

Chapitre 2 Système International d'unité

1. Introduction

Pour établir un système d'unités, comme le Système international d'unités (SI), il est nécessaire tout d'abord d'établir un système de grandeurs et une série d'équations définissant les relations entre ces grandeurs. Ceci est nécessaire parce que les équations reliant les grandeurs entre elles déterminent celles reliant les unités entre elles. Il est commode aussi de choisir les définitions d'un nombre restreint d'unités que nous appelons les *unités de base*, et de définir ensuite les unités des autres grandeurs comme produits de puissances des unités de base, que nous appelons les *unités dérivées*. De manière similaire, les grandeurs correspondantes sont décrites comme *grandeurs de base* et *grandeurs dérivées*, et les équations donnant les *grandeurs dérivées* en fonction des grandeurs de base sont utilisées pour exprimer les unités dérivées en fonction des unités de base. Il est donc logique que le choix des grandeurs et des équations reliant les grandeurs précède celui des unités.

2. Système international d'unité

En 1960, la 11e Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) a défini les sept unités de base du Système international d'unités (SI), fondé sur le système métrique décimal (on passe d'une unité à ses multiples ou sous-multiples à l'aide de puissances de 10) sauf pour la mesure du temps et d'angle.

2.1. Unités SI de base

Les définitions officielles de toutes les unités de base du SI sont approuvées par la CGPM. La première de ces définitions fut approuvée en 1889 et la plus récente en 1983. Ces définitions sont modifiées de temps à autre pour suivre l'évolution des sciences.

2.1.1. Unité de longueur (mètre)

Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde. (17^e CGPM en 1983)

Il en résulte que la vitesse de la lumière dans le vide est égale à 299 792 458 mètres par seconde exactement, $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$.

Il est à noter que le prototype international du mètre originel (prototype en platine iridié), qui fut approuvé par la 1^{re} CGPM en 1889, est toujours conservé au BIPM dans les conditions fixées en 1889.

2.1.2. Unité de masse (kilogramme)

Le prototype international du kilogramme, un objet fabriqué spécialement en platine iridié, est conservé au BIPM dans les conditions fixées par la 1^{re} CGPM en 1889.

Le kilogramme est l'unité de masse ; il est égal à la masse du prototype international du kilogramme.

2.1.3. Unité de temps (seconde)

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133. (13^e CGPM en 1967/68)

Il en résulte que la fréquence de la transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium est égale à 9 192 631 770 hertz exactement. Lors de sa session de 1997, le Comité international a confirmé que :

Cette définition se réfère à un atome de césium au repos, à une température de 0 K.

2.1.4. Unité de courant électrique (ampère)

L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à 2×10^{-7} newton par mètre de longueur. (9^e CGPM en 1948)

Il en résulte que la constante magnétique, aussi connue sous le nom de perméabilité du vide, est égale à $4\pi \times 10^{-7}$ henrys par mètre exactement.

2.1.5. Unité de température thermodynamique (kelvin)

Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau. (10^e CGPM en 1954)

Il en résulte que la température thermodynamique du point triple de l'eau est égale à 273,16 kelvins exactement.

2.1.6. Unité de quantité de matière (mole)

La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12 ; son symbole est « mol ». (14^e CGPM en 1967)

Il en résulte que la masse molaire du carbone 12 est égale à 0,012 kilogramme par mole exactement.

2.1.7. Unité d'intensité lumineuse (candela)

La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian. (16^e CGPM en 1979)

2.2. Symboles des sept unités de base

Les symboles des sept grandeurs et unités de bases du SI sont regroupés dans le Tableau 2.1.

Tableau 2.1 Grandeurs et unités de base du SI

Grandeur de base		Unité SI de base	
Nom	Symbole	Nom	Symbole
longueur	$l, x, r, \text{etc.}$	mètre	m
masse	m	kilogramme	kg
temps, durée	t	seconde	s
courant électrique	I, i	ampère	A
température thermodynamique	T	kelvin	K
quantité de matière	n	mole	mol
Intensité lumineuse	I_v	candela	cd

2.3. Unités SI dérivées

Les unités dérivées sont formées à partir de produits de puissances des unités de base. Les unités dérivées cohérentes sont des produits de puissances des unités de base qui ne font pas intervenir d'autre facteur numérique que 1. Les unités de base et les unités dérivées cohérentes du SI forment un ensemble cohérent, désigné sous le nom d'ensemble d'*unités SI cohérentes*.

2.3.1. Unités dérivées exprimées à partir des unités de base

Les grandeurs utilisées dans le domaine scientifique sont en nombre illimité ; il n'est donc pas possible de fournir une liste complète des grandeurs et unités dérivées. Le Tableau 2.2 présente un certain nombre d'exemples de grandeurs dérivées, avec les unités dérivées cohérentes correspondantes exprimées directement en fonction des unités de base.

Tableau 2.2 Exemples d'unités SI dérivées cohérentes exprimées à partir des unités de base

Grandeur dérivée		Unité SI dérivée cohérente	
Nom	Symbole	Nom	Symbole
superficie	A	mètre carré	m^2
volume	V	mètre cube	m^3
vitesse	v	mètre par seconde	m/s
accélération	a	mètre par seconde carrée	m/s^2
masse volumique	ρ	kilogramme par mètre cube	kg/m^3
volume massique	v	mètre cube par kilogramme	m^3/kg
densité de courant	j	ampère par mètre carré	A/m^2
champ magnétique	H	Ampère par mètre	A/m
concentration de quantité de matière	c	mole par mètre cube	mol/m^3
luminance lumineuse	L_v	Candela par mètre carré	cd/m^2

2.3.2. Unités dérivées ayant des noms spéciaux et des symboles particuliers

Par souci de commodité, certaines unités dérivées cohérentes ont reçu un nom spécial et un symbole particulier. Elles sont au nombre de vingt-deux et certaines d'elles sont mentionnées au Tableau 2.3. Ces noms spéciaux et ces symboles particuliers peuvent eux-mêmes être utilisés avec les noms et les symboles d'autres unités de base ou dérivées pour exprimer les unités d'autres grandeurs dérivées.

Quelques exemples figurent au Tableau 2.4. Les noms spéciaux et les symboles particuliers permettent d'exprimer, sous une forme condensée, des combinaisons d'unités de base fréquemment utilisées, mais souvent ils servent aussi à rappeler au lecteur la nature de la grandeur concernée.

Tableau 2.3 Exemple d'unités SI dérivées cohérentes ayant des noms spéciaux

Grandeur dérivée	Unité SI dérivée cohérente			Expression en unité SI de base
	Nom	Symbole	Expression utilisant d'autres unités SI	
angle plan	radian	rad	1	m/m
angle solide	stéradian	sr	1	m ² / m ²
fréquence	hertz	Hz	/	s ⁻¹
force	newton	N	/	m kg s ⁻²
pression, contrainte	pascal	Pa	N/ m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
énergie, travail	joule	J	N m	m ² kg s ⁻²
puissance, flux énergétique	watt	W	J/s	m ² kg s ⁻³
charge électrique	coulomb	C	/	s A
différence de potentiel électrique	volt	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
capacité électrique	farad	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²

Tableau 2.4 Exemples d'unités SI dérivées cohérentes dont le nom et le symbole comprennent des unités SI dérivées cohérentes ayant des noms spéciaux et des symboles particuliers

Grandeur dérivée	Unité SI dérivée cohérente			Expression en unité SI de base
	Nom	Symbole		
viscosité dynamique	pascal seconde	Pa s		m ⁻¹ kg s ⁻¹
moment d'une force	newton mètre	N m		m ² kg s ⁻²
tension superficielle	newton par mètre	N/m		kg s ⁻²
vitesse angulaire	radian par seconde	rad/s		s ⁻¹
accélération angulaire	radian par seconde carrée	rad/s ²		s ⁻²
capacité thermique	joule par kelvin	J/K		m ² kg s ⁻² K ⁻¹
énergie massique	joule par kilogramme	J/kg		m ² s ⁻²
conductivité thermique	watt par mètre kelvin	W/(m K)		m kg s ⁻³ K ⁻¹
permittivité	farad par mètre	F/m		m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²

2.4. Multiples et sous-multiples décimaux des unités SI

La CGPM a adopté une série de noms de préfixes et symboles de préfixes pour former les noms et symboles des multiples et sousmultiples décimaux des unités SI. Les préfixes et symboles de préfixes qui ont été adoptés figurent au Tableau 2.5.

Tableau 2.5 Préfixes SI

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

N.B. Parmi les unités de base du Système International, l'unité de masse est la seule dont le nom, pour des raisons historiques, contienne un préfixe. Les noms et les symboles des multiples et sous-multiples décimaux de l'unité de masse sont formés par l'adjonction de noms de préfixes au mot « gramme » et de symboles de ces préfixes au symbole de l'unité "g".

2.5. Unités en dehors du SI

Le Système international d'unités, SI, est un système d'unités, adopté par la Conférence générale, qui fournit les unités de référence approuvées au niveau international en fonction desquelles toutes les autres unités sont définies. L'usage du SI est recommandé dans les sciences, la technologie, les sciences de l'ingénieur et le commerce.

Il est néanmoins reconnu que certaines unités en dehors du SI sont encore utilisées dans les publications scientifiques, techniques et commerciales, et qu'elles continueront à l'être encore pendant de nombreuses années. Certaines unités en dehors du SI sont importantes, d'un point de vue historique, dans la littérature traditionnelle. D'autres unités en dehors du SI, comme les unités de temps et d'angle, sont tellement ancrées dans l'histoire et la culture humaine qu'elles continueront à être

utilisées dans un avenir prévisible. Sur le Tableau 2.6 sont portées quelques unités en dehors du SI.

Tableau 2.6 Unités en dehors du SI

Grandeur	Nom de l'unité	Symbole de l'unité	Valeur en unités SI
temps	minute	min	1 min = 60 s
	heure	h	1 h = 60 min = 3600 s
	jour	d	1 d = 24 h = 86400 s
angle plan	degré	°	1° = $(\pi/180)$ rad
	minute	'	1' = $(1/60)^\circ = (\pi/108000)$ rad
	seconde	''	1'' = $(1/60)' = (\pi/648000)$ rad
superficie	hectare	ha	1 ha = 10^4 m ²
volume	litre	L, l	1 L = 1 l = 10^{-3} m ³
masse	tonne	t	1 t = 10^3 kg