78	– 100,4	107,1	– 96,9
AgBr	aq		– 16,0	155,2	– 26,9
AgCl	s	143,33	– 127,1	96,2	– 109,8
AgCl	aq		– 61,6	129,3	– 54,1
AgI	s	234,77	– 61,9	115,5	– 66,2
AgI	aq		50,4	184,1	25,5
Ag ₂ O	s	231,74	– 31,1	121,3	– 11,2
AgNO ₃	s	169,88	– 124,4	140,9	– 33,4
Argon					
Ar	g	39,95		154,8	
Arsenic					
As	s	74,92		35,1	
As	g		302,5	174,2	261,0
AsH ₃	g	77,95	66,4	222,8	68,9
Azote					
N ₂	g	28,01		191,6	
NO	g	30,01	90,3	210,8	86,6
N ₂ O	g	44,01	82,1	219,9	104,2

Substance	Forme	Masse molaire	$\Delta_f H_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]	S_{298}° [J K ⁻¹ mol ⁻¹]	$\Delta_f G_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]
NO ₂	g	46,01	33,2	240,1	51,3
N ₂ O ₄	g	92,01	9,2	304,3	97,9
N ₂ O ₅	s	108,01	- 43,1	178,2	113,9
N ₂ O ₅	g		11,3	355,7	115,1
HNO ₃	ℓ	63,01	- 174,1	155,6	- 80,7
HNO ₃	aq		- 207,4	146,4	- 111,3
NO ₃ ⁻	aq		- 205,0	146,4	- 108,7
NH ₃	g	17,03	- 46,1	192,5	- 16,5
NH ₃ (NH ₄ OH)	aq		- 80,3	111,3	- 26,5
NH ₄ ⁺	aq	18,04	- 132,5	113,4	- 79,3
N ₂ H ₄	ℓ	32,05	50,6	121,2	149,3
NH ₄ NO ₃	s	80,04	- 365,6	151,1	- 183,9
NH ₄ Cl	s	53,49	- 314,4	94,6	- 202,9
Baryum					
Ba	s	137,33		62,8	
Ba ²⁺	aq		- 537,6	9,6	- 560,8
BaO	s	153,34	- 553,5	70,4	- 525,1
BaCO ₃	s	197,35	- 1216,3	112,1	- 1137,6
BaCO ₃	aq		- 1214,8	- 47,3	- 1088,6
BaCl ₂	s	208,25	- 858,6	123,7	- 810,4
Béryllium					
Be	s	9,01		9,5	
Be	g	9,01	324,3	136,3	286,6
Bismuth					
Bi	s	208,98		56,7	
Bi	g	208,98	207,1	187,0	168,2
Bore					
B	s	10,81		5,9	
B ₂ O ₃	s	69,62	- 1272,8	54,0	- 1193,7
BF ₃	g	67,81	- 1137,0	254,1	- 1120,3
Brome					
Br ₂	ℓ	159,81		152,2	
Br ₂	g		30,9	245,5	3,1
Br ⁻	aq	79,91	- 121,6	82,4	- 104,0
HBr	g	90,92	- 36,3	198,7	- 53,5
Cadmium					
Cd	s	112,41	112,0	51,8	
Cd	g		111,8	167,8	77,4

Substance	Forme	Masse molaire	$\Delta_f H_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]	S_{298}° [J K ⁻¹ mol ⁻¹]	$\Delta_f G_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]
Cd ²⁺	aq	112,41	- 75,9	- 73,2	- 77,6
CdO	s	128,40	- 258,2	54,8	- 228,4
Calcium					
Ca	s	40,08		41,4	
Ca	g		178,2	154,9	144,0
Ca ²⁺	aq		- 542,8	- 53,1	- 553,6
CaO	s	56,08	- 635,1	39,8	- 604,0
Ca(OH) ₂	s	74,1	- 986,1	83,4	- 898,5
Ca(OH) ₂	aq		- 1002,8	- 74,5	- 868,1
CaCO ₃ (calcite)	s	100,09	- 1206,9	92,9	- 1128,8
CaCO ₃ (aragonite)	s		- 1207,1	88,7	- 1127,8
CaCO ₃	aq		- 1220,0	- 110,0	- 1081,4
CaF ₂	s	78,08	- 1219,6	68,9	- 1167,3
CaF ₂	aq		- 1208,1	- 80,8	- 1111,2
CaCl ₂	s	110,99	- 795,8	104,6	- 748,1
CaBr ₂	s	199,9	- 682,8	130,0	- 663,6
CaC ₂	s	64,10	- 59,8	70,0	- 64,9
CaSO ₄	s	136,14	- 1434,1	106,7	- 1321,8
CaSO ₄	aq		- 1452,1	- 33,1	- 1298,1
Carbone					
C (graphite)	s	12,01		5,74	
C (diamant)	s		1,9	2,4	2,9
C	g		716,8	158,1	671,3
CO	g	28,01	- 110,5	197,7	- 137,2
CO ₂	g	44,01	- 393,5	213,7	- 394,4
H ₂ CO ₃	aq	62,03	- 699,7	187,4	- 623,1
HCO ₃ ⁻	aq	61,02	- 692,0	91,2	- 586,8
CO ₃ ²⁻	aq	60,01	- 677,1	- 56,9	- 527,8
CCl ₄	ℓ	153,82	- 135,4	216,4	- 65,2
CS ₂	ℓ	76,14	89,7	151,3	65,3
HCN	g	27,03	135,1	201,8	124,7
HCN	ℓ		108,9	112,8	125,0
Cérium					
Ce	s	140,12		72,0	
Ce ³⁺	aq		- 696,2	- 205,0	- 672,0
Ce ⁴⁺	aq		- 537,2	- 301,0	- 503,8
Césium					
Cs	s	132,91		85,23	

Substance	Forme	Masse molaire	$\Delta_f H_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]	S_{298}° [J K ⁻¹ mol ⁻¹]	$\Delta_f G_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]
Cs	g	132,91	76,1	175,6	49,1
Cs ⁺	aq		- 258,3	133,1	- 292,0
Chlore					
Cl ₂	g	70,91		223,1	
Cl	g	35,45	121,7	165,2	105,7
Cl ⁻	aq		- 167,2	56,5	- 131,2
HCl	g	36,46	- 92,3	186,9	- 95,3
HCl	aq		- 167,2	56,5	- 131,2
Chrome					
Cr	s	52,00		23,8	
Cr	g		396,6	174,5	351,8
CrO ₄ ²⁻	aq	115,99	- 881,2	50,2	- 727,8
Cr ₂ O ₇ ²⁻	aq	215,99	- 1490,3	261,9	- 1301,1
Cuivre					
Cu	s	63,55		33,2	
Cu ⁺	aq		71,7	40,6	50,0
Cu ²⁺	aq		64,8	- 99,6	65,5
Cu ₂ O	s	143,08	- 168,6	93,1	- 146,0
CuO	s	79,54	- 157,3	42,6	- 129,7
CuSO ₄	s	159,6	- 771,4	109,0	- 661,8
CuSO ₄ ·5 H ₂ O	s	249,68	- 2279,7	300,4	- 1879,7
Deutérium					
D ₂	g	4,03		145,0	
D ₂ O	g	20,03	- 249,2	198,3	- 234,5
D ₂ O	ℓ		- 249,6	75,9	- 243,4
Etain					
Sn (blanc)	s	118,69		51,6	
Sn (gris)	s		- 2,1	44,1	0,1
Sn ²⁺	aq		- 8,8	- 17,0	- 27,2
SnO	s	134,69	- 285,8	56,5	- 256,9
SnO ₂	s	150,69	- 580,7	52,3	- 519,6
Fer					
Fe	s	55,85		27,3	
Fe ²⁺	aq		- 89,1	- 137,7	- 78,9
Fe ³⁺	aq		- 48,5	- 315,9	- 4,7
FeO	s	71,85	- 272,0	57,5	- 255,0
Fe ₃ O ₄ (magnétite)	s	231,54	- 1118,4	146,4	- 1015,4
Fe ₂ O ₃ (hématite)	s	159,7	- 824,2	87,4	- 742,2

Substance	Forme	Masse molaire	$\Delta_f H_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]	S_{298}° [J K ⁻¹ mol ⁻¹]	$\Delta_f G_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]
FeS	s	87,9	- 100,0	60,3	- 100,4
FeS ₂	s	119,98	- 178,2	52,9	- 166,9
Fluor					
F ₂	g	38,00		202,8	
F	g	19,00	79,0	158,8	61,9
F ⁻	aq		- 332,6	- 13,8	- 278,8
HF	g	20,01	- 271,1	173,8	- 273,2
HF	aq		- 332,6	- 13,8	- 278,8
Hélium					
He	g	4,00		126,2	
Hydrogène					
H ₂	g	2,02		130,7	
H	g	1,01	218,0	114,7	203,3
H ⁺	aq		0	0	0
H ₂ O	ℓ	18,02	- 285,8	69,9	- 237,1
H ₂ O	g		- 241,8	188,8	- 228,6
H ₂ O ₂	ℓ	34,02	- 187,8	109,6	- 120,4
Iode					
I ₂	s	253,81		116,1	
I ₂	g		62,4	260,7	19,3
I	g	126,9	106,8	180,8	70,3
I ⁻	aq		- 55,2	111,3	- 51,6
HI	g	127,9	26,5	206,6	1,7
Krypton					
Kr	g	83,8		164,1	
Lithium					
Li	s	6,94		29,1	
Li	g		159,4	138,8	126,7
Li ⁺	aq		- 278,5	13,4	- 293,3
Magnésium					
Mg	s	24,31		32,7	
Mg	g		147,7	148,7	113,1
Mg ²⁺	aq		- 466,9	- 138,1	- 454,8
MgO	s	40,31	- 601,7	26,9	- 569,5
MgCO ₃	s	84,32	- 1095,8	65,7	- 1012,1
MgCl ₂	s	95,22	- 641,3	89,6	- 591,8

Substance	Forme	Masse molaire	$\Delta_f H_{298}^0$ [kJ mol ⁻¹]	S_{298}^0 [J K ⁻¹ mol ⁻¹]	$\Delta_f G_{298}^0$ [kJ mol ⁻¹]
Mercure					
Hg	ℓ	200,59		76,0	
Hg	g		61,3	175,0	31,8
Hg ²⁺	aq		171,1	-32,2	164,4
Hg ₂ ²⁺	aq	401,18	172,4	84,5	153,5
HgO	s	216,59	-90,8	70,3	-58,5
Hg ₂ Cl ₂	s	472,09	-265,2	192,5	-210,8
HgCl ₂	s	271,50	-224,3	146,0	-178,6
Néon					
Ne	g	20,18		146,3	
Or					
Au	s	196,97		47,4	
Au	g		366,1	180,5	326,3
Oxygène					
O ₂	g	32,00		205,1	
O	g	16,00	249,2	161,1	231,7
O ₃	g	48,00	142,7	238,9	163,2
OH ⁻	aq	17,01	-230,0	-10,8	-157,2
Phosphore					
P (blanc)	s	30,97		41,1	
P	g		314,6	163,2	278,3
P ₄	g	123,9	58,9	280,0	24,4
PH ₃	g	34,00	5,4	210,2	13,4
PCl ₃	g	137,33	-287,0	311,8	-267,8
PCl ₃	ℓ		-319,7	217,2	-272,3
PCl ₅	g	208,24	-374,9	364,6	-305,0
H ₃ PO ₄	s	94,97	-1279,0	110,5	-1119,1
H ₃ PO ₄	aq		-1277,4	-222,0	-1018,7
P ₄ O ₁₀	s	283,89	-2984,0	228,9	-2697,0
Plomb					
Pb	s	207,21		64,8	
Pb	g		195,0	175,4	161,9
Pb ²⁺	aq		-1,7	10,5	-24,4
PbBr ₂	s	367,01	-278,7	161,5	-261,9
PbBr ₂	aq		-244,8	175,3	-232,3
PbO (jaune)	s	223,19	-217,3	68,7	-187,9
PbO (rouge)	s		-219,0	66,5	-188,9

Substance	Forme	Masse molaire	$\Delta_f H_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]	S_{298}° [J K ⁻¹ mol ⁻¹]	$\Delta_f G_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]
PbO ₂	s	239,19	- 277,4	68,6	- 217,3
PbSO ₄	s	303,25	- 919,9	148,6	- 813,1
Potassium					
K	s	39,10		64,2	
K	g		89,2	160,3	60,6
K ⁺	aq		- 252,4	102,5	- 283,3
KOH	s	56,11	- 424,8	78,9	- 379,1
KOH	aq		- 482,4	- 91,6	- 440,5
KF	s	58,10	- 567,3	66,6	- 537,8
KCl	s	74,56	- 436,8	82,6	- 409,1
KBr	s	119,01	- 393,8	95,9	- 380,7
KI	s	166,01	- 327,9	106,3	- 324,9
KClO ₃	s	122,55	- 397,7	143,1	- 296,3
KClO ₄	s	138,55	- 432,8	151,0	- 303,1
K ₂ S	s	110,27	- 380,7	105,0	- 364,0
K ₂ S	aq		- 471,5	190,4	- 480,7
Silicium					
Si	s	28,09		18,8	
Si	g		445,6	168,0	411,3
SiO ₂	s	60,09	- 910,9	41,8	- 856,6
Sodium					
Na	s	22,99		51,2	
Na	g		107,3	153,7	76,8
Na ⁺	aq		- 240,1	59,0	- 261,9
Na ₂ CO ₃	s	105,99	- 1130,7	138,8	- 1044,4
NaHCO ₃	s	84,01	- 950,8	101,7	- 851,0
NaOH	s	40,00	- 425,6	64,5	- 379,5
NaOH	aq		- 470,1	48,1	- 419,2
NaCl	s	58,44	- 411,2	72,1	- 384,1
NaBr	s	102,90	- 361,1	86,8	- 349,0
NaI	s	149,89	- 287,9	98,5	- 286,1
Soufre					
S (orthorhombique)	s	32,06		31,8	
S (monoclinique)	s		0,3	32,6	0,1
S	g		278,8	167,8	238,3
S ²⁻	aq		33,1	- 14,6	85,8
SO ₂	g	64,06	- 296,8	248,2	- 300,2
SO ₃	g	80,06	- 395,7	256,8	- 371,1

Substance	Forme	Masse molaire	$\Delta_f H_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]	S_{298}° [J K ⁻¹ mol ⁻¹]	$\Delta_f G_{298}^\circ$ [kJ mol ⁻¹]
H ₂ SO ₄	<i>ℓ</i>	98,08	− 814,0	156,9	− 690,0
H ₂ SO ₄	aq		− 909,3	20,1	− 744,5
SO ₄ ^{2−}	aq	96,06	− 909,3	20,1	− 744,5
HSO ₄ [−]	aq	97,07	− 887,3	131,8	− 755,9
H ₂ S	g	34,08	− 20,6	205,8	− 33,6
H ₂ S	aq	34,08	− 39,7	121,0	− 27,8
HS [−]	aq	33,07	− 17,6	62,1	12,1
SF ₆	g	146,05	− 1209,0	291,8	− 1105,3
Xénon					
Xe	g	131,29		169,7	
Zinc					
Zn	s	65,39		41,6	
Zn	g		130,7	161,0	95,1
Zn ²⁺	aq		− 153,9	− 112,1	− 147,1
ZnO	s	81,37	− 348,3	43,6	− 318,3