NORME INTERNATIONALE

ISO 31-0

Troisième édition
1992-08-01

Grandeurs et unités —

Partie 0:
Principes généraux

Quantities and units —

Part 0: General principles

Numéro de référence
ISO 31-0:1992(F)

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 31-0 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 12, *Grandeurs, unités, symboles, facteurs de conversion*.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 31-0:1981). Les principaux changements par rapport à la deuxième édition sont les suivants:

— des nouveaux tableaux des unités SI de base, des unités SI dérivées, des préfixes SI et de quelques autres unités reconnues ont été ajoutés;

— un nouveau paragraphe (2.3.3) sur l'unité un a été ajouté;

— une nouvelle annexe C sur les organisations internationales dans le domaine des grandeurs et unités a été ajoutée.

Le rôle du comité technique ISO/TC 12 est de normaliser les unités et les symboles des grandeurs et des unités (et les symboles mathématiques) qui sont employés dans les différents domaines de la science et de la technique, et de donner — quand c'est nécessaire — des définitions de ces grandeurs et de ces unités. Le domaine des travaux comprend aussi les facteurs de conversion normalisés entre les diverses unités. Pour remplir cette tâche, l'ISO/TC 12 a élaboré l'ISO 31.

Organisation internationale de normalisation
Case Postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

L'ISO 31 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Grandeurs et unités*:

— *Partie 0: Principes généraux*

— *Partie 1: Espace et temps*

— *Partie 2: Phénomènes périodiques et connexes*

— *Partie 3: Mécanique*

— *Partie 4: Chaleur*

— *Partie 5: Électricité et magnétisme*

— *Partie 6: Lumière et rayonnements électromagnétiques connexes*

— *Partie 7: Acoustique*

— *Partie 8: Chimie physique et physique moléculaire*

— *Partie 9: Physique atomique et nucléaire*

— *Partie 10: Réactions nucléaires et rayonnements ionisants*

— *Partie 11: Signes et symboles mathématiques à employer dans les sciences physiques et dans la technique*

— *Partie 12: Nombres caractéristiques*

— *Partie 13: Physique de l'état solide*

Les annexes A, B et C de la présente partie de l'ISO 31 sont données uniquement à titre d'information.

Page blanche

Grandeurs et unités —

Partie 0:
Principes généraux

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 31 donne des renseignements généraux sur les principes concernant les grandeurs physiques, les équations, les symboles de grandeurs et d'unités, les systèmes cohérents d'unités, spécialement le Système international d'unités, SI.

Les principes établis dans la présente partie de l'ISO 31 sont destinés à un usage général dans les différents domaines de la science et de la technique, ainsi qu'à servir d'introduction générale aux autres parties de l'ISO 31.

2 Grandeurs et unités

2.1 Grandeur physique, unité et valeur numérique

L'ISO 31 traite seulement des grandeurs utilisées pour la description des phénomènes physiques. Les échelles conventionnelles, telle que l'échelle de Beaufort, l'échelle de Richter ou les échelles d'intensité de couleur et les grandeurs exprimant le résultat d'essais conventionnels, par exemple la résistance à la corrosion, ne sont pas traitées dans l'ISO 31, n'y sont pas inclus également les unités monétaires ni l'information.

Les grandeurs physiques peuvent être mises dans des catégories contenant chacune des grandeurs pouvant se comparer mutuellement. Les longueurs, les diamètres, les distances, les hauteurs, les longueurs d'onde, etc., constitueraient une telle catégorie. Des grandeurs mutuellement comparables sont appelées «grandeurs de même nature».

Quand on choisit dans une telle catégorie une grandeur particulière comme grandeur de référence appelée l'*unité*, toute autre grandeur appartenant à cette catégorie peut être exprimée, en fonction de cette unité, par le produit de cette unité par un nombre. Ce nombre est appelé la *valeur numérique* de la grandeur exprimée avec cette unité.

EXEMPLE

La longueur d'onde d'une des raies spectrales du sodium est

$$\lambda = 5{,}896 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}$$

Ici, λ est le symbole de la grandeur physique: la longueur d'onde; m est le symbole de l'unité de longueur: le mètre; et $5{,}896 \times 10^{-7}$ est la valeur numérique de la longueur d'onde exprimée en mètres.

Dans les exposés théoriques sur les grandeurs et les unités, on peut exprimer cette relation sous la forme

$$A = \{A\} \cdot [A]$$

où A est le symbole de la grandeur physique, $[A]$ le symbole de l'unité et $\{A\}$ symbolise la valeur numérique de la grandeur A exprimée avec l'unité $[A]$. Les composantes des vecteurs et des tenseurs sont des grandeurs qui peuvent être exprimées sous la forme décrite ci-dessus.

Si une grandeur est exprimée avec une autre unité qui est égale à k fois la première unité, la nouvelle valeur numérique devient $1/k$ fois la première valeur numérique; la grandeur physique, qui est le produit de la valeur numérique par l'unité est ainsi indépendante de l'unité.

EXEMPLE

Quand on change l'unité de longueur d'onde en passant du mètre au nanomètre, qui est égal à 10^{-9} fois le mètre, cela donne une valeur numérique qui est égale à 10^{9} fois la valeur numérique de la grandeur exprimée en mètres.

Ainsi,

$\lambda = 5{,}896 \times 10^{-7}$ m $= 5{,}896 \times 10^{-7} \times 10^{9}$ nm $=$ 589,6 nm

REMARQUE SUR LA REPRÉSENTATION DES VALEURS NUMÉRIQUES

Il est important de distinguer la grandeur elle-même et la valeur numérique de cette grandeur exprimée avec une unité particulière. La valeur numérique de la grandeur exprimée avec une unité particulière peut être indiquée au moyen du symbole de la grandeur écrit entre accolades, le symbole de l'unité figurant en indice. Il est toutefois préférable d'indiquer la valeur numérique explicitement comme rapport de la grandeur à l'unité.

EXEMPLE

$\lambda/\mathrm{nm} = 589{,}6$

NOTE 1 Cette notation est particulièrement utile pour les graphiques et pour les en-têtes de colonnes dans les tableaux.

2.2 Grandeurs et équations

2.2.1 Opérations mathématiques sur les grandeurs

Deux ou plusieurs grandeurs physiques ne peuvent pas être additionnées ou soustraites, à moins qu'elles n'appartiennent à la même catégorie de grandeurs mutuellement comparables.

Les grandeurs physiques sont multipliées ou divisées l'une par l'autre suivant les règles de l'algèbre; le produit ou le quotient de deux grandeurs A et B satisfont les relations

$$AB = \{A\}\{B\} \cdot [A]\,[B]$$

$$\frac{A}{B} = \frac{\{A\}}{\{B\}} \cdot \frac{[A]}{[B]}$$

Ainsi, le produit $\{A\}\{B\}$ est la valeur numérique $\{AB\}$ de la grandeur AB, et le produit $[A]\,[B]$ est l'unité $[AB]$ de la grandeur AB. De même, le quotient $\{A\}/\{B\}$ est la valeur numérique $\{A/B\}$ de la grandeur A/B, et le quotient $[A]/[B]$ est l'unité $[A/B]$ de la grandeur A/B.

EXEMPLE

La vitesse v d'une particule en mouvement uniforme est définie par

$v = l/t$

où l est la distance parcourue dans l'intervalle de temps t.

Donc, si la particule parcourt une distance $l = 6$ m dans un intervalle de temps $t = 2$ s, la vitesse v est égale à

$$v = \frac{l}{t} = \frac{6\ \mathrm{m}}{2\ \mathrm{s}} = 3\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Les arguments des fonctions exponentielles, logarithmiques, trigonométriques, etc., sont des nombres, des valeurs numériques ou des combinaisons de dimension un de grandeurs (voir 2.2.6).

EXEMPLES

$\exp(W/kT)$, $\ln(p/\mathrm{kPa})$, $\sin\alpha$, $\sin(\omega t)$

NOTE 2 Le rapport de deux grandeurs de même nature et toute fonction de ce rapport, telle que son logarithme, sont des grandeurs différentes.

2.2.2 Équations entre grandeurs et équations entre valeurs numériques

Deux types d'équations sont utilisés dans la science et dans la technique: les *équations entre grandeurs*, dans lesquelles un symbole littéral indique la totalité de la grandeur physique (c'est-à-dire valeur numérique × unité) et les *équations entre valeurs numériques*. Les équations entre valeurs numériques dépendent du choix des unités, contrairement aux équations entre grandeurs qui ont l'avantage d'être indépendantes de ce choix. En conséquence, on doit normalement préférer l'emploi d'équations entre grandeurs.

EXEMPLE

Une équation simple entre grandeurs est

$v = l/t$

comme donné en 2.2.1.

En employant, par exemple, le kilomètre par heure, le mètre et la seconde respectivement comme unités de vitesse, de longueur et de temps, on peut écrire l'équation entre valeurs numériques suivante:

$$\{v\}_{\mathrm{km/h}} = 3{,}6\{l\}_{\mathrm{m}}/\{t\}_{\mathrm{s}}$$

Le nombre 3,6 qui apparaît dans cette équation résulte des unités particulières choisies; il serait généralement différent si d'autres unités étaient choisies.

Si, dans cette équation, les indices inférieurs indiquant les symboles d'unités sont omis, on obtient une équation entre valeurs numériques:

$$\{v\} = 3{,}6\{l\}/\{t\}$$

qui n'est plus indépendante du choix des unités et dont l'emploi n'est par conséquent pas recommandé. Si les équations entre valeurs numériques sont cependant utilisées, les unités doivent être clairement précisées dans le même contexte.

2.2.3 Constantes empiriques

Une relation empirique est souvent exprimée sous la forme d'une équation entre les valeurs numériques de certaines grandeurs physiques. Une telle relation dépend des unités avec lesquelles sont exprimées les grandeurs physiques.

Une relation empirique entre valeurs numériques peut être transformée en équation entre grandeurs physiques, contenant une ou plusieurs constantes empiriques. Une telle équation entre grandeurs physiques a l'avantage que la forme de cette équation est indépendante du choix des unités. Les valeurs numériques des constantes empiriques apparaissant dans une telle équation dépendent toutefois des unités avec lesquelles elles sont exprimées, comme dans le cas des autres grandeurs physiques.

EXEMPLE

Les résultats d'un mesurage de la durée de la période T d'un pendule en fonction de sa longueur l, quelque part sur la terre, peuvent être représentés par une seule équation entre grandeurs:

$$T = C \cdot l^{1/2}$$

où la constante empirique C est trouvée égale à

$$C = 2{,}006\ \mathrm{s/m^{1/2}}$$

(La théorie montre que $C = 2\pi g^{-1/2}$, où g est l'accélération locale due à la pesanteur.)

2.2.4 Facteurs numériques dans les équations entre grandeurs

Les équations entre grandeurs peuvent contenir des *facteurs numériques*. Ces facteurs numériques dépendent des définitions des grandeurs apparaissant dans les équations.

EXEMPLES

1 L'énergie cinétique E_k d'une particule de masse m et de vitesse v est

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

2 Si C est la capacité d'une sphère de rayon r et si ε est la permittivité, on a

$$C = 4\pi\varepsilon r$$

2.2.5 Systèmes de grandeurs et d'équations entre grandeurs; grandeurs de base et grandeurs dérivées

Les grandeurs physiques sont liées entre elles par des équations exprimant des lois de la nature ou donnant des définitions pour des grandeurs nouvelles.

Pour définir des systèmes d'unités et introduire la notion de dimension, il convient de considérer certaines grandeurs comme mutuellement indépendantes, c'est-à-dire regarder celles-ci comme *grandeurs de base*, au moyen desquelles les autres grandeurs peuvent être définies ou exprimées par des équations; ces dernières grandeurs sont appelées *grandeurs dérivées*.

Le nombre des grandeurs de base, ainsi que leur choix, est, dans une certaine mesure, arbitraire.

L'ensemble de toutes les grandeurs incluses dans l'ISO 31 est considéré comme étant fondé sur sept grandeurs de base: longueur, masse, temps, courant électrique, température thermodynamique, quantité de matière et intensité lumineuse.

Dans le domaine de la mécanique, on emploie généralement un système de grandeurs et d'équations fondé sur trois grandeurs de base. Dans l'ISO 31-3, les grandeurs de base employées sont la longueur, la masse et le temps.

Dans le domaine de l'électricité et du magnétisme, on emploie généralement un système de grandeurs et d'équations fondé sur quatre grandeurs de base. Dans l'ISO 31-5, les grandeurs de base employées sont la longueur, la masse, le temps et le courant électrique.

Cependant, dans le même domaine, des systèmes fondés uniquement sur trois grandeurs de base, longueur, masse et temps, en particulier le système «de Gauss» ou symétrique, a été largement utilisé. (Voir ISO 31-5:1992, annexe A.)

2.2.6 Dimension d'une grandeur

On peut exprimer toute grandeur Q en fonction d'autres grandeurs au moyen d'une équation. Cette expression peut consister en une somme de termes. Chacun de ces termes peut être exprimé par le produit de puissances de grandeurs de base $A, B, C, \ldots$ appartenant à une suite choisie, produit quelquefois multiplié par un facteur numérique ξ, c'est-à-dire $\xi A^\alpha B^\beta C^\gamma \ldots$, où l'ensemble d'exposants $(\alpha, \beta, \gamma, \ldots)$ est le même pour chaque terme.

La *dimension* de la grandeur Q est alors exprimée par le produit de dimensions

$$\dim Q = \mathrm{A}^\alpha \mathrm{B}^\beta \mathrm{C}^\gamma \ldots$$

où A, B, C, ... indiquent les dimensions des grandeurs de base $A, B, C, \ldots$, et où $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$ sont appelés les *exposants dimensionnels*.

Une grandeur dont tous les exposants dimensionnels sont égaux à zéro est souvent appelée grandeur *sans dimension*. Son produit de dimension ou sa dimension est $\mathrm{A}^0 \mathrm{B}^0 \mathrm{C}^0 \ldots = 1$. Une telle grandeur *de dimension un* est exprimée comme un nombre.

EXEMPLE

Lorsque les dimensions des trois grandeurs de base: longueur, masse et temps sont indiquées respectivement par L, M et T, la dimension de la grandeur «travail» est exprimée par $\dim W = \mathrm{L}^2\mathrm{MT}^{-2}$, et les exposants dimensionnels sont 2, 1 et −2.

Dans le système fondé sur les sept grandeurs de base: longueur, masse, temps, courant électrique, température thermodynamique, quantité de matière et intensité lumineuse, les dimensions de base peuvent être indiquées respectivement par L, M, T, I, Θ, N et J, et la dimension d'une grandeur Q devient en général

$$\dim Q = \mathrm{L}^\alpha \mathrm{M}^\beta \mathrm{T}^\gamma \mathrm{I}^\delta \Theta^\varepsilon \mathrm{N}^\zeta \mathrm{J}^\eta$$

EXEMPLES

Grandeur	**Dimension**
vitesse	LT^{-1}
vitesse angulaire	T^{-1}
force	LMT^{-2}
énergie	$\mathrm{L}^2\mathrm{MT}^{-2}$
entropie	$\mathrm{L}^2\mathrm{MT}^{-2}\Theta^{-1}$
potentiel électrique	$\mathrm{L}^2\mathrm{MT}^{-3}\mathrm{I}^{-1}$
permittivité	$\mathrm{L}^{-3}\mathrm{M}^{-1}\mathrm{T}^4\mathrm{I}^2$
flux magnétique	$\mathrm{L}^2\mathrm{MT}^{-2}\mathrm{I}^{-1}$
éclairement lumineux	$\mathrm{L}^{-2}\mathrm{J}$
entropie molaire	$\mathrm{L}^2\mathrm{MT}^{-2}\Theta^{-1}\mathrm{N}^{-1}$
constante de Faraday	TIN^{-1}
densité relative	1

Dans l'ISO 31, les dimensions des grandeurs ne sont pas mentionnées explicitement.

2.3 Unités

2.3.1 Systèmes cohérents d'unités

Il serait possible de choisir les unités arbitrairement, mais un tel choix arbitraire d'une unité pour chaque grandeur conduirait à introduire de nouveaux facteurs numériques dans les équations entre valeurs numériques.

Il est possible cependant, et en pratique plus logique, de choisir un système d'unités de telle façon que les équations entre valeurs numériques (facteurs numériques inclus), aient exactement la même forme que les équations correspondantes entre grandeurs. Un système d'unités défini de cette manière est appelé *cohérent* par rapport au système de grandeurs et d'équations considéré. Le SI est un tel système. Le système des grandeurs correspondant est donné dans l'ISO 31-1 à l'ISO 31-10, et l'ISO 31-12 et l'ISO 31-13.

Pour un système particulier de grandeurs et d'équations, on obtient un système cohérent d'unités en définissant d'abord des unités pour les grandeurs de base, les *unités de base*. Ensuite, pour chaque grandeur dérivée, la définition de l'*unité dérivée* correspondante en fonction des unités de base est donnée par une expression algébrique qu'on obtient en remplaçant dans le produit de dimensions (voir 2.2.6) les symboles des dimensions de base par ceux des unités de base. En particulier, une grandeur de dimension un acquiert l'unité 1. Dans un tel système cohérent d'unités, aucun facteur numérique autre que le nombre 1 ne figure dans les expressions des unités dérivées en fonction des unités de base.

EXEMPLES

Grandeur	**Équation**	**Dimension**	**Symbole de l'unité dérivée**
vitesse	$v = \frac{dl}{dt}$	LT^{-1}	m/s
force	$F = m \frac{d^2 l}{dt^2}$	MLT^{-2}	$kg \cdot m/s^2$
énergie cinétique	$E_k = \frac{1}{2} mv^2$	ML^2T^{-2}	$kg \cdot m^2/s^2$
énergie potentielle	$E_p = mgh$	ML^2T^{-2}	$kg \cdot m^2/s^2$
énergie	$E = \frac{1}{2} mv^2 + mgh$	ML^2T^{-2}	$kg \cdot m^2/s^2$
densité relative	$d = \frac{\varrho}{\varrho_0}$	1	1

2.3.2 Unités SI et leurs multiples et sous-multiples décimaux

Le nom *Système international d'unités* et l'abréviation internationale *SI* ont été adoptés par la 11e *Conférence générale des poids et mesures* (CGPM) en 1960.

Ce système comprend

— les unités de base;
— les unités dérivées comprenant les unités supplémentaires

qui forment ensemble le système cohérent *d'unités SI*.

2.3.2.1 Unités de base

Les sept unités de base sont énumérées dans le tableau 1.

Tableau 1 — Unités SI de base

Grandeur de base	**Unité SI de base**	
	Nom	**Symbole**
longueur	mètre	m
masse	kilogramme	kg
temps	seconde	s
courant électrique	ampère	A
température thermodynamique	kelvin	K
quantité de matière	mole	mol
intensité lumineuse	candela	cd

2.3.2.2 Unités dérivées, y compris les unités supplémentaires

On peut obtenir les expressions des unités dérivées cohérentes en fonction des unités de base, à partir des expressions des produits de dimensions, en employant les substitutions formelles suivantes:

$L \rightarrow m$ $\quad I \rightarrow A$
$M \rightarrow kg$ $\quad \Theta \rightarrow K$
$T \rightarrow s$ $\quad N \rightarrow mol$
$J \rightarrow cd$

En 1960, la CGPM a classé les unités radian, rad, et stéradian, sr, respectivement pour l'angle plan et l'angle solide, comme «unités supplémentaires».

En 1980, le *Comité international des poids et mesures* (CIPM) décidait d'interpréter la classe des unités supplémentaires dans le SI comme une classe d'unités dérivées sans dimension pour lesquelles la CGPM laisse la liberté de les utiliser ou non dans les expressions des unités dérivées du SI.

Bien que, dans ces conditions, l'unité cohérente pour l'angle plan et l'angle solide soit le nombre 1, il est commode d'employer les noms spéciaux radian, rad, et stéradian, sr, au lieu du nombre 1 dans de nombreux cas d'application pratique.

EXEMPLES

Grandeur	Symbole de l'unité SI exprimée en fonction des sept unités de base (et des unités supplémentaires dans certains cas)
vitesse	m/s
vitesse angulaire	rad/s ou s^{-1}
force	$kg \cdot m/s^2$
énergie	$kg \cdot m^2/s^2$
entropie	$kg \cdot m^2/(s^2 \cdot K)$
potentiel électrique	$kg \cdot m^2/(s^3 \cdot A)$
permittivité	$A^2 \cdot s^4/(kg \cdot m^3)$
flux magnétique	$kg \cdot m^2/(s^2 \cdot A)$
éclairement lumineux	$cd \cdot sr/m^2$
entropie molaire	$kg \cdot m^2/(s^2 \cdot K \cdot mol)$
constante de Faraday	$A \cdot s/mol$
densité relative	1

Pour certaines unités SI dérivées, il existe des noms et des symboles spéciaux; ceux qui sont approuvés par la CGPM sont indiqués dans les tableaux 2 et 3.

Il est souvent avantageux d'employer également les noms et symboles spéciaux dans les expressions composées des unités.

EXEMPLES

1 En employant l'unité dérivée joule ($1\ J = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$), on peut écrire

Grandeur	Symbole de l'unité SI
entropie molaire	$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$

2 En employant l'unité dérivée volt ($1\ V = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$), on peut écrire

Grandeur	Symbole de l'unité SI
permittivité	$s \cdot A \cdot m^{-1} \cdot V^{-1}$

Tableau 2 — Unités SI dérivées ayant des noms spéciaux, y compris les unités SI supplémentaires

Grandeur dérivée	Unité SI dérivée		
	Nom spécial	Symbole	Expression en fonction des unités SI de base et des unités SI dérivées
angle plan	radian	rad	1 rad = 1 m/m = 1
angle solide	stéradian	sr	1 sr = 1 m^2/m^2 = 1
fréquence	hertz	Hz	1 Hz = 1 s^{-1}
force	newton	N	1 N = 1 kg · m/s^2
pression, contrainte	pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m^2
énergie, travail, quantité de chaleur	joule	J	1 J = 1 N · m
puissance, flux énergétique	watt	W	1 W = 1 J/s
charge électrique, quantité d'électricité	coulomb	C	1 C = 1 A · s
potentiel électrique, différence de potentiel, tension, force électromotrice	volt	V	1 V = 1 W/A
capacité électrique	farad	F	1 F = 1 C/V
résistance électrique	ohm	Ω	1 Ω = 1 V/A
conductance électrique	siemens	S	1 S = 1 Ω^{-1}
flux d'induction magnétique	weber	Wb	1 Wb = 1 V · s
induction magnétique	tesla	T	1 T = 1 Wb/m^2
inductance	henry	H	1 H = 1 Wb/A
température Celsius	degré Celsius[1)]	°C	1 °C = 1 K
flux lumineux	lumen	lm	1 lm = 1 cd · sr
éclairement	lux	lx	1 lx = 1 lm/m^2

1) Le degré Celsius est un nom spécial pour l'unité kelvin à utiliser pour exprimer des valeurs de température Celsius. (Voir aussi ISO 31-4:1992, n° 4-1.a et n° 4-2.a.)