SYSTÈMES DE GRANDEURS

Unités, dimensions, règles d'écriture

version 0.1

Grandeur de base	Dim-en-sion	Unité de base	Définition de l'unité de base
Durée	T	seconde (s)	$\{\Delta\nu_{\mathrm{Cs}}\} = 9\,192\,631\,770$ lorsqu'exprimée en s^{-1}
Longueur	L	mètre (m)	$\{c\} = 299\,792\,458$ lorsqu'exprimée en $\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$
Masse	M	kilo-gramme (kg)	$\{h\} = 6{,}626\,070\,15 \times 10^{-34}$ lorsqu'exprimée en $\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{s}^{-1}$
Courant électrique	I	ampère (A)	$\{e\} = 1{,}602\,176\,634 \times 10^{-19}$ lorsqu'exprimée en $\mathrm{A}\cdot\mathrm{s}$
Tempé-rature thermo-dyna-mique	Θ	kelvin (K)	$\{k_{\mathrm{B}}\} = 1{,}380\,649 \times 10^{-23}$ lorsqu'exprimée en $\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{s}^{-2}\cdot\mathrm{K}^{-1}$
Quantité de matière	N	mole (mol)	$\{N_{\mathrm{A}}\} = 6{,}022\,140\,76 \times 10^{23}$ lorsqu'exprimée en mol^{-1}
Intensité lumineuse	J	candela (cd)	$\{K_{\mathrm{cd}}\} = 683$ lorsqu'exprimée en $\mathrm{cd}\cdot\mathrm{sr}\cdot\mathrm{kg}^{-1}\cdot\mathrm{m}^{-2}\cdot\mathrm{s}^3$

Table 1 – Les sept grandeurs de base de l'ISQ, leurs dimensions, les unités de base du SI et les grandeurs physiques dont on fixe la valeur numérique pour les définir.

1 Notions fondamentales

Dans cette partie, les définitions des notions qui apparaissent en gras correspondent à celles communément admises dans les documents internationaux comme [VIM, BIPM, ISO].

1.1 Grandeur physique et unité

Une **grandeur physique** est la propriété d'un phénomène, d'un événement ou d'un objet, que l'on peut exprimer sous la forme d'un nombre et d'une référence. Il est possible de comparer des grandeurs entre elles et de les ordonner. Pour certaines grandeurs, il est également possible d'effectuer une comparaison sur la base d'un rapport. Pour celles-ci, la référence utilisée est une unité.

Ainsi, une **unité** est une grandeur physique, définie et adoptée par convention, à laquelle on peut comparer toute autre grandeur de même nature : on exprime le rapport des deux grandeurs sous la forme d'un nombre. Ce nombre est la valeur numérique de la grandeur.

De même **nature** signifie que les deux grandeurs sont des instances particulières (on parle de **grandeurs individuelles**) d'une même **grandeur générale** : deux longueurs particulières sont deux instances de la grandeur générale longueur. Ou la vitesse de la lumière dans le vide est une grandeur individuelle, cas particulier de la grandeur générale vitesse.

Une grandeur est représentée par un symbole mathématique. Sa valeur doit mentionner à la fois la valeur numérique et la référence. Pour une grandeur individuelle a mesurée par rapport à une unité, on note $[a]$ l'unité et $\{a\}$ la valeur numérique : $a = \{a\}[a]$.

1.2 Mesure

Une **mesure** est une procédure d'attribution, à une grandeur physique, d'une valeur numérique et d'une référence, accompagnée d'une estimation de l'incertitude (cette dernière indique un ensemble de valeurs raisonnablement attribuables à la grandeur).

Le référence peut être de plusieurs types, en fonction des opérations possibles sur les grandeurs. Lorsque le rapport est possible, on parle de grandeurs mesurables sur une échelle de rapport (cas des grandeurs mesurées via une unité au sens ci-dessus). Lorsque seuls les rapports de différences ont un sens, on parle d'échelle d'intervalle (température centigrade), et si seule la comparaison est possible, on parle d'échelle ordinale (dureté de Mohs). Si seul le classement en catégories est possible, on parle de grandeur nominale (groupe sanguin).

Remarques complémentaires :

- Une grandeur physique n'est définie qu'au sein d'un modèle du phénomène, de l'évènement ou de l'objet étudié. Sa définition sera d'autant plus précise que le modèle utilisé est précis. Une grandeur n'est pas un élément de la réalité qui existerait dans l'absolu, mais un concept inventé qui appartient au monde du modèle, et qui permet de rendre descriptible par des nombres (via les opérations expérimentales conventionnelles qui la définissent) des éléments de la réalité.
- Les *grandeurs primaires* sont celles qu'il est expérimentalement possible de comparer et d'additionner, et par suite d'en définir le rapport. Par exemple, additionner la longueur de deux bâtons consiste à considérer la longueur des deux bâtons mis bout à bout. Cette opération expérimentale doit vérifier certaines propriétés (associativité, symétrie) qui garantissent une bijection entre les manipulations expérimentales et les manipulations algébriques. Lors d'une mesure, c'est aux grandeurs primaires que l'on a affaire. Les grandeurs *secondaires* s'évaluent à l'aide des relations de la théorie ($E_c = mv^2/2$ par exemple). La partition primaire/secondaire dépend des définitions des unités de base.

1.3 Grandeurs de base et dérivées

Un **système de grandeurs** est un ensemble de grandeurs et de relations entre ces grandeurs. Celui usuellement utilisé est le **Système international de grandeurs** (**ISQ** ou International system of quantities). Il s'agit de l'ensemble des grandeurs physiques usuelles et des relations usuelles (définitions, théorèmes, principes, équations...). Des exemples de systèmes de grandeurs différents sont les systèmes CGS.

Dans un système de grandeurs donné, il est possible d'exhiber un ensemble de **grandeurs de base** (grandeur signifie ici grandeur générale) pour lequel : les grandeurs sont indépendantes entre elles, au sens où aucune relation ne permet d'exprimer une grandeur de l'ensemble en fonction uniquement des autres grandeurs de l'ensemble ; l'ensemble de ces grandeurs permet d'exprimer toutes les autres grandeurs. Pour l'ISQ, il s'agit des sept grandeurs du tableau 1.

Les autres grandeurs sont appelées **grandeurs dérivées**. Exemples : il est impossible d'écrire une relation qui exprime une distance d en fonction uniquement des six autres grandeurs de base ; ou encore $v = d/t$ ou $E_c = m\dot{x}^2/2$ sont des grandeurs dérivées.

Les grandeurs qui résultent d'un comptage (nombre d'entités, dégénérescence quantique...) sont particulières en ce qu'elles ne s'expriment pas nécessairement en fonction des grandeurs de base. Elles sont présentes dans tout système de grandeurs, leur unité est “un”.

Remarques complémentaires :

- Dans l'ISQ, il y a une certaine liberté dans le choix de l'ensemble des grandeurs de base, mais son cardinal reste constant. Par exemple, on peut choisir la charge électrique à la place du courant, ou la vitesse à la place de la distance.
- Changer le cardinal implique de changer le système de grandeurs, car ceci modifie la forme des équations. Par exemple, dans l'ISQ la force linéique s'exerçant entre deux fils conducteurs parcourus par des courants I, séparés d'une distance d, est $\frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}l} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2I^2}{d}$. Par ailleurs, la force s'exprime en fonction des grandeurs de base distance, masse et longueur ($F = m\ddot{x}$). Mais à cause de la grandeur physique μ_0 et de sa dimension, il est impossible d'exprimer le courant I en fonction uniquement des six autres grandeurs de base : c'est une grandeur de base. En revanche, dans le système CGS électromagnétique, $\frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}l} = \frac{2I^2}{d}$, et I s'exprime en fonction uniquement de longueurs, masses et distances : c'est une grandeur dérivée ($\dim(I) = \mathsf{M}^{1/2}\mathsf{L}^{1/2}\mathsf{T}^{-1}$). Le cardinal devient 6, et l'écriture des équations change.

  L'exemple précédent montre qu'il est possible, par l'introduction (respectivement par la suppression) de constantes *dimensionnées* comme μ_0, d'augmenter (de diminuer) le nombre de grandeurs de base. La présence ou l'absence de ces constantes change la forme des équations, et change donc le système de grandeurs.
- Ce qui précède montre que les grandeurs de base ne sont ni plus ni moins “fondamentales” que les autres, et que la dimension des grandeurs dépend du système de grandeurs et n'est pas “intrinsèque” à la grandeur.

1.4 Dimension

La **dimension** d'une grandeur indique comment sa valeur numérique change si on change les unités des grandeurs de base. Exemple : si l'unité de distance est multipliée par 10, alors la valeur numérique d'une vitesse sera divisée par 10 ; elle sera multipliée par 10 si l'unité de temps est multipliée par 10 ; inchangée si les autres unités du tableau 1 sont modifiées. On dira que $\dim(v) = \mathsf{L}\,\mathsf{T}^{-1}$.

On peut exprimer la dimension d'une grandeur a comme produit des dimensions des grandeurs de base : $\dim(a) = \mathsf{T}^{\alpha}\,\mathsf{L}^{\beta}\,\mathsf{M}^{\gamma}\,\mathsf{I}^{\delta}\,\mathsf{N}^{\varepsilon}\,\mathsf{J}^{\zeta}\,\Theta^{\eta}$. Si a est grandeur dérivée, les exposants dimensionnels s'obtiennent en utilisant une formule qui relie a à des grandeurs de base. Quant aux grandeurs de base, elles sont dimensionnellement indépendantes, au sens où la dimension de chacune ne peut pas s'exprimer en fonction des dimensions des autres.

Deux types de grandeurs sont dites de dimension 1 (on évitera de dire “sans dimension”) : celles qui sont le rapport de deux grandeurs de même dimension (indice optique, nombre de Reynolds...), et celles qui sont déterminées par un comptage (nombre d'entités, dégénérescence...). L'unité associée est “1”.

Des grandeurs générales différentes peuvent être de même dimension (capacité thermique et entropie, énergie et couple...).

1.5 Unités de base et dérivées

Les unités choisies par convention pour exprimer les grandeurs de base sont appelées **unités de base** (tableau 1). Leur mécanisme de définition revient à fixer la valeur numérique (et non pas la valeur tout court) d'une grandeur physique donnée : a étant ce qu'elle est, fixer $\{a\}$ permet de définir $[a]$.

L'unité d'une grandeur dérivée est obtenue via une formule qui la relie aux grandeurs de base (pour lesquelles on utilise les unités de base), sans ajouter de préfacteur et en ignorant les nombres purs. Cette façon de procéder définit l'**unité dérivée cohérente** de la grandeur. Par exemple l'unité dérivée cohérente de l'énergie, appelée le joule, peut s'obtenir via $E_c = mv^2/2$: $1\,\mathrm{J} = [m][v]^2 = 1\,\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{s}^{-2}$. Ceci garantit que les équations entre valeurs numériques et entre grandeurs sont les mêmes : $\{E_c\} = \{m\}\{v\}^2/2$ (ce n'est pas le cas si on exprime par exemple la vitesse en km/h, la valeur numérique obtenue pour E_c ne correspondra pas à des joules). Le terme *cohérent* fait référence au fait que les unités sont définies en cohérence avec les équations du système de grandeurs.

Toute unité dérivée cohérente est un produit des unités de base, sans préfacteur numérique autre que 1. Les exposants qui apparaissent dans ce produit sont les mêmes que ceux de la décomposition de la dimension associée. Par exemple, la dimension de la constante des gaz parfaits est $\dim(R) = \mathsf{M}\,\mathsf{L}^2\,\mathsf{T}^{-2}\,\Theta^{-1}\,\mathsf{N}^{-1}$, et son unité cohérente est $[R] = \mathrm{kg\,m^2\,s^{-2}\,K^{-1}\,mol^{-1}}$.

Le choix des unités de base et de la procédure ci-dessus pour les unités dérivées cohérentes fixe le système d'unités. Pour l'ISQ, le système usuel est le Système international d'unités (SI, tableau 1).

Certaines unités cohérentes dérivées ont reçu un nom spécial (tableau 2), à utiliser pour plus de concision et pour apporter une information sur la grandeur mesurée (par exemple le joule indique une énergie et n'est pas utilisé pour la mesure d'un couple, bien que couple et énergie ont la même unité dérivée cohérente).

Grandeur	Nom	Expression
angle plan	radian	$\mathrm{rad} = \mathrm{m/m} = 1$
angle solide	stéradian	$\mathrm{sr} = \mathrm{m^2/m^2} = 1$
fréquence	hertz	$\mathrm{Hz} = \mathrm{s^{-1}}$
force	newton	$\mathrm{N} = \mathrm{kg\,m\,s^{-2}}$
pression	pascal	$\mathrm{Pa} = \mathrm{kg\,m^{-1}\,s^{-2}}$
énergie	joule	$\mathrm{J} = \mathrm{kg\,m^2\,s^{-2}}$
puissance	watt	$\mathrm{W} = \mathrm{kg\,m^2\,s^{-3}}$
charge élec.	coulomb	$\mathrm{C} = \mathrm{A\,s}$
potentiel élec.	volt	$\mathrm{V} = \mathrm{kg\,m^2\,s^{-3}\,A^{-1}}$
capacité élec.	farad	$\mathrm{F} = \mathrm{kg^{-1}\,m^{-2}\,s^4\,A^2}$
résistance élec.	ohm	$\Omega = \mathrm{kg\,m^2\,s^{-3}\,A^{-2}}$
conductance élec.	siemens	$\mathrm{S} = \mathrm{kg^{-1}\,m^{-2}\,s^3\,A^2}$
flux magnétique	weber	$\mathrm{Wb} = \mathrm{kg\,m^2\,s^{-2}\,A^{-1}}$
induction magnétique	tesla	$\mathrm{T} = \mathrm{kg\,s^{-2}\,A^{-1}}$
inductance	henry	$\mathrm{H} = \mathrm{kg\,m^2\,s^{-2}\,A^{-2}}$
température Celsius	degré Celsius	$^\circ\mathrm{C} = \mathrm{K}$
flux lumineux	lumen	$\mathrm{lm} = \mathrm{cd\,sr}$
éclairement lumineux	lux	$\mathrm{lx} = \mathrm{cd\,sr\,m^{-2}}$
activité radionucléide	becquerel	$\mathrm{Bq} = \mathrm{s^{-1}}$
dose absorbée	gray	$\mathrm{Gy} = \mathrm{m^2\,s^{-2}}$
équivalent de dose	sievert	$\mathrm{Sv} = \mathrm{m^2\,s^{-2}}$
activité catalytique	katal	$\mathrm{kat} = \mathrm{mol\,s^{-1}}$

Table 2 – Les 22 unités dérivées cohérentes du SI ayant reçu un nom spécial, d'après [BIPM, tab. 4]. Il existe d'autres noms spéciaux pour des unités cohérentes : la dioptrie pour la vergence, le var pour la puissance réactive ; et des noms spéciaux pour des unités non cohérentes : le debye pour le moment dipolaire, le bar ou l'atmosphère ou le millimètre de mercure pour la pression, l'heure et la minute pour les durées, le litre pour les volumes, la tonne pour les masses, l'angström pour les longueurs, l'électronvolt pour les énergies, etc.

Radian et stéradian

Certaines unités "1" ont également reçu un nom spécial : c'est le cas du radian et du stéradian. Un angle plan est le rapport de la longueur d'un arc de cercle à son rayon, et est donc de dimension 1. Comme $\theta = L/R$, la procédure d'obtention de l'unité cohérente donne $1\,\mathrm{rad} = \mathrm{m/m} = 1$. On tachera toutefois de noter l'unité d'angle par le symbole rad à chaque fois que ceci clarifie l'exposé, par exemple pour distinguer pulsation ($\mathrm{rad\,s^{-1}}$) et fréquence ($\mathrm{s^{-1}}$). Voir [BIPM] §2.3.3 à ce sujet. De même, $1\,\mathrm{sr} = \mathrm{m^2/m^2} = 1$.

Comme rad $= 1$, cette unité peut apparaître ou disparaître à loisir dans les analyses dimensionnelles. Ex. : $\ddot{x} + (\omega_0/Q)\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$.

Le degré n'est pas l'unité dérivée cohérente associée à l'angle plan, puisqu'il introduit un facteur numérique supplémentaire par rapport à la formule $\theta = L/R$.

La définition des fonctions trigonométriques fait que les développements limités, comme $\sin\theta \approx \theta$, sont valables avec θ exprimé en radian.

Température Celsius

[BIPM, p. 21] définit la grandeur "température Celsius" par la relation $t = T - T_0$, avec T la température thermodynamique et $T_0 = 273{,}15\,\mathrm{K}$. L'unité °C est définie comme identique à l'unité K. Elle est unité dérivée cohérente lorsqu'elle sert à exprimer des différences de températures. On a $t/°\mathrm{C} = T/\mathrm{K} - 273{,}15$.

Facteur	Nom	Symbole	Facteur	Nom	Symbole
10^1	déca	da	10^{-1}	déci	d
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^3	kilo	k	10^{-3}	milli	m
10^6	méga	M	10^{-6}	micro	µ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	téra	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	péta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y
10^{27}	ronna	R	10^{-27}	ronto	r
10^{30}	quetta	Q	10^{-30}	quecto	q

Table 3 – Préfixes du SI, d'après [BIPM, tab. 7]. Il existe également des préfixes multiples de 2^n, voir [BIPM, tab. 7].

2 Règles d'écriture

Le système international est abrégé par SI (et non pas S.I.). Les normes [ISO] indiquent les règles qui suivent, regroupées ici par catégorie.

2.1 Caractères droits ou italiques

- Les symboles de grandeurs sont écrits en caractères italiques, quelle que soit la police du texte principal.
- Un indice qui représente le symbole d'une grandeur physique ou d'une variable mathématique est imprimé en italique : x_i, T_n, v_x, I_λ, C_p et C_V (capacités thermiques), v_m (volume massique, m est la masse)...

  Les autres indices, tels que ceux représentant des mots ou des nombres, sont imprimés en caractères droits : N_A (A pour Avogadro), k_B (B pour Boltzmann), x_g (g pour gaz), v_2, $T_{1/2}$, ε_r (r pour relatif), V_m (m pour molaire), $\Delta_\mathrm{r}G°$ (r pour réaction)...
- Les symboles des unités sont notés en caractères droits, quelle que soit la police du texte principal ($d = 3\,\mathrm{m}$, et non pas $d = 3\,m$, $2\,\mathrm{µm}$ et non pas $2\,\mu m$).
- Les nombres sont toujours écrits en caractères droits.
- Les symboles des constantes mathématiques dont la valeur ne change jamais sont notés en caractères droits. C'est le cas de $\mathrm{\pi}$ (à comparer à π), $\mathrm{e} = 2{,}718...$ (à comparer à e désignant la charge élémentaire), i ou j (complexes).

  Les symboles des fonctions ou opérateurs usuels sont en caractères droits : d dans $\mathrm{d}x/\mathrm{d}t$ ou δ dans $\mathrm{\delta}x$ (et non pas dx/dt ou δx), Δ pour une variation ; $\sum$ et $\prod$ pour somme et produit ; log, ln, cos, sin, etc.

  Voir ISO 80000-2 §4 ou [IUPAC] (p. 7) pour d'autres exemples.
- Les opérateurs vectoriels avec lettres sont écrits en caractères italiques dans les normes [ISO 80000, IUPAC...] : $div\,\vec{B}$, $rot\,\vec{B}$ (ou pour insister sur le caractère vectoriel : $\boldsymbol{rot\,B}$ ou $\overrightarrow{rot}\,\vec{B}$), $grad\,f$ (ou $\boldsymbol{grad}\,f$ ou $\overrightarrow{grad}\,f$).

  Une cohérence avec les autres règles voudrait pourtant qu'ils soient écrits en caractères droits, ce qui est en pratique d'un usage courant (livres, Wikipedia...) : $\mathrm{div}\,\vec{B}$, $\mathbf{rot}\,\boldsymbol{B}$, $\mathbf{grad}\,f$, $\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\vec{B}$, $\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,f$.

  Le symbole nabla est en caractère droit : ∇ ou $\vec{\nabla}$ ou $\boldsymbol{\nabla}$.
- Les symboles des éléments chimiques sont en caractères droits.
- Les dimensions de base ont des symboles majuscules et une police spéciale : T, L, M, I, Θ, N, J.
- Le symbole pH se note en caractère droit. Le symbole p signifie $-\log$, et se note en caractère droit, mais le symbole qui le suit s'écrit de façon usuelle : $\mathrm{p}K = -\log K$, $\mathrm{p}K_\mathrm{A} = -\log K_\mathrm{A}$ (A pour acidité, ou K_a) [IUPAC p. 75].
- Les grandeurs standard se note avec un rond ou rond barré en exposant [IUPAC p. 57] : $K°$, $c°$, $\Delta_\mathrm{r}G°$...

2.2 Espaces

- On insère une espace entre la valeur numérique et l'unité : $z = 3\,\mathrm{cm}$, $\theta = 9\,°\mathrm{C}$, $\alpha = 8{,}3\,\mathrm{rad}$, $20\,\%$, $10\,\mathrm{h}\;2\,\mathrm{min}\;12\,\mathrm{s}$.

  La seule exception est pour les symboles de degré, minute et seconde d'angle plan : on écrit $\alpha = 3°$, $\alpha = 3°\,8'\,20''$. De même pour les degrés alcooliques et assimilés.

  On ne revient pas à la ligne entre la valeur numérique et l'unité.
- Il y a une petite espace de part et d'autre des symboles binaires $+$, $-$, $\times$, $\cdot$, $/$, $=$, $<$, $>$, etc. Il n'y a pas d'espace entre $+$ ou $-$ et le nombre ou symbole lorsque ces symboles ont le rôle d'opérateurs unaires. $+5\,\mathrm{m}$, $-2\,\mathrm{cm}$, $-a$, mais $2\,\mathrm{cm} + 5\,\mathrm{cm}$, $a + b$.

- Pas d'espace pour $f(x)$ ou $\sin(\omega t)$, mais une petite espace si les parenthèses sont omises : $\sin\,\omega t$.

- Les chiffres peuvent être séparés par une petite espace par groupes de trois : $123\,345\,\mathrm{m}$.

- En français, il y a une espace avant les symboles doubles `:`, `!`, `?`, `;` (mais pas en anglais).

  Pas d'espace avant `.`, ni avant `,`, ni avant `...`

2.3 Symboles

- Les symboles des grandeurs ont en général une lettre (minuscule ou majuscule), ou deux lettres (majuscule puis minuscule, par exemple le nombre de Reynolds Re ou de Prandtl Pr, ces grandeur s'écrivant bien en italique). Les symboles usuellement utilisés sont listés dans [ISO], [IUPAP] et [IUPAP].

- Les symboles des unités sont en lettres minuscules, sauf ceux qui dérivent d'un nom propre : la première lettre est alors majuscule (K, W, Pa, C, J, °C, etc.).

- Le symbole pour le litre fait exception : l et L sont acceptés.

- Un préfixe multiple ou sous-multiple précède le symbole de l'unité, sans espace : cm, mK, MW, etc. Voir tableau 3 pour la liste officielle.

  Pour des raisons historiques, le kilogramme est la seule unité de base pour laquelle un préfixe (kilo) est déjà présent.

- Le produit de grandeurs se note au choix ab, $a\,b$, $a \cdot b$, $a \times b$; le quotient ab^{-1}, $a\,b^{-1}$, a/b, $\frac{a}{b}$.

  On peut écrire 3×10^3 ou $3 \cdot 10^3$.

  Les produits d'unités se notent avec une séparation par une espace ou un point médian :

  $$3{,}2\,\mathrm{m\,s^{-1}} \quad \text{ou} \quad 3{,}2\,\mathrm{m \cdot s^{-1}},$$

  et les divisions d'unités par une barre oblique (/), une barre de fraction ou un exposant négatif.

- Le séparateur décimal est la virgule ou le point (en France, la virgule est davantage utilisée).

- Les vecteurs peuvent être notés avec une flèche ou en caractères gras (mais qui restent italiques) : $\vec{a}$ et $\overrightarrow{AB}$, ou $\boldsymbol{a}$ et $\boldsymbol{AB}$.

Les symboles d'unités sont des entités mathématiques qui ont le même statut que les symboles des grandeurs.

- Il est licite d'écrire $v = d/t = \frac{3\,\mathrm{m}}{2\,\mathrm{s}} = 1{,}5\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ ou $V = 2\,\mathrm{cm^3} = 2 \times (10^{-2}\,\mathrm{m})^3 = 2 \times 10^{-6}\,\mathrm{m^3}$.

- Il est faux d'écrire $v = d/t = \frac{3}{2} = 1{,}5\,\mathrm{m\,s^{-1}}$.

- Par exemple, λ/nm est la valeur numérique de λ en nanomètres. Cette notation peut être utilisée dans les formules, entêtes de colonne ou axes de graphiques.

2.4 Noms des unités

- Les noms des unités sont des noms communs. Ils ne prennent pas de majuscule (sauf en début de phrase) et ils prennent la marque du pluriel. Des kelvins, des pascals, des watts. Si un nom propre est présent ailleurs que dans le premier mot, il prend une majuscule : un degré Celsius, des degrés Fahrenheit.

- Tous les noms de préfixes sont en minuscules (sauf en début de phrase) : des hectopascals, des centimètres, etc. Les noms de préfixes sont attachés au nom de l'unité (pas de tiret ni d'espace).

2.5 Incertitudes

L'incertitude-type sur une mesure de la grandeur x est notée $u(x)$ (avec un u italique dans les documents du BIPM). La notation avec les parenthèses est également employée, par exemple :

$$h = 6{,}626(40) \cdot 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s} \;\Leftrightarrow\; u(h) = 0{,}040 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s}.$$

3 Références

ISO Norme 80000-1:2022, 80000-2:2019 et suivantes.
`www.iso.org/fr/standard/76921.html`
`www.iso.org/fr/standard/64973.html`

BIPM Brochure du SI, 9e édition (2019).
`www.bipm.org/en/publications/si-brochure`

IUPAC Greenbook, 3eédition (2007).
`iupac.org/what-we-do/books/greenbook`

IUPAP Redbook (1987).
`iupap.org/wp-content/uploads/2021/03/A4.pdf`

VIM Vocabulaire international de la métrologie (2007).
`www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_200_2012.pdf`

CODATA Recommended values for physical constants.
`physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html`

Davantage de détails sur la possibilité de choisir les grandeurs de base, sur la notion de grandeur primaire, ou sur la distinction entre théorie, modèle et “réalité”, se trouvent dans *Physique et mesure*, Ellipses, 2022, M. Melzani.

4 Latex

Quelques commandes utiles :

- `\text{}` ou `\mathrm{}` pour des caractères droits en mode mathématique,
- `\upmu \updelta \uppi` pour μ δ π avec le package `upgreek`,
- `\,` pour une petite espace insécable,
- `\circ` pour ∘ (dans $\Delta_\mathrm{r}H^\circ$, K°, c°, p°...),
- `$\mathsf{T}$` donne T
- `\bm{}` du package `bm` permet d'écrire en gras italique, y compris les lettres grecques.
- les packages `SIunit` ou `SIunitx` permettent des écritures automatiquement mises en forme.

$$c = 299\,792\,458\,\mathrm{m\,s^{-1}}$$
$$h = 6{,}626\,070\,15 \times 10^{-34}\,\mathrm{J\,s}$$
$$\hbar = 1{,}054\,571\,817... \times 10^{-34}\,\mathrm{J\,s}$$
$$e = 1{,}602\,176\,634 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$$
$$k_\mathrm{B} = 1{,}380\,649 \times 10^{-23}\,\mathrm{J\,K^{-1}}$$
$$N_\mathrm{A} = 6{,}022\,140\,76 \times 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$$
$$R = N_\mathrm{A}k_\mathrm{B} = 8{,}314\,462\,618...\,\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$$
$$F = N_\mathrm{A}e = 96\,485{,}332\,12...\,\mathrm{C\,mol^{-1}}$$
$$K_\mathrm{J} = 2e/h = 483\,597{,}848... \times 10^{9}\,\mathrm{Hz\,V^{-1}}$$
$$R_\mathrm{K} = h/e^2 = 25\,812{,}807...\,\Omega$$
$$\sigma = \frac{\pi^2 k_\mathrm{B}^4}{60\hbar^3 c^2} = 5{,}670\,374\,419... \times 10^{-8}\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}}$$
$$G = 6{,}674\,30(15) \times 10^{-11}\,\mathrm{m^3\,kg^{-1}\,s^{-2}}$$
$$\mu_0 = 1{,}256\,637\,062\,12(19) \times 10^{-6}\,\mathrm{N\,A^{-2}}$$
$$\varepsilon_0 = 8{,}854\,187\,812\,8(13) \times 10^{-12}\,\mathrm{F\,m^{-1}}$$
$$m_\mathrm{e} = 9{,}109\,383\,701\,5(28) \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$$
$$m_\mathrm{p} = 1{,}672\,621\,923\,69(51) \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$$
$$m_\mathrm{n} = 1{,}674\,927\,498\,04(95) \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$$
$$m_\upmu = 1{,}883\,531\,627(42) \times 10^{-28}\,\mathrm{kg}$$
$$m_\uptau = 3{,}167\,54(21) \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$$
$$M(^{12}\mathrm{C}) = 11{,}999\,999\,995\,8(36)\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$$
$$\mathrm{u} = m(^{12}\mathrm{C})/12 = 1{,}660\,539\,066\,60(50) \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$$
$$cR_\infty = 3{,}289\,841\,960\,250\,8(64) \times 10^{15}\,\mathrm{Hz}$$
$$1/\alpha = 137{,}035\,999\,084(21)$$
$$g_\mathrm{e} = -2{,}002\,319\,304\,362\,56(35)$$

Table 4 – Constantes utiles et leurs valeurs, d'après l'évaluation 2018 de [CODATA]. Les parenthèses indiquent l'incertitude-type. L'absence de parenthèses, ou la présence de "...", indiquent que la valeur numérique est exacte.