

**TOUT EN
FICHES**

MÉMO VISUEL DE

CHIMIE GÉNÉRALE

2^e édition

Isabelle Bonnamour

Maître de conférences à l'université de Lyon

Jean-Sébastien Filhol

Professeur des universités à l'université de Montpellier

Frédéric Lemoigno

Maître de conférences à l'université de Montpellier

Nathalie Pérol

Maître de conférences à l'université de Lyon

Jean-Yves Winum

Professeur des universités à l'université de Montpellier

DUNOD

Illustrations de couverture : gerenme – istock.com

Uniformisation des illustrations et mise en page des fiches : Bernadette Coléno

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>	 <p>DANGER LE PHOTOCOPIAGE TUE LE LIVRE</p>	<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	---	---

© Dunod, 2019, 2022

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

ISBN 978-2-10-084049-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Avant-propos	IX
Comment utiliser cet ouvrage	X

Chapitre 1 Boîte à outils

Fiche 1	Rappels : géométrie et trigonométrie	2
Fiche 2	Rappels : dérivation et intégration	3
Fiche 3	Rappels : équation différentielle, développement limité, logarithme et exponentielle	4
Fiche 4	Le système international d'unité (1)	5
Fiche 5	Le système international d'unité (2)	6
Fiche 6	La quantité de matière	7
Fiche 7	Concentration d'une solution	8
Fiche 8	La notation scientifique	9
Fiche 9	Les chiffres significatifs	10
Fiche 10	Erreurs et incertitudes (1)	11
Fiche 11	Erreurs et incertitudes (2)	12
Fiche 12	Équilibrer une équation chimique	13
Fiche 13	Stœchiométrie – Avancement d'une réaction	14

Chapitre 2 Atomistique

Fiche 14	L'atome	16
Fiche 15	La radioactivité	17
Fiche 16	Les modèles atomiques	18
Fiche 17	L'équation de Schrödinger	19
Fiche 18	Propriétés de la fonction d'onde	20
Fiche 19	Quelques solutions de l'équation de Schrödinger	21
Fiche 20	L'atome d'hydrogène et les hydrogénoïdes	22
Fiche 21	Le spectre des hydrogénoïdes	23
Fiche 22	Les orbitales atomiques (1)	24
Fiche 23	Les orbitales atomiques (2)	25
Fiche 24	Le spin	26

Table des matières

Fiche 25	Approximations en mécanique quantique	27
Fiche 26	L'atome polyélectronique	28
Fiche 27	La configuration électronique atomique	29
Fiche 28	Lien entre la classification et la structure électronique	30
Fiche 29	L'électronégativité	31
Fiche 30	Énergie d'ionisation – Affinité électronique	32
Fiche 31	Le modèle de Slater (1)	33
Fiche 32	Le modèle de Slater (2)	34

Chapitre 3 La liaison chimique

Fiche 33	La règle de l'octet	36
Fiche 34	La systématique de Lewis (1)	37
Fiche 35	La systématique de Lewis (2)	38
Fiche 36	La liaison covalente (1)	39
Fiche 37	La liaison covalente (2)	40
Fiche 38	La liaison covalente polarisée	41
Fiche 39	La liaison ionique	42
Fiche 40	La liaison métallique	43
Fiche 41	Les liaisons de van der Waals	44
Fiche 42	La liaison hydrogène	45
Fiche 43	La théorie CLOA	46
Fiche 44	Recouvrement et symétrie	47
Fiche 45	Les molécules diatomiques A_2	48
Fiche 46	Stabilité des molécules diatomiques A_2	49
Fiche 47	Conséquences de l'électronégativité	50
Fiche 48	Les molécules AH (1)	51
Fiche 49	Les molécules AH (2)	52

Chapitre 4 Les molécules

Fiche 50	La représentation spatiale des molécules	54
Fiche 51	L'écriture des molécules	55
Fiche 52	La nomenclature	56
Fiche 53	Nomenclature en chimie inorganique	57
Fiche 54	La méthode VSEPR (1)	58
Fiche 55	La méthode VSEPR (2)	59
Fiche 56	L'isomérie de constitution (plane)	60
Fiche 57	Les stéréoisomères de conformation	61
Fiche 58	Les stéréoisomères de configuration	62

Table des matières

Fiche 59	Les stéréodescripteurs	63
Fiche 60	La chiralité	64
Fiche 61	Les relations d'isomérisie	65
Fiche 62	Le moment dipolaire	66

Chapitre 5 Les états de la matière

Fiche 63	Les différents états de la matière	68
Fiche 64	Autres états de la matière	69
Fiche 65	Diagrammes de phases	70
Fiche 66	La structure cristalline	71
Fiche 67	Les cristaux simples (1)	72
Fiche 68	Les cristaux simples (2)	73
Fiche 69	Les cristaux ioniques (1)	74
Fiche 70	Les cristaux ioniques (2)	75
Fiche 71	La structure électronique des solides	76

Chapitre 6 Méthodes d'analyses

Fiche 72	La spectroscopie	78
Fiche 73	Le principe de la résonance magnétique nucléaire du proton (RMN ^1H)	79
Fiche 74	Le spectre de résonance magnétique nucléaire du proton (RMN ^1H) (1)	80
Fiche 75	Le spectre de résonance magnétique nucléaire du proton (RMN ^1H) (2)	81
Fiche 76	La résonance magnétique nucléaire des noyaux autres que le proton	82
Fiche 77	La spectroscopie d'absorption UV-visible (1)	83
Fiche 78	La spectroscopie d'absorption UV-visible (2)	84
Fiche 79	La spectroscopie infrarouge (IR) (1)	85
Fiche 80	La spectroscopie infrarouge (IR) (2)	86
Fiche 81	La spectrométrie de masse par impact électronique (1)	87
Fiche 82	La spectrométrie de masse par impact électronique (2)	88
Fiche 83	La spectroscopie atomique	89
Fiche 84	La spectroscopie d'absorption atomique	90
Fiche 85	La spectroscopie d'émission atomique	91
Fiche 86	La fluorescence	92
Fiche 87	Le pouvoir rotatoire	93
Fiche 88	L'indice de réfraction	94
Fiche 89	La diffraction des rayons X	95
Fiche 90	La chromatographie : généralités	96
Fiche 91	La chromatographie sur couche mince (CCM) (1)	97
Fiche 92	La chromatographie sur couche mince (CCM) (2)	98

Table des matières

Fiche 93	La chromatographie sur colonne	99
Fiche 94	La chromatographie en phase gazeuse (CPG)	100
Fiche 95	La chromatographie liquide haute performance (HPLC)	101

Chapitre 7 Thermodynamique

Fiche 96	La thermodynamique	104
Fiche 97	État d'un système thermodynamique	105
Fiche 98	Les transformations	106
Fiche 99	Les gaz parfaits	107
Fiche 100	La chaleur	108
Fiche 101	Travail et pression	109
Fiche 102	Le premier principe	110
Fiche 103	L'enthalpie	111
Fiche 104	La loi de Hess	112
Fiche 105	Les énergies de liaison	113
Fiche 106	La capacité thermique	114
Fiche 107	La loi de Kirchhoff	115
Fiche 108	Deuxième principe et entropie (1)	116
Fiche 109	Deuxième principe et entropie (2)	117
Fiche 110	Le troisième principe : entropie absolue	118
Fiche 111	Les variations d'entropie	119
Fiche 112	Les fonctions d'énergie libre	120
Fiche 113	L'enthalpie libre des réactions chimiques	121
Fiche 114	Les constantes d'équilibre	122

Chapitre 8 Chimie des solutions

Fiche 115	Solvant, soluté, solution	124
Fiche 116	Les solvants	125
Fiche 117	Les électrolytes	126
Fiche 118	Solubilité des sels et produit de solubilité	127
Fiche 119	Réactions de précipitation	128
Fiche 120	Autoprotolyse de l'eau-Échelle de pH	129
Fiche 121	La théorie des acides et des bases selon Arrhenius	130
Fiche 122	La théorie des acides et des bases selon Brønsted Lowry	131
Fiche 123	Les acides et les bases de Lewis	132
Fiche 124	Force des acides et des bases dans l'eau	133

Table des matières

Fiche 125	La loi d'Ostwald	134
Fiche 126	Prévoir le pH des solutions aqueuses	135
Fiche 127	Prévoir les réactions entre acides et bases	136
Fiche 128	Les indicateurs colorés acido-basiques	137
Fiche 129	Les réactions de neutralisation et les courbes de titrage	138
Fiche 130	Les méthodes de titrage acido-basique	139
Fiche 131	Le titrage pH-métrique	140
Fiche 132	Le titrage conductimétrique	141
Fiche 133	Le titrage des acides forts et des bases fortes	142
Fiche 134	Le titrage des acides faibles et des bases faibles	143
Fiche 135	La préparation des solutions tampons	144
Fiche 136	Les solutions tampons	145
Fiche 137	Réactions de complexation	146

Chapitre 9 Cinétique chimique

Fiche 138	La vitesse de réaction	148
Fiche 139	L'ordre de réaction	149
Fiche 140	La cinétique du premier ordre	150
Fiche 141	Les cinétiques d'ordre zéro et deux	151
Fiche 142	La réaction élémentaire	152
Fiche 143	Le chemin réactionnel	153
Fiche 144	La réaction complexe	154
Fiche 145	L'approximation en cinétique	155
Fiche 146	Cas pratiques	156
Fiche 147	Orientation de la réactivité	157
Fiche 148	Prédiction quantique de la réactivité (1)	158
Fiche 149	Prédiction quantique de la réactivité (2)	159
Fiche 150	Prédiction quantique de la réactivité (3)	160

Chapitre 10 Oxydoréduction-Électrochimie

Fiche 151	La réaction d'oxydoréduction	162
Fiche 152	Le degré d'oxydation (1)	163
Fiche 153	Le degré d'oxydation (2)	164
Fiche 154	Équilibrer une réaction d'oxydoréduction	165
Fiche 155	Les cellules électrochimiques	166
Fiche 156	Les cellules voltaïques ou galvaniques (1)	167

Table des matières

Fiche 157	Les cellules voltaïques ou galvaniques (2)	168
Fiche 158	Le potentiel standard d'un couple oxydoréducteur	169
Fiche 159	Les électrodes de références	170
Fiche 160	L'équation de Nernst	171
Fiche 161	Prévoir des réactions d'oxydoréduction	172
Fiche 162	Les piles et les batteries (1)	173
Fiche 163	Les piles et les batteries (2)	174
Fiche 164	La pile à combustible	175
Fiche 165	Les cellules électrolytiques (1)	176
Fiche 166	Les cellules électrolytiques (2)	177
Fiche 167	La corrosion	178
Fiche 168	Le diagramme potentiel-pH (1)	179
Fiche 169	Le diagramme potentiel-pH (2)	180
Fiche 170	Le dosage rédox (1)	181
Fiche 171	Le dosage rédox (2)	182
Classification périodique des éléments		183
Valeurs de quelques constantes fondamentales		184
Préfixe SI		185
Index		192
Crédits iconographiques		193

Avant-propos

Le *Mémo visuel de chimie générale* a été conçu pour vous aider dans l'apprentissage de la chimie. Il a pour objectif de présenter, d'une manière visuelle, l'essentiel des concepts fondamentaux de la chimie générale en associant intimement textes brefs et illustrations.

Il vous offre une occasion importante d'apprendre les concepts fondamentaux de la chimie et de comprendre comment ces concepts s'appliquent à la vie de tous les jours et au monde qui nous entoure.

Élaboré de manière à se conformer à la structure et à la progression de la plupart des cours de chimie générale, ce livre comprend un certain nombre de caractéristiques pédagogiques novatrices conçues pour améliorer la compréhension et l'apprentissage en liant fortement concepts chimiques, illustrations, diagrammes et photographies.

Il s'articule ainsi autour de 10 chapitres, permettant d'aborder l'ensemble des aspects de base de la chimie générale sous la forme de 171 fiches. Au travers des différentes thématiques abordées : l'atomistique, les liaisons chimiques, les molécules, les états de la matière, les méthodes d'analyses, les bases de la thermodynamique, la chimie des solutions, la cinétique chimique et l'oxydoréduction, ce mémo visuel constitue un instrument de révision iconographique, permettant une vue d'ensemble des notions détaillées dans les ouvrages compagnons plus complet¹.

Le Mémo visuel de chimie générale est d'un niveau scientifique correspondant au programme de Licence (1^{re} et 2^e années, IUT, BTS). Il permettra également aux étudiants en sciences médicales et paramédicales, aux élèves des classes préparatoires aux grandes écoles ainsi qu'aux candidats aux concours de l'enseignement (CAPES, Agrégation), de retrouver les notions essentielles dont ils auront besoin lors du passage des concours.

1. Voir *Chimie Générale, tout le cours en fiches*, Alain Sevin *et al.*, 2^e édition, Dunod, 2016 et *Chimie : cours, exercices et méthodes*, Coll. Fluorescences, Stéphane Perrio *et al.*, 2^e édition Dunod, 2021.

Comment utiliser cet ouvrage



10 chapitres Les grands axes de la chimie générale

171 fiches

Les notions essentielles du cours pour réviser rapidement

Plus de 400 schémas et photos en couleur

pour illustrer chaque notion importante

Et aussi...

- Un index complet

fiche 24 Le spin

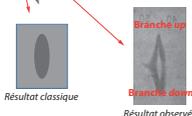
Atomistique

Au début du XX^e siècle, la question qui se pose est l'existence d'un moment cinétique intrinsèque classique ou quantifié pour l'électron.

► Expérience de Stern et Gerlach (1922)



- 1 : four
- 2 : faisceau d'atomes d'argent
- 3 : aimant permanent générant un fort gradient de champ magnétique
- 4 : résultat attendu
- 5 : résultat observé



Les atomes d'argent ont les mêmes propriétés magnétiques qu'un électron dominant ainsi une information sur le moment cinétique électronique :
• pour un système classique : continuum de déviation ;
• observé : deux branches discontinues up/down.

► Le spin(s)

Un électron possède un moment magnétique intrinsèque quantifié qui ne peut prendre que deux valeurs associées au nombre quantique de spin $m_s = \pm 1/2$.

► Représentation



► Fonction d'onde et spin

La fonction d'onde totale d'un électron comprend deux parties : une partie d'espace $\psi(r)$ et une partie de spin χ_s (qui peut être up ou down).

$$\Psi(r, s) = \psi(r) \times \chi_s$$



1

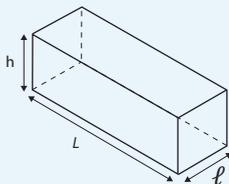
Boîte à outils

Rappels : géométrie et trigonométrie

Quelques formules de base de trigonométrie et de géométrie essentielles en mécanique quantique, spectroscopie, cristallographie...

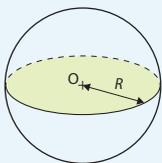
► Volumes

Parallélépipède



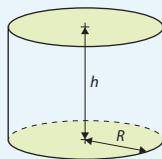
$$V = h \times L \times \ell$$

Sphère



$$V = \frac{4}{3} \pi \times R^3$$

Cylindre



$$V = \pi \times R^2 \times h$$



Archimède
(- 287 - - 212)
Physicien, mathématicien,
ingénieur grec.

► Trigonométrie

$$\sin^2(x) + \cos^2(x) = 1$$

$$\sin(\theta) = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i}$$

$$\cos(\theta) = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2}$$

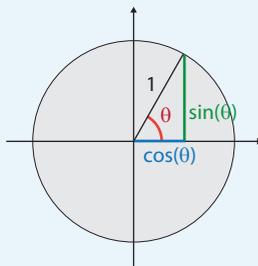
$$\cos(a + b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b)$$

$$\sin(a + b) = \sin(a)\cos(b) + \cos(a)\sin(b)$$

$$\cos(a) \cos(b) = \frac{\cos(a + b) + \cos(a - b)}{2}$$

$$\sin(a) \sin(b) = \frac{\cos(a - b) - \cos(a + b)}{2}$$

$$\sin(a) \cos(b) = \frac{\sin(a + b) + \sin(a - b)}{2}$$



Hipparque
(- 190 - - 120)
Astronome, mathématicien,
géographe grec.

Rappels : dérivation et intégration

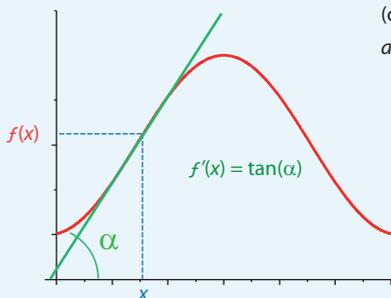
Quelques formules de dérivées, de dérivation, de primitives et d'intégration, essentielles en mécanique quantique, thermodynamique, cinétique...

Formules de dérivation

$$(f(x)g(x))' = f'(x) \cdot g(x) + g'(x) \cdot f(x)$$

$$(f(g(x)))' = g'(x) \cdot f'(g(x))$$

$$\left(\frac{1}{f(x)}\right)' = -\frac{f'(x)}{(f(x))^2}$$



Dérivées usuelles

$$(a \cdot x^n)' = a \cdot n \cdot x^{n-1}$$

$$(a \cdot e^{\omega x})' = a \cdot \omega \cdot e^{\omega x}$$

$$(\ln(x))' = \frac{1}{x}$$

$$(\sin(\omega x))' = \omega \cdot \cos(\omega x)$$

$$(\cos(\omega x))' = -\omega \cdot \sin(\omega x)$$

$a, \omega = \text{constantes}$



Jean le Rond d'Alembert
(1717 - 1783)

Physicien et mathématicien français.

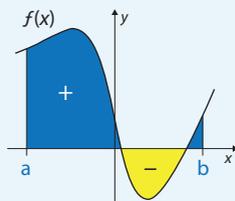
Formules d'intégration

$$\int f'(x) \cdot g(x) dx = [f(x) \cdot g(x)]$$

$$- \int f(x) \cdot g'(x) dx$$

$$\int f'(g(x)) \cdot g'(x) dx = [f(g(x))]$$

$$\int f(x)^n \cdot f'(x) dx = \left[\frac{f(x)^{n+1}}{n+1}\right]$$



Primitives usuelles

$$\int a \cdot x^n dx = \left[\frac{ax^{n+1}}{n+1}\right]$$

$$\int a \cdot e^{\omega x} dx = a \left[\frac{e^{\omega x}}{\omega}\right]$$

$$\int \ln(x) dx = [x(\ln(x)-x)]$$

$$\int \frac{1}{x} dx = [\ln(x)]$$

$$\int \sin(x) dx = -[\cos(x)]$$

$$\int \cos(x) dx = [\sin(x)]$$

$a, \omega = \text{constantes}$



Gottfried Wilhelm Leibniz
(1646 - 1716)

Mathématicien, physicien, philosophe, juriste, bibliothécaire allemand.

Rappels : équation différentielle, développement limité, logarithme et exponentielle

Quelques solutions simples d'équations différentielles, de développements limités et quelques formules sur les logarithmes et exponentielles essentielles en chimie quantique et en chimie physique.

▶ Équation différentielle

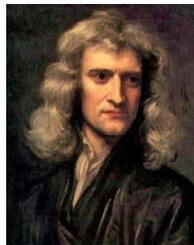
$$f'(x) + af(x) = 0 : f(x) = Ce^{-ax}$$

$$f'(x) + a(f(x))^2 = 0 : f(x) = \frac{1}{ax + C}$$

$$f''(x) + \omega^2 f(x) = 0 : f(x) = C_1 e^{i\omega x} + C_2 e^{-i\omega x}$$

$$f''(x) - \omega^2 f(x) = 0 : f(x) = C_1 e^{\omega x} + C_2 e^{-\omega x}$$

avec C , C_1 et C_2 des constantes à déterminer avec les conditions initiales



Isaac Newton
(1642 - 1727)
Physicien,
mathématicien
et alchimiste
anglais.

▶ Développement limité (2nd ordre)

$$(1+x)^n = 1 + nx + \frac{n(n-1)}{2} x^2 + o(x^2)$$

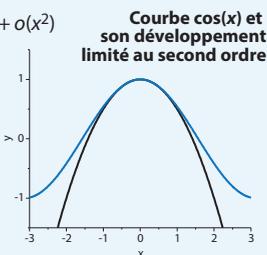
$$\sin(x) = x + o(x^2)$$

$$\cos(x) = 1 - \frac{x^2}{2} + o(x^2)$$

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2} + o(x^2)$$

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + o(x^2)$$

$o(x)^2$: les autres termes de la série sont négligeables devant x^2 pour $|x| \ll 1$



Brook Taylor
(1685 - 1731)
Mathématicien
anglais.

▶ Logarithme

$$\ln(ab) = \ln(a) + \ln(b)$$

$$\ln(a/b) = \ln(a) - \ln(b)$$

$$\ln(a^n) = n \ln(a)$$

$$\ln(e) = 1$$

$$\ln(1) = 0$$

$$\log(x) = \ln(x) / \ln(10)$$

$$\text{Si } x = 10^y \text{ alors } y = \log(x)$$

$$\log(ab) = \log(a) + \log(b)$$

$$\log(a/b) = \log(a) - \log(b)$$

$$\log(1) = 0$$



John Napier
(1550 - 1617)
Physicien
et mathématicien
anglais.

▶ Exponentielle

$$e^0 = 1$$

$$e^{in} = -1$$

$$e^{a+b} = e^a e^b$$

$$e^{ab} = (e^a)^b = (e^b)^a$$



Leonhard Euler
(1707 - 1783)
Physicien et mathématicien
suisse.

Le système international d'unité (1)

► Les sept unités de base du SI



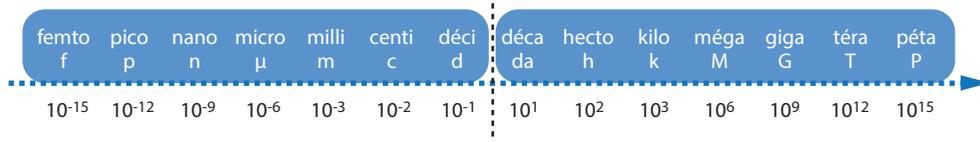
	Grandeur	Dimension	Unité de mesure	Symbole
	Longueur (l)	L	mètre	m
	Masse (m)	M	kilogramme	kg
	Temps (t)	T	seconde	s
	Courant électrique (I)	I	ampère	A
	Température (T)	θ	kelvin	K
	Quantité de matière (n)	N	mole	mol
	Intensité lumineuse (I_v)	J	candela	Cd

Le symbole des unités est en majuscule quand le nom de l'unité dérive d'un nom propre. Dans le cas contraire, c'est une minuscule.



T (en K) = température θ (en °C) + 273,15

► Préfixes des multiples et sous-multiples décimaux des unités du SI



► Unités dérivées du système international communément utilisées en chimie

Grandeur	Unité dérivée	Symbole	Unité SI
Fréquence (f)	hertz	Hz	s^{-1}
Force (F)	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
Pression (p)	pascal	Pa	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
Énergie (E)	joule	J	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
Charge électrique (Q)	coulomb	C	$A \cdot s$
Potentiel électrique (U)	volt	V	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Concentration molaire (c)	mole par mètre cube	$mol \cdot m^{-3}$	$mol \cdot m^{-3}$
Masse volumique (ρ)	kilogramme par mètre cube	$kg \cdot m^{-3}$	$kg \cdot m^{-3}$

Pour la concentration molaire, l'unité $mol \cdot L^{-1}$ est préférée à $mol \cdot m^{-3}$.



Masse volumique \neq Densité



Sans dimension
Densité $d = \rho / \rho_{\text{réf}}$

► Autres unités de mesure

Grandeur	Unité dérivée	Symbole	Unité SI
Temps (t)	minute heure	min h	1 min = 60 s 1 h = 3 600 s
Volume (V)	litre	L	1 L = $1 \cdot 10^{-3} m^3$
Pression (p)	bar	bar	1 bar = $1 \cdot 10^5$ Pa
Énergie (E)	électronvolt	eV	1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J
Longueur (ℓ)	Ångström	Å	1 Å = $1 \cdot 10^{-10}$ m