

Matériaux : de la chimie aux propriétés – Constantes et Équations

Constantes et Valeurs

Vitesse de la lumière	c	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Accélération gravitationnelle	g	9.8 m/s^2
Constante de Planck	h	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ (et $\hbar = \frac{h}{2\pi}$)
Constante de Boltzmann	k ou k_B	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Nombre d'Avogadro	N_A	$6.022 \times 10^{23} \text{ particules mol}^{-1}$
Charge élémentaire	e	$1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (et 1eV vaut cela en J)
Constante des gaz parfaits	$R = N_A k =$	$8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ $0,08205 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ $8,3145 \text{ kPa L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ $8.314 \times 10^{-2} \text{ L bar K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
Volume molaire d'un gaz parfait, $p_0 = 1 \text{ atm}$, $T = 0^\circ\text{C}$	$V_{\text{mol}} = R \times 273,15 / P_0 =$	$22,4 \text{ L mol}^{-1}$
Unité de masse atomique	$u = 10^{-3} / N_A =$	$1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Constante de Faraday	$F = N_A \cdot e =$	$96\,485 \text{ C mol}^{-1}$
Constante de Rydberg	$R_\infty = m_e \mu_0^2 e^4 c^3 / (8h^3) =$	$1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
Constant énergétique de Rydberg	$R_H = h c R_\infty$	$13,6 \text{ eV}$
Masse du proton	$m_p =$	$1,672 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1 \text{ u}$
Masse du neutron	$m_n =$	$1,674 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1 \text{ u}$
Masse de l'électron	$m_e =$	$9,1 \times 10^{-31} \text{ kg} = 5,485 \times 10^{-4} \text{ u}$

Structure atomique (constantes données ci-dessus)

Energie d'un photon de longueur d'onde λ : $E = h \frac{c}{\lambda} = h\nu$ [J]

Energie des niveaux n de l'atome d'hydrogène: $E_n = \frac{-13,6 \text{ eV}}{n^2}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)

Rydberg pour l'Hydrogène $\frac{1}{\lambda} = R_\infty \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$ λ : longueur d'onde [m]

Equation de Broglie, corps de masse m, vitesse v: $\lambda = \frac{h}{mv}$

Incertitude de Heisenberg $\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{1}{2} \hbar = \hbar / 4\pi$ incertitude sur le mvt $\Delta p = m\Delta v$ et sur la position Δx

Loi de gaz parfait : $pV = nRT$

Potentiel de Lennard Jones, Energie : $E = \varepsilon_0 \left[\left(\frac{r_0}{r} \right)^{12} - 2 \left(\frac{r_0}{r} \right)^6 \right]$ avec ε_0 : énergie de liaison[eV]
 r_0 : distance à l'équilibre [m]

Thermodynamique

Enthalpie $H = U + pV$ [J.mol⁻¹] (U : énergie interne, p: pression en Pa, V : volume en m³/mol)

Entropie : classique : $\Delta S = \frac{Q_{rev}}{T}$ [J.mol⁻¹. K⁻¹]

Variation de l'entropie de l'Univers : $\Delta S_{\text{univers}} = \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{env}} = \Delta S_r^0 + \frac{-\Delta H_r^0}{T}$

La capacité calorifique spécifique, à p=const. : $c_p = \frac{1}{m} \frac{dH}{dT}$ [J.kg⁻¹.K⁻¹]

Variation de l'enthalpie libre (énergie de Gibbs) : $\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -T\Delta S_{\text{univers}}$

Variation standard de

- l'entropie de réaction $\Delta_r S^0 = \sum_{i=1}^p \nu_i S_i^0(\text{produits}) - \sum_{j=1}^r \nu_j S_j^0(\text{réactifs})$

- l'enthalpie de réaction $\Delta_r H^0 = \sum_{i=1}^p \nu_i \Delta_f H_i^0(\text{produits}) - \sum_{j=1}^r \nu_j \Delta_f H_j^0(\text{réactifs})$

- l'enthalpie libre de réaction $\Delta_r G^0 = \sum_{i=1}^p \nu_i \Delta_f G_i^0(\text{produits}) - \sum_{j=1}^r \nu_j \Delta_f G_j^0(\text{réactifs})$

$\Delta_r G^0$, $\Delta_r H^0$ et S^0 mesurées dans des conditions standards et tabulées

avec ν_i , ν_j les coefficients stœchiométriques pour les produits et réactifs respectivement

Variation d'enthalpie libre dans une réaction chimique : $\Delta_r G^0 = \Delta_r H^0 - T \Delta_r S^0$

Relation entre $\Delta_r G^0$ et $\Delta_r G$: $\Delta_r G = \Delta_r G^0 + RT \ln Q$ avec Q quotient réactionnel

Relation entre $\Delta_r G^0$ et K (constante d'équilibre) : $\Delta_r G^0 = -RT \ln K$

Equilibre chimique

$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$, la constante d'équilibre: concentrations à l'équilibre $K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$

Quotient réactionnel $Q = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$ (concentrations en fonction du temps)

Les acides et bases



Constante de dissociation de l'eau : $K_e = [H_3O^+][OH^-] M^{-2} = 1,0 \times 10^{-14}$ (à 25°C)

Expression de l'échelle de pH et pOH : $pH = -\log[H_3O^+]$ $pOH = -\log[OH^-]$

Relation entre pH et pOH : $pH + pOH = 14,00$ (à 25°C)

Constante d'acidité $K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$ Constante de basicité $K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]}$

Relation : $K_a K_b = K_e$

pH d'une solution d'acide fort ($K_a \gg 1$) : $pH = -\log([H^+]/1M) = -\log(c_a/1M)$

$c_a = [HA]^0 = [H^+]$

pH d'une solution aqueuse diluée d'un acide fort : $[H^+] = \frac{c_a + \sqrt{c_a^2 + 4K_e}}{2}$ quand $c_a < 10^{-6}$

pH d'une solution d'un acide faible ($K_a \ll 1$) : général : $[H^+] = x = \frac{-K_a + \sqrt{K_a^2 + 4K_a c_a}}{2}$

Si $[HA]_0 > 100 K_a$: $x = [H^+] = \sqrt{K_a c_a}$ $pH = \frac{1}{2} (pK_a - \log[HA]_0)$

pOH d'une solution d'une base forte ($K_b \gg 1$) : $pOH = -\log(c_b)$ $c_b = [B]_0$

pOH d'une solution aqueuse diluée d'une base forte : $[OH^-] = \frac{c_b + \sqrt{c_b^2 + 4K_e}}{2}$ quand $c_b < 10^{-6}$

pH d'une solution d'une base faible ($K_b \ll 1$): $x = [OH^-]$: général: $x = \frac{-K_b + \sqrt{K_b^2 + 4K_b c_b}}{2}$

Si $[B]_0 > 100 K_b$: $x = [OH^-] = \sqrt{K_b c_b}$ $pH = \frac{1}{2} (14 + pK_b + \log[B]_0)$

Acide	Base conjuguée
HI (acide iodhydrique)	I ⁻ (ion iodure)
HBr (acide bromhydrique)	Br ⁻ (ion bromure)
HCl (acide chlorhydrique)	Cl ⁻ (ion chlorure)
H ₂ SO ₄ (acide sulfurique)	HSO ₄ ⁻ (ion hydrogénosulfate)
HNO ₃ (acide nitrique)	NO ₃ ⁻ (ion nitrate)
H ₃ O ⁺ (ion hydronium)	H ₂ O (eau)
HSO ₄ ⁻ (ion hydrogénosulfate)	SO ₄ ²⁻ (ion sulfate)
HNO ₂ (acide nitreux)	NO ₂ ⁻ (ion nitrite)
HF (acide fluorhydrique)	F ⁻ (ion fluorure)
CH ₃ COOH (acide acétique)	CH ₃ COO ⁻ (ion acétate)
H ₂ CO ₃ (acide carbonique)	HCO ₃ ⁻ (ion hydrogénocarbonate)
NH ₄ ⁺ (ion ammonium)	NH ₃ (ammoniac)
HCO ₃ ⁻ (ion hydrogénocarbonate)	CO ₃ ²⁻ (ion carbonate)
H ₂ O (eau)	OH ⁻ (ion hydroxyde)
CH ₃ OH (méthanol)	CH ₃ O ⁻ (ion méthanolate)

	ACID	BASE				
100% ionized in H ₂ O	Strong	HCl	Cl ⁻	Negligible		
		H ₂ SO ₄	HSO ₄ ⁻			
		HNO ₃	NO ₃ ⁻			
		H ₃ O ⁺ (aq)	H ₂ O			
Acid strength increases ↑	Weak	HSO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Weak	Base strength increases ↓	
		H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻			
		HF	F ⁻			
		HC ₂ H ₃ O ₂	C ₂ H ₃ O ₂ ⁻			
		H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻			
		H ₂ S	HS ⁻			
		H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻			
		NH ₄ ⁺	NH ₃			
		HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻			
		HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻			
			H ₂ O			OH ⁻
		Negligible	OH ⁻			O ²⁻
H ₂	H ⁻					
CH ₄	CH ₃ ⁻					

L'électrochimie

Equation pour le potentiel de pile : $\Delta E^0_{\text{pile}} = E^0(\text{cathode}) - E^0(\text{anode})$ [V]

Relation ΔG_r^0 entre ΔE^0_{pile} et : $\Delta G_r^0 = -z F \Delta E^0_{\text{pile}}$ [J.mol⁻¹] (car [J]=[C.V])

Potentiel standard et constante équilibre : $\ln K = \frac{z F \Delta E^0}{RT}$

L'équation de Nernst : $\Delta E = \Delta E^0 - \frac{RT}{zF} \ln Q$

Loi de Faraday : $n = \frac{I t}{z F}$ avec n = nombre de moles du produit formé ; I = intensité de courant [A] ;
F : constante de Faraday ; z = nombre d'électrons transférés

Potentiel standard (page suivante) E^0 , donné pour 1 concentration de 1 mol/l, 1 atm

Tableau 7.1 Potentiels d'électrode standard à 25 °C

Demi-réaction de réduction			E° (V)	
Agent oxydant plus fort	$F_2(g) + 2 e^-$	$\longrightarrow 2 F^-(aq)$	2,87	Agent réducteur plus faible
	$H_2O_2(aq) + 2 H^+(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow 2 H_2O(l)$	1,78	
	$PbO_2(s) + 4 H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow PbSO_4(s) + 2 H_2O(l)$	1,69	
	$MnO_4^-(aq) + 4 H^+(aq) + 3 e^-$	$\longrightarrow MnO_2(s) + 2 H_2O(l)$	1,68	
	$MnO_4^-(aq) + 8 H^+(aq) + 5 e^-$	$\longrightarrow Mn^{2+}(aq) + 4 H_2O(l)$	1,51	
	$Au^{3+}(aq) + 3 e^-$	$\longrightarrow Au(s)$	1,50	
	$PbO_2(s) + 4 H^+(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Pb^{2+}(aq) + 2 H_2O(l)$	1,46	
	$Cl_2(g) + 2 e^-$	$\longrightarrow 2 Cl^-(aq)$	1,36	
	$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14 H^+(aq) + 6 e^-$	$\longrightarrow 2 Cr^{3+}(aq) + 7 H_2O(l)$	1,33	
	$O_2(g) + 4 H^+(aq) + 4 e^-$	$\longrightarrow 2 H_2O(l)$	1,23	
	$MnO_2(s) + 4 H^+(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Mn^{2+}(aq) + 2 H_2O(l)$	1,21	
	$IO_3^-(aq) + 6 H^+(aq) + 5 e^-$	$\longrightarrow \frac{1}{2} I_2(aq) + 3 H_2O(l)$	1,20	
	$Br_2(l) + 2 e^-$	$\longrightarrow 2 Br^-(aq)$	1,09	
	$VO_2^+(aq) + 2 H^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow VO^{2+}(aq) + H_2O(l)$	1,00	
	$NO_3^-(aq) + 4 H^+(aq) + 3 e^-$	$\longrightarrow NO(g) + 2 H_2O(l)$	0,96	
	$ClO_2(g) + e^-$	$\longrightarrow ClO_2^-(aq)$	0,95	
	$Ag^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow Ag(s)$	0,80	
	$Fe^{3+}(aq) + e^-$	$\longrightarrow Fe^{2+}(aq)$	0,77	
	$O_2(g) + 2 H^+(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow H_2O_2(aq)$	0,70	
	$MnO_4^-(aq) + e^-$	$\longrightarrow MnO_4^{2-}(aq)$	0,56	
	$I_2(s) + 2 e^-$	$\longrightarrow 2 I^-(aq)$	0,54	
	$Cu^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow Cu(s)$	0,52	
	$O_2(g) + 2 H_2O(l) + 4 e^-$	$\longrightarrow 4 OH^-(aq)$	0,40	
	$Cu^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Cu(s)$	0,34	
	$SO_4^{2-}(aq) + 4 H^+(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow H_2SO_3(aq) + H_2O(l)$	0,20	
	$Cu^{2+}(aq) + e^-$	$\longrightarrow Cu^+(aq)$	0,16	
	$Sn^{4+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Sn^{2+}(aq)$	0,15	
	$2 H^+(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow H_2(g)$	0	
	$Fe^{3+}(aq) + 3 e^-$	$\longrightarrow Fe(s)$	-0,036	
	$Pb^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Pb(s)$	-0,13	
	$Sn^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Sn(s)$	-0,14	
	$Ni^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Ni(s)$	-0,23	
	$Cd^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Cd(s)$	-0,40	
	$Fe^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Fe(s)$	-0,45	
	$Cr^{3+}(aq) + e^-$	$\longrightarrow Cr^{2+}(aq)$	-0,50	
	$Cr^{3+}(aq) + 3 e^-$	$\longrightarrow Cr(s)$	-0,73	
	$Zn^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Zn(s)$	-0,76	
	$2 H_2O(l) + 2 e^-$	$\longrightarrow H_2(g) + 2 OH^-(aq)$	-0,83	
	$Mn^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Mn(s)$	-1,18	
	$Al^{3+}(aq) + 3 e^-$	$\longrightarrow Al(s)$	-1,66	
	$Mg^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Mg(s)$	-2,37	
	$Na^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow Na(s)$	-2,71	
	$Ca^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Ca(s)$	-2,76	
	$Ba^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Ba(s)$	-2,90	
	$K^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow K(s)$	-2,92	
Agent oxydant plus faible	$Li^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow Li(s)$	-3,04	Agent réducteur plus fort

Tableau périodique des éléments

I A																	
1	H Hydrogène 1.008																
II A																	
3	Li	4	Be Béryllium 9.012														
11	Na	12	Mg Magnésium 24.31														
III B																	
19	K	20	Ca	21	Sc Scandium 44.96												
37	Rb	38	Sr	39	Y Yttrium 88.91												
55	Cs	56	Ba	57	La Lanthane 138.9												
87	Fr	88	Ra	89	Ac Actinium 227.0												
IV B																	
22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn
40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd
72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg
104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Uun	111	Uu	112	Uub
132	Uu	133	Uu	134	Uu	135	Uu	136	Uu	137	Uu	138	Uu	139	Uu	140	Uu
V B																	
VI B																	
VII B																	
VIII B																	
I B																	
II B																	
III A																	
IV A																	
V A																	
VI A																	
VII A																	
VIII A																	
IX A																	
X A																	
XI A																	
XII A																	
XIII A																	
XIV A																	
XV A																	
XVI A																	
XVII A																	
XVIII A																	
XIX A																	
XX A																	
XXI A																	
XXII A																	
XXIII A																	
XXIV A																	
XXV A																	
XXVI A																	
XXVII A																	
XXVIII A																	
XXIX A																	
XXX A																	
XXXI A																	
XXXII A																	
XXXIII A																	
XXXIV A																	
XXXV A																	
XXXVI A																	
XXXVII A																	
XXXVIII A																	
XXXIX A																	
XL A																	
XLI A																	
XLII A																	
XLIII A																	
XLIV A																	
XLV A																	
XLVI A																	
XLVII A																	
XLVIII A																	
XLIX A																	
L A																	
LI A																	
LII A																	
LIII A																	
LIV A																	
LV A																	
LVI A																	
LVII A																	
LVIII A																	
LIX A																	
LX A																	
LXI A																	
LXII A																	
LXIII A																	
LXIV A																	
LXV A																	
LXVI A																	
LXVII A																	
LXVIII A																	
LXIX A																	
LXX A																	
LXXI A																	
LXXII A																	
LXXIII A																	
LXXIV A																	
LXXV A																	
LXXVI A																	
LXXVII A																	
LXXVIII A																	
LXXIX A																	
LXXX A																	
LXXXI A																	
LXXXII A																	
LXXXIII A																	
LXXXIV A																	
LXXXV A																	
LXXXVI A																	
LXXXVII A																	
LXXXVIII A																	
LXXXIX A																	
LXXXX A																	
LXXXXI A																	
LXXXXII A																	
LXXXXIII A																	
LXXXXIV A																	
LXXXXV A																	
LXXXXVI A																	
LXXXXVII A																	
LXXXXVIII A																	
LXXXXIX A																	
LXXXXX A																	
LXXXXXI A																	
LXXXXXII A																	
LXXXXXIII A																	
LXXXXXIV A																	
LXXXXXV A																	
LXXXXXVI A																	
LXXXXXVII A																	
LXXXXXVIII A																	
LXXXXXIX A																	
LXXXXXX A																	
LXXXXXXI A																	
LXXXXXXII A																	
LXXXXXXIII A																	
LXXXXXXIV A																	
LXXXXXXV A																	
LXXXXXXVI A																	
LXXXXXXVII A																	
LXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXIX A																	
LXXXXXXX A																	
LXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	
LXXXXXXXVI A																	
LXXXXXXXVII A																	
LXXXXXXXVIII A																	
LXXXXXXXIX A																	
LXXXXXXXX A																	
LXXXXXXXXI A																	
LXXXXXXXII A																	
LXXXXXXXIII A																	
LXXXXXXXIV A																	
LXXXXXXXV A																	

Matériaux – Principales relations et équations

GENERALITES – LIAISONS (voir formulaire chimie)

Principe de Pauli : un set (n, l, m_l, m_s) correspond à 1 seul e⁻
 Règle de Hund : sur les orbitales (n, l), on fixe d'abord m_s avant de varier m_l

DIFFRACTION (θ est l'angle, λ la longueur d'onde du faisceau lumineux, et n un entier).

Loi de Bragg : $2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda$ [m] avec, pour un réseau cubique, la distance entre les plans (h,k,l) : $d_{hkl} = a(h^2+k^2+l^2)^{-1/2}$

ELASTICITE – VISCOSITE (F_x force selon la direction x, S_x section normale à la direction x, S_y section normale à la direction y)

Contrainte en traction (compression uniaxiale) [Pa] : $\sigma_{xx} = \frac{F_x}{S_x}$ Contrainte de cisaillement [Pa] : $\sigma_{xy} = \frac{F_x}{S_y}$

Déformation [-] traction/compression : $\varepsilon_{xx} = \frac{\Delta L_x}{L_{0x}}, \varepsilon_{yy} = \frac{\Delta L_y}{L_{0y}}, \varepsilon_{zz} = \frac{\Delta L_z}{L_{0z}}$ Cisaillement : $\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \gamma = \frac{1}{2} \frac{\Delta L_x}{L_{0y}}$

Module élastique E [Pa] : $\sigma_{xx} = E \varepsilon_{xx}$

Coefficient de Poisson [-] : $\nu = \frac{-\varepsilon_{yy}}{\varepsilon_{xx}} = \frac{-\varepsilon_{zz}}{\varepsilon_{xx}}$

Module de cisaillement G [Pa] : $\sigma_{xy} = G 2\varepsilon_{xy} = G \frac{\Delta L_x}{L_{0y}}$

Pour un solide isotrope : $G = \frac{1}{2} \frac{E}{1+\nu}$

Coefficient de compressibilité K [Pa] : $K = -V_0 \frac{\Delta p}{\Delta V}$

Pour un solide isotrope : $K = \frac{1}{3} \frac{E}{1-2\nu}$

Viscosité μ d'un liquide [Pa.s] : $\sigma_{xy} = \mu \frac{dv_x}{dy} = \mu \dot{\varepsilon}_{xy}$

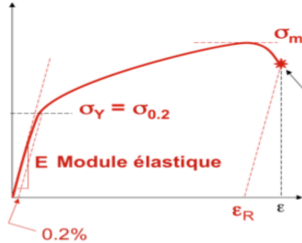
Vitesse de propagation d'une onde [m/s] : $v = \sqrt{E/\rho}$

Densité d'énergie élastique en traction uniaxiale [J/m³=Pa] : $w = \frac{1}{2} E \varepsilon_{xx}^2 = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{xx}^2}{E}$ (Energie totale, multiplier par le volume V)

Pour un potentiel de Lennard-Jones : $E = \frac{72\varepsilon_0}{r_0^3}$

Changement de volume : $\frac{\Delta V}{V} = (1-2\nu)\varepsilon_{xx}$

PLASTICITE



Limite d'élasticité d'un matériau : σ_{el} ou σ_y [Pa] (Métaux : $\sigma_{0.2}$ Polymères : $\sigma_{0.5}$)

Résistance maximum d'un matériau : σ_m [Pa]

Ductilité d'un matériau : ε_R (- ou %)

Déformation totale : $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{xx}^{el} + \varepsilon_{xx}^{pl}$

Augmentation de limite d'élasticité due au durcissement : par solution solide $\Delta\sigma_Y^{SS} = K_{SS} G \delta \sqrt{X}$, par précipités $\Delta\sigma_Y^P = K_P \frac{Gb}{L}$,

par écrouissage $\Delta\sigma_Y^E = K_E G b \sqrt{\rho_d}$, par taille des grains (Hall Petch) $\Delta\sigma_Y^{HP} = \frac{K_{HP}}{\sqrt{\phi_g}}$ où K constantes, G module de cisaillement

[Pa], δ: différence de rayons atomiques [m], X: composition [-], b: norme du vecteur de Burgers [m], L: distance entre obstacles

[m], ρ_d : densité de dislocations [m⁻²], ϕ_g : diamètre des grains [m].

DURETE - TENACITE

Dureté Vickers H_V [Vickers] = $1.854 \frac{F[kgF]}{d^2[mm^2]} = 0.189 \frac{F[N]}{d^2[mm^2]}$ où d est la moyenne des diagonales de l'empreinte.

Pour l'acier, H_V $\approx \sigma_y$ [Mpa]/3 et la dureté en Mpa : H [Mpa] = 9.81 H_V $\approx 3 \sigma_y$

Dureté Brinell, $H_B = 0.102 \frac{2F[N]}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}) [mm^2]}$ où D est le diamètre de la bille et d diamètre moyen de l'empreinte.

Facteur de concentration de contraintes K_{sc} = $1 + \alpha(l/\rho_{sc})^{0.5}$ [-], α cst, ρ_{sc} rayon de courbure;

Facteur d'intensité de contraintes : $K_1 = \sigma_0 \sqrt{\pi l}$ [Pa m^{1/2}], σ₀ est la contrainte appliquée, l la longueur de fissure.

Extension de la zone plastique en avant d'une fissure : $r_y = \frac{(K_1)^2}{\pi \sigma_y^2}$ [m]

Tenacité d'un matériau : $K_{1c} = \sqrt{G_C E}$ avec $G_C = 2\gamma + G_C^{pl}$ (γ : énergie de surface ; G_C^{pl} : énergie plastique [Pa.m ou J/m²])

Critère de fissuration spontanée : $K_{1c} \geq K_{1c}$

Pour un potentiel de Lennard-Jones, énergie de surface $\gamma = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_0}{r_0^2}$

FATIGUE – USURE

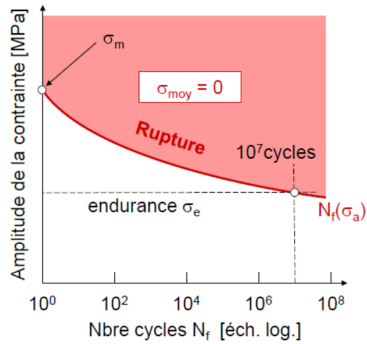
Coefficients de frottements statiques [-] : $\mu_s \approx \frac{F_t}{F_n}$ (v=0)

dynamiques : $\mu_d \approx \frac{F_t}{F_n}$ (v ≠ 0)

Taux d'usure spécifique Ω [-] : $\Omega = \frac{W}{A}$ où A est l'aire de frottement et $W = \frac{\text{volume enlevé}}{\text{distance parcourue}}$

Coefficient d'Archard k_a [Pa⁻¹] : $\Omega = \frac{W}{A} = k_a p = k_a \frac{F_n}{A}$

Matériaux – Principales relations et équations



A gauche, courbe de fatigue à $\sigma_{moy}=0$ donnant le nombre de cycles à rupture pour une amplitude de contrainte σ_a . σ_m est la contrainte à rupture statique, N_f le nombre de cycle à rupture. L'endurance du matériau σ_e est donnée pour une rupture à 10^7 cycles. Lorsque $\sigma_{moy} \neq 0$, on utilise la loi de Goodman, qui donne la nouvelle amplitude qui donne un nombre de cycle à rupture N_f : $\sigma_a(N_f, \sigma_{moy}) = \sigma_a^0(N_f) \left(1 - \frac{\sigma_{moy}}{\sigma_m}\right)$ $\sigma_a^0(N_f)$ est l'amplitude pour $\sigma_{moy}=0$ donnant N_f cycles à rupture. Lorsque des cycles d'amplitudes variables sont appliquées, on utilise la règle de Miner : $\sum \frac{N_i}{N_{fi}(\sigma_{a,i})} = 1$, avec N_i nombre de cycles de la période i , à l'amplitude $\sigma_{a,i}$.
Loi de Paris : $\frac{dl}{dN} = A \Delta K_I^m$, A, m constantes, l [m] longueur de fissure et N nombre de cycles, K_I facteur d'intensité de contraintes.

PROPRIETES THERMIQUES

Chaleur spécifique : $c_p = \frac{1}{m} \frac{dH}{dT}$ [J K⁻¹ kg⁻¹]

Chaleur latente de transformation : $L = \frac{\Delta H}{m}$ [J kg⁻¹]

Flux thermique : $j_T = -k \frac{dT}{dz}$ [W m⁻²] où k est la conductivité thermique [W m⁻¹ K⁻¹]

Eq. de la chaleur : $\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial j_T}{\partial z} = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$ où $\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$ et diffusivité $a = \frac{k}{\rho c_p}$ [m² s⁻¹]

Nbre Fourier [-] : $F_o = \frac{a \Delta t}{\Delta x^2}$ Position où $T = (T_1 + T^*)/2$ est $L_c = V(a_1 t)$; Effusivité : $e = \sqrt{k \rho c_p}$

Coeff. d'expansion thermique linéaire [K⁻¹] : $\alpha = \frac{1}{L} \frac{dL}{dT}$ Déformation thermique [-] $\epsilon_{xx}^{th} = \frac{\Delta L}{L_0} = \alpha (T_1 - T_0)$

COMPORTEMENT A HAUTE TEMPERATURE

Coefficient de diffusion des espèces chimiques : $D(T) = D_0 \exp\left[\frac{-Q}{RT}\right]$ [m²s⁻¹], D_0, Q constantes, R constante des gaz parfaits

Loi de la diffusion (C concentration en mol ou g/volume) : $\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial j_C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ Nombre de Fourier [-] : $F_o = \frac{D \Delta t}{\Delta x^2}$

DIAGRAMME DE PHASES

Composition ou fraction molaire [-] : $X_A = \frac{N_A}{N_A + N_B}$

Composition ou fraction massique [-] : $C_A = \frac{m_A}{m_A + m_B}$

Règle des phases de Gibbs : $N_{DL} = 2 + N_C - N_P$, où N_{DL} : nbre de degrés de liberté ; N_C : nbre de composants chimiques

N_P : nbre de phases présentes dans le système. Si P fixé, la règle devient : $N_{DL} = 1 + N_C - N_P$

Loi des leviers donnant la fraction molaire d'une phase α dans le domaine biphasé ($\alpha + \beta$) [-] : $\chi_\alpha = \frac{X_{B\beta} - X_{B0}}{X_{B\beta} - X_{B\alpha}}$

où X_{B0} : composition nominale en B ; $X_{B\alpha}$: composition de la phase α en B ; $X_{B\beta}$: composition de la phase β en B

OXYDATION/CORROSION

Cinétique d'oxydation, couche dense : $x^2 \sim D_0 \exp\left(\frac{-Q_D}{RT}\right) C_0 t = D C_0 t$, D coeff de diffusion, C_0 concentration en O₂ à la surface

Corrosion aqueuse possible si le potentiel E^0 est inférieur à celui de O₂+2H₂O+4e⁻→4 OH⁻

PROPRIETES ELECTRIQUES – MAGNETIQUES

Dipôle électrique [A s m] : $\mathbf{p} = q\mathbf{d}$

Moment magnétique orbital [A m²] : $\mathbf{m} = \frac{1}{2} q \mathbf{r} \times \mathbf{v}$

Vecteur polarisation : $\mathbf{P} = \frac{1}{V} \sum_i \mathbf{p}_i$ [A s m⁻²]

Vecteur aimantation : $\mathbf{M} = \frac{1}{V} \sum_i \mathbf{m}_i$ [A m⁻¹]

$\mathbf{P} = \epsilon_0 \chi_E \mathbf{E}$ ($\mathbf{E}$: champ électrique [V m⁻¹])

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ [A s V⁻¹ m⁻¹] et $\epsilon_r = (1 + \chi_E)$, χ_E susceptibilité électrique [-]

Charge d'un condensateur [Coulomb=Fahrad.V] : $Q = C V$ avec pour un condensateur plan : $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$, S surface et d distance plaques.

$\mathbf{M} = \chi_M \mathbf{H}$ ($\mathbf{H}$: champ magnétique [A m⁻¹])

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [V s A⁻¹ m⁻¹] et $\mu_r = (1 + \chi_M)$, χ_M susceptibilité magnétique [-]

Induction magnétique d'un solénoïde de N spires, de longueur L et courant I : $\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{L}$ [V s m⁻²]

Modèle de Drude pour la conductivité électrique : $\mathbf{j}_e = -n_e e \mathbf{v} = \frac{n_e e^2 \tau}{m_e} \mathbf{E} = \sigma_e \mathbf{E} = \rho_e^{-1} \mathbf{E}$, n_e : densité d'électrons

Résistance : $R = \rho_e l/S$, ρ_e résistivité [Ω m], l longueur du fil, S section. σ_e est la conductivité électrique, [Ω^{-1} m⁻¹]

UNITES: 1J=1kg.m².s⁻²=1N.m, 1 Pa= 1 N.m⁻², 1 W= 1J.s⁻¹, 1 A= 1C.s⁻¹, 1V= 1J.C⁻¹= 1 kg.m².s⁻³.A⁻¹