

## Chapitre I : Généralité sur les grandeurs physiques et les unités de mesure

### Introduction

La mesure est de nos jours un outil essentiel qui met la théorie à l'épreuve : « Si la théorie est l'esprit, la mesure est la main qui la guide ». En effet c'est une expérience physique qui consiste à exprimer, transmettre une grandeur physique et en attribuer une valeur numérique. De ce fait, elle est indispensable dans la vie industrielle et même privée et ce besoin se justifie par le fait qu'à l'aide des mesures, on arrive à connaître et définir des grandeurs non accessibles à nos sens et/ou les quantités des grandeurs qui dépassent leur étendue (par exemple : cas des températures et pressions qui peuvent être supérieures à celles que nous pourrions supporter : Pression de 150 bars ou Température de 500 °C).

### Quelques définitions

- **La métrologie** : C'est la branche de la science qui traite des mesures. On l'appelle une science appliquée qui permet à l'industriel de contrôler, influencer divers paramètres ou grandeurs .On la définit aussi comme un art de quantification.
- **La mesurande** : C'est la grandeur physique, objet de la mesure. **Exemple** : déplacement, température, pression, tension, etc.
- **Le mesurage** : Ensemble d'opérations permettant de déterminer la valeur d'une grandeur.
- **La mesure** : C'est l'évaluation d'une grandeur par comparaison avec une autre grandeur de même nature prise pour unité. Exemple : 2mètres, 400grammes, 6secondes. Remarque : On ne peut pas mesurer des grammes avec des mètres, ce n'est pas homogène.

### I.1 Grandeurs physiques

- 1) **Définition** : Une grandeur physique « **G** » est tout ce qui prend, dans des conditions bien définies une valeur déterminées. Donc, on appelle **grandeur physique** tout attribut d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance susceptible d'être distingué qualitativement et déterminé quantitativement. Les grandeurs qui peuvent se comparer mutuellement forment des ensembles. Les niveaux, les hauteurs, les diamètres, les épaisseurs, les longueurs, par exemple les longueurs d'ondes font partie d'un même ensemble.
- 2) **Symbole de grandeur physique** : Les symboles des grandeurs sont en général formés d'une seule lettre en italique, par exemple le symbole d'une hauteur est  $h$ , mais des informations complémentaires sur la grandeur peuvent être précisées par un indice ou un exposant ajouté au symbole ou au moyen de parenthèses. Par exemple,  $C$  est le symbole recommandé pour la capacité thermique,  $C_m$  pour la capacité thermique molaire,  $C_{m,p}$

pour la capacité thermique molaire à pression constante et  $C_{m,v}$  pour la capacité thermique molaire à volume constant.

3) **Mesure de grandeur physique** : «*Toute grandeur physique est le produit d'un nombre pure et d'une unité.* » **Maxwell**. La mesure d'une grandeur physique  $G$  est sa détermination quantitative par une expérience qui permet de la comparer à l'**étalon** de cette grandeur. C'est cet étalon qui définit l'**unité** de la grandeur  $G$  que l'on notera  $u(G)$ . Ainsi, si on note  $\{Vn\}$  la valeur numérique de  $G$  dans l'unité  $u(G)$ , on a  $G = \{Vn\} u(G)$ . Il ne faut pas confondre la grandeur physique et son unité. La grandeur physique se mesure avec un appareil de mesure et elle s'exprime avec une unité.

❖ **Exemple** : Supposons qu'une masse soit de 35 kilogramme. Appelons  $m$  la grandeur « masse ». Comme nous le verrons ci-après, le symbole caractérisant l'unité de la masse dans le système international est  $u(m) = \text{kg}$ . La valeur de la masse est ici  $\{m\} = 35$ . On écrit donc simplement :  $m = 35 \text{ kg}$ .

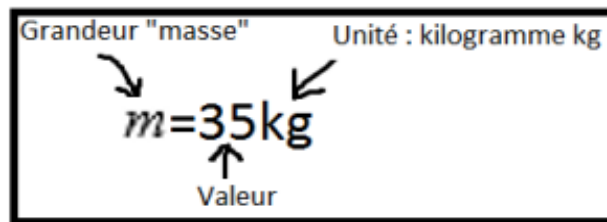


Figure I.1 : Exemple de valeur de grandeur physique.

4) **Valeur numérique d'une grandeur physique** : La valeur d'une grandeur appartenant à un ensemble donné de grandeurs peut être exprimée par le produit de l'unité par un nombre. Ce nombre est appelé la **valeur numérique** de la grandeur exprimée avec cette unité. La valeur numérique est la mesure de la grandeur considérée et elle n'a de sens que si l'on indique l'unité choisie. À savoir que le produit de la valeur numérique par l'unité est toujours indépendant de l'unité.

◆ **Exemple** : La pression atmosphérique normale est :  $p_0 = 101325 \text{ Pa}$ .

$p_0$  est le symbole de la grandeur physique : pression ;

101325 est la valeur numérique de la pression exprimée en pascal ;

Pa est le symbole de l'unité de longueur : le pascal.

En changeant d'unité, le météorologue en annonçant une pression atmosphérique en hecto-pascal modifie la valeur numérique de cette grandeur physique :  $p_0 = 1013,25 \text{ hPa}$ .

### I.1.1 Types de grandeurs physiques

On distingue deux types de grandeurs :

1) **Grandeurs physiques mesurables** : Une grandeur physique est mesurable si on sait définir l'égalité, la somme et le rapport entre deux valeurs de cette grandeur.

❖ **Exemple** : La température exprimée en Kelvin est une grandeur mesurable, correspondant à un niveau d'énergie : l'entropie  $S$  d'un système varie comme sa température en Kelvin ; à 600K, elle vaut deux fois plus qu'à 300K.

Il existe deux types de grandeurs mesurables : Scalaires et Vectorielles.

a) **Grandeurs scalaires** : Elles sont entièrement caractérisées par une valeur numérique positive ou négative, suivie de l'unité :

nombre (valeur) + unité

**Exemples** : Masse, température, durée, charge électrique, pression, énergie, potentiel,...

b) **Grandeurs vectorielles** : Elles sont entièrement caractérisées par un vecteur, donc par leur point d'application, leur direction et leur sens :

Nombre (valeur) + unité + direction + sens

ou (composante\_X , composante\_Y,...) + unité

**Exemples** : Position, vitesse, quantité de mouvement, poids, force...

2) **Grandeurs physiques repérables (non mesurable)** : Une grandeur physique est repérable s'il est possible de définir une relation d'ordre pour chaque couple d'observation une grandeur, sans lui donner des valeurs numériques précises. Aussi certaines grandeurs ne sont pas mesurables.

❖ **Exemple** : La température exprimée en Celsius est une grandeur repérable on sait définir l'égalité et comparer (A est plus chaud que B), mais le rapport n'a pas de sens : à 40°C, il ne fait pas deux fois plus chaud qu'à 20°C.

### I.1.2 Grandeurs de base et fondamentales

Les grandeurs physiques sont liées entre elles par des équations exprimant des lois physiques. Il est donc possible de décrire le monde physique par un système de grandeurs et d'équations entre ces grandeurs. Certaines grandeurs sont considérées comme indépendantes les unes des autres : ce sont les **grandeurs de base** ou **fondamentales** à partir desquelles on peut définir d'autres grandeurs au moyen d'équations.

1) **Grandeurs de base** : Ce sont trois grandeurs indépendantes les unes des autres, à partir desquelles toutes les autres peuvent être déduites, à savoir :

- a) Longueur ;
- b) Masse ;
- c) Temps ;

2) **Grandeurs fondamentales** : Puisque trois grandeurs sont insuffisantes à la réalisation d'une métrologie pratique, on leur ajoute quatre autres grandeurs pour aboutir à un ensemble redondant (certains éléments de cet ensemble s'équivalent et ne sont pas indispensables). Les grandeurs fondamentales de la norme ISO 31 (série de normes NF X 02-200) sont au nombre de 7 :

- a) Longueur ;
- b) Masse ;
- c) Temps ;
- d) Courant électrique ;
- e) Température ;
- f) Quantité de matière ;
- g) Intensité lumineuse.

### I.1.3 Grandeur dérivée

Une **grandeur dérivée** est une grandeur définie, dans un système de grandeurs, par une équation en fonction de grandeur de base et grandeur fondamentale.

❖ **Exemple** : Le débit-volume  $q_v$  est une grandeur dérivée définie comme le quotient du volume  $v$  par un temps  $t$ . Le volume  $v$  est aussi une grandeur dérivée puisqu'il s'exprime en  $m^3$ . L'unité du débit-volume  $q_v$  est donc  $m^3 \cdot s^{-1}$ .

## I.2 Dimensions

A chaque grandeur on attribue une dimension qui lui est propre et que l'on symbolise par une lettre ou un signe s'il s'agit d'une grandeur principale. Par exemple, on note L : Longueur ; M : Masse ; T : Temps ;  $\Theta$  : Température et I : Intensité électrique. Et par combinaison de ces symboles, on dimensionne les grandeurs dérivées. La dimension de la grandeur dérivée est un produit des dimensions des grandeurs de base. De nombreuses grandeurs sont dénuées de dimension. On dit que leur dimension est 1(un) ; il est faux de leur attribuer la dimension 0 (zéro), ce sont les puissances des grandeurs principales qui les composent qui sont nulles, et non les dimensions elles-mêmes.

**Tableau I.1 :** Grandeurs de base et dimensions utilisées avec le SI.

Grandeur de base	Symbole caractéristique de la grandeur	Symbole de la dimension
temps	$t$	T
longueur	$l, x, r, \text{etc.}$	L
masse	$m$	M
courant électrique	$I, i$	I
température thermodynamique	$T$	$\Theta$
quantité de matière	$n$	N
intensité lumineuse	$I_v$	J

### I.3 Unités

En physique et en métrologie, les **unités** sont des étalons pour la mesure de grandeurs physiques qui ont besoin de définitions précises pour être utiles. Les unités des grandeurs physiques s'écrivent en fonction de celle des grandeurs fondamentales.

- 1) **Définition d'unité de mesure :** Dans un ensemble de grandeurs, on appelle **unité de mesure**, une grandeur particulière choisie comme grandeur de référence.
- 2) **Symbole d'unité :** Les symboles des unités sont imprimés en caractères droits, quelle que soit la police employée dans le texte où ils figurent. En général les symboles des unités sont écrits en minuscules mais, si le nom de l'unité dérive d'un nom propre, la première lettre du symbole est en majuscule. Par exemple pour le mètre : m.

#### I.3.1 Système International d'unités

Un système d'unités de mesure est défini par un choix conventionnel de grandeurs de base auxquelles sont associées des unités. Il existe plusieurs systèmes d'unité mais le plus usuel est le système international des unités (Constitué de 7 unités fondamentales) correspondant à 7 grandeurs physiques :

- **Le système MTS** (mètre, tonne et seconde).
- **Le système CGS** (centimètre, gramme, seconde).
- **Le système MKSA** (mètre, kilogramme, seconde, ampère).
- **Le système SI** (Système International).

La 11<sup>ème</sup> CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures) adopte en 1960 le Système International d'unités (SI) (*C'est le décret n° 61-501 du 3 mai 1961 qui définit les unités de mesure légales en France*). Plutôt que d'utiliser chacun un système d'unités différent, les scientifiques ont décidé d'utiliser un système d'unités commun : c'est le Système International (SI). Dans le SI, On distingue deux classes d'unités ; Les unités de base et des unités dérivées y compris les unités supplémentaires.

### I.3.2 Sept constantes définissant le SI

Comme pour toute grandeur, la valeur d'une constante fondamentale peut être exprimée sous la forme du produit d'un nombre par une unité. La valeur numérique exacte de chaque constante est fixée, l'unité devient définie car le produit de la valeur numérique par l'unité doit être égal à la valeur de la constante qui, par hypothèse, est invariante. Les sept constantes définissant le SI ont été choisies de sorte que toute unité du SI puisse être exprimée à partir de l'une de ces sept constantes ou à partir de produits ou rapports de ces constantes (tableau I.2).

**Tableau I.2** : Les sept constantes définissant le SI et les sept unités qu'elles définissent.

Constante	Symbole	Valeur numérique	Unité
fréquence de la transition hyperfine du césium	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	9 192 631 770	Hz
vitesse de la lumière dans le vide	$c$	299 792 458	m s <sup>-1</sup>
constante de Planck	$h$	$6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$	J s
charge élémentaire	$e$	$1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$	C
constante de Boltzmann	$k$	$1,380\ 649 \times 10^{-23}$	J K <sup>-1</sup>
constante d'Avogadro	$N_A$	$6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$	mol <sup>-1</sup>
efficacité lumineuse	$K_{\text{cd}}$	683	lm W <sup>-1</sup>

### I.3.3 Unités de base


Le SI est basé sur 7 grandeurs fondamentales de base, auxquelles sont associées une dimension et une unité (voir tableau I.3). Les symboles des grandeurs, imprimés en italique, sont généralement de simples lettres de l'alphabet grec ou latin et constituent des recommandations. Les symboles des unités, imprimés en caractères romains (droits), sont obligatoires.

Tableau I.3 : Grandeurs et unités SI de base.

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

La définition du SI fondée sur les valeurs numériques fixées des sept constantes choisies permet de déduire la définition de chacune des sept unités de base du SI à l'aide d'une ou plusieurs de ces constantes, selon les cas. Les définitions qui en découlent sont indiquées ci-après.

1) La seconde :




**Symbole :** s

**Grandeur :** temps

**Définition :** La seconde, unité de temps du SI, est définie en prenant la valeur numérique de la fréquence du césium,  $\Delta\nu_{Cs}$ , la fréquence de transition hyperfine de l'état fondamental de césium 133 non perturbé, égale à 9 192 631 770 lorsqu'elle est exprimée avec l'unité Hz, qui est équivalente à  $s^{-1}$ .

2) Le mètre :




**Symbole :** m

**Grandeur :** longueur

**Définition :** Le mètre, unité de longueur du SI, est défini en prenant la valeur numérique fixée de la vitesse de la lumière dans le vide,  $c$ , à 299 792 458 lorsqu'elle est exprimée en  $m \cdot s^{-1}$ , la seconde étant définie en fonction de  $\Delta\nu_{Cs}$ .

3) Le kilogramme :



**Symbole :** kg

**Grandeur :** masse

**Définition :** Le kilogramme, unité de masse du SI, est défini en prenant la valeur numérique fixée de la constante de Planck,  $h$ , égale à  $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$  lorsqu'elle est exprimée en J·s, unité égale à  $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$ , le mètre et la seconde étant définis en fonction de  $c$  et de  $\Delta\nu_{Cs}$ .

#### 4) L'ampère :



**Symbole :** A

**Grandeur :** intensité de courant électrique

**Définition :** L'ampère, unité de courant électrique du SI, est défini en prenant la valeur numérique fixée de la charge élémentaire,  $e$ , égale à  $1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$  lorsqu'elle est exprimée en C, unité égale à A·s, la seconde étant définie en fonction de  $\Delta\nu_{Cs}$ .

#### 5) Le kelvin :



**Symbole :** K

**Grandeur :** température

**Définition :** Le kelvin, unité de température thermodynamique du SI, est défini en prenant la valeur numérique fixée de la constante de Boltzmann,  $k$ , égale à  $1,380\ 649 \times 10^{-23}$  lorsqu'elle est exprimée en  $J \cdot K^{-1}$ , unité égale à  $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$ , le kilogramme, le mètre et la seconde étant définis en fonction de  $h$ ,  $c$  et  $\Delta\nu_{Cs}$ .

#### 6) La mole :



**Symbole :** mol

**Grandeur :** quantité de matière

**Définition :** La mole est l'unité de quantité de matière du SI. Une mole contient exactement  $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  entités élémentaires. Ce nombre, appelé « nombre d'Avogadro », correspond à la valeur numérique fixée de la constante d'Avogadro  $N_A$  lorsqu'elle est exprimée en  $mol^{-1}$ .

#### 7) La candela :



**Symbole :** cd

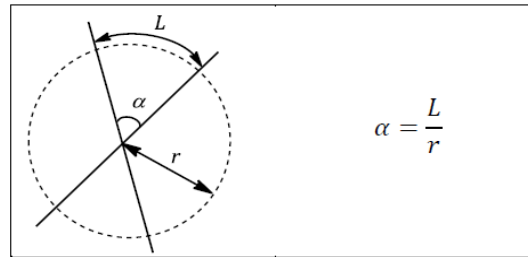
**Grandeur :** intensité lumineuse

**Définition :** La candela, unité du SI d'intensité lumineuse dans une direction donnée, est définie en prenant la valeur numérique fixée de l'efficacité lumineuse d'un rayonnement monochromatique de fréquence  $540 \times 10^{12}$  Hz,  $K_{cd}$ , égale à 683 lorsqu'elle est exprimée en  $lm \cdot W^{-1}$ , unité égale à  $cd \cdot sr \cdot W^{-1}$ , ou  $kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3 \cdot cd \cdot sr$ , le kilogramme, le mètre et la seconde définis en fonction de  $h$ ,  $c$  et  $\Delta\nu_{Cs}$ .

◆ **Remarque :** Le SI admis aussi deux unités supplémentaires, qui sont le radian et le stéradian pour la mesure des angles plane et angles solides respectivement.

➤ **Unité d'angle plan (le radian - symbole : rad) :** le radian est l'angle plan compris entre deux rayons qui, sur la circonférence d'un cercle, interceptent un arc de longueur égale à celle du rayon comme le montre la figure suivante ;





**Figure I.2 :** Définition d'un angle en radian.

- **Unité d'angle solide (le stéradian - symbole : sr) :** le stéradian est l'angle solide qui, ayant son sommet au centre d'une sphère, découpe sur la surface de cette sphère une aire égale à celle d'un carré ayant pour côté le rayon de la sphère.

Les deux unités radian et le stéradian sont des unités sans dimension par ce qu'elles sont déduites d'un rapport de deux quantités avec la même dimension.

### I.3.4 Unités dérivées

Les unités dérivées du SI sont généralement exprimées en fonction des unités de base en relation avec les grandeurs physiques correspondantes (voir tableau I.4). Afin de simplifier l'écriture, certaines unités dérivées largement utilisées ont reçu des noms spéciaux (voir tableau I.5).

**Tableau I.4 :** Exemple des unités dérivées du SI exprimées à partir des unités de base.

Grandeur dérivée	Symbole caractéristique de la grandeur	Unité dérivée exprimée en unités de base
superficie	$A$	$m^2$
volume	$V$	$m^3$
vitesse	$v$	$m s^{-1}$
accélération	$a$	$m s^{-2}$
nombre d'ondes	$\sigma$	$m^{-1}$
masse volumique	$\rho$	$kg m^{-3}$
masse surfacique	$\rho_A$	$kg m^{-2}$
volume massique	$v$	$m^3 kg^{-1}$
densité de courant	$j$	$A m^{-2}$
champ magnétique	$H$	$A m^{-1}$
concentration de quantité de matière	$c$	$mol m^{-3}$
concentration massique	$\rho, \gamma$	$kg m^{-3}$
luminance lumineuse	$L_v$	$cd m^{-2}$

**Tableau I.5 :** Unités dérivées ayant des noms spéciaux.

Grandeur dérivée	Nom spécial de l'unité	Expression de l'unité en unités de base <sup>(a)</sup>	Expression de l'unité en d'autres unités SI
angle plan	radian <sup>(b)</sup>	rad = m/m	
angle solide	stéradian <sup>(c)</sup>	sr = m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	
fréquence	hertz <sup>(d)</sup>	Hz = s <sup>-1</sup>	
force	newton	N = kg m s <sup>-2</sup>	
pression, contrainte	pascal	Pa = kg m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup>	
énergie, travail, quantité de chaleur	joule	J = kg m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>	N m
puissance, flux énergétique	watt	W = kg m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>	J/s
charge électrique	coulomb	C = A s	
différence de potentiel électrique <sup>(e)</sup>	volt	V = kg m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>	W/A
capacité électrique	farad	F = kg <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>	C/V
résistance électrique	ohm	Ω = kg m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>	V/A
conductance électrique	siemens	S = kg <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>	A/V
flux d'induction magnétique	weber	Wb = kg m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>	V s
induction magnétique	tesla	T = kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>	Wb/m <sup>2</sup>
inductance	henry	H = kg m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>	Wb/A
température Celsius	degré Celsius <sup>(f)</sup>	°C = K	
flux lumineux	lumen	lm = cd sr <sup>(g)</sup>	cd sr
éclairement lumineux	lux	lx = cd sr m <sup>-2</sup>	lm/m <sup>2</sup>
activité d'un radionucléide <sup>(d, h)</sup>	becquerel	Bq = s <sup>-1</sup>	
dose absorbée, kerma	gray	Gy = m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>	J/kg
équivalent de dose	sievert <sup>(i)</sup>	Sv = m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>	J/kg
activité catalytique	katal	kat = mol s <sup>-1</sup>	

Les unités dérivées peuvent aussi résulter de l'assemblage des unités de base ou (et) d'autres unités dérivées ayant des noms spéciaux (voir tableau I.6).

**Tableau I.6 :** Exemples d'unités en SI dont les noms comprennent des unités SI dérivées ayant des noms spéciaux et des symboles particuliers.

Grandeur dérivée	Nom de l'unité dérivée cohérente	Symbole	Unité dérivée exprimée en unités de base
viscosité dynamique	pascal seconde	Pa s	$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$
moment d'une force	newton mètre	N m	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$
tension superficielle	newton par mètre	$\text{N m}^{-1}$	$\text{kg s}^{-2}$
vitesse angulaire, fréquence angulaire	radian par seconde	$\text{rad s}^{-1}$	$\text{s}^{-1}$
accélération angulaire	radian par seconde carrée	$\text{rad/s}^2$	$\text{s}^{-2}$
flux thermique surfacique, éclairage énergétique	watt par mètre carré	$\text{W/m}^2$	$\text{kg s}^{-3}$
capacité thermique, entropie	joule par kelvin	$\text{J K}^{-1}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
capacité thermique massique, entropie massique	joule par kilogramme kelvin	$\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
énergie massique	joule par kilogramme	$\text{J kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$
conductivité thermique	watt par mètre kelvin	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg m s}^{-3} \text{K}^{-1}$
énergie volumique	joule par mètre cube	$\text{J m}^{-3}$	$\text{kg m}^{-\text{s}^{-2}}$
champ électrique	volt par mètre	$\text{V m}^{-1}$	$\text{kg m s}^{-3} \text{A}^{-1}$
charge électrique volumique	coulomb par mètre cube	$\text{C m}^{-3}$	$\text{A s m}^{-3}$
charge électrique surfacique	coulomb par mètre carré	$\text{C m}^{-2}$	$\text{A s m}^{-2}$
induction électrique, déplacement électrique	coulomb par mètre carré	$\text{C m}^{-2}$	$\text{A s m}^{-2}$
permittivité	farad par mètre	$\text{F m}^{-1}$	$\text{kg}^{-1} \text{m}^{-3} \text{s}^4 \text{A}^2$
perméabilité	henry par mètre	$\text{H m}^{-1}$	$\text{kg m s}^{-2} \text{A}^{-2}$
énergie molaire	joule par mole	$\text{J mol}^{-1}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{mol}^{-1}$
entropie molaire, capacité thermique molaire	joule par mole kelvin	$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
exposition (rayons x et $\gamma$ )	coulomb par kilogramme	$\text{C kg}^{-1}$	$\text{A s kg}^{-1}$
débit de dose absorbée	gray par seconde	$\text{Gy s}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
intensité énergétique	watt par stéradian	$\text{W sr}^{-1}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$
luminance énergétique	watt par mètre carré stéradian	$\text{W sr}^{-1} \text{m}^{-2}$	$\text{kg s}^{-3}$
concentration de l'activité catalytique	katal par mètre cube	$\text{kat m}^{-3}$	$\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-3}$

### I.3.5 Multiples et sous-multiples décimaux des unités SI

Des multiples et sous-multiples décimaux de  $10^{24}$  à  $10^{-24}$  peuvent être utilisés avec les unités SI. Les noms et les symboles des préfixes adoptés pour former les noms et symboles des multiples et sous-multiples décimaux des unités sont présentés dans le tableau 7. Les symboles des préfixes sont écrits en caractères romains, comme les symboles d'unités, quelle que soit la police utilisée dans le reste du texte ; ils sont attachés aux symboles d'unités, sans espace entre le symbole du préfixe et celui de l'unité. À l'exception des symboles da (déca), h (hecto), et k (kilo), tous les symboles des préfixes des multiples sont en majuscules et tous les symboles des préfixes des sous-multiples sont en minuscules. Tous les noms de préfixes sont en minuscules, sauf en début de phrase.

**Tableau I.7 : Préfixes des unités 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	$\mu$
$10^9$	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

Le groupe formé par le symbole d'un préfixe attaché au symbole d'une unité constitue un nouveau symbole d'unité inséparable (indiquant un multiple ou sous-multiple de l'unité en question) qui peut être élevé à une puissance positive ou négative et qui peut être combiné à d'autres symboles d'unités pour former des symboles d'unités composés.

❖ **Exemples :** pm (picomètre), mmol (millimole),  $G\Omega$  (gigaohm), THz (terahertz)

$$2,3 \text{ cm}^3 = 2,3 (\text{cm})^3 = 2,3 (10^{-2} \text{ m})^3 = 2,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ cm}^{-1} = 1 (\text{cm})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^{-1}.$$

De même, les noms de préfixes ne sont pas séparés des noms d'unités auxquels ils sont attachés. Par exemple, millimètre, micropascal et méganewton s'écrivent en un

seul mot. Les symboles de préfixes composés, c'est-à-dire les symboles de préfixes formés par juxtaposition de deux ou plusieurs symboles de préfixes, sont interdits. Cette règle s'applique aussi aux noms de préfixes composés.

### I.3.6 Unités hors Système International

La CIPM (Comité International des Poids et Mesures) a permis l'utilisation de certaines unités hors SI en raison de leur large utilisation (voir le tableau 1.8).

**Tableau I.8 :** Unités en dehors du SI dont l'usage est accepté avec le 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 = 86 400 s
longueur	unité astronomique <sup>(a)</sup>	au	1 au = 149 597 870 700 m
angle plan et de phase	degré	°	1° = ( $\pi/180$ ) rad
	minute	'	1' = (1/60)° = ( $\pi/10\,800$ ) rad
	seconde <sup>(b)</sup>	"	1" = (1/60)' = ( $\pi/648\,000$ ) rad
superficie	hectare <sup>(c)</sup>	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
volume	litre <sup>(d)</sup>	l, L	1 l = 1 L = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
masse	tonne <sup>(e)</sup>	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
	dalton <sup>(f)</sup>	Da	1 Da = 1,660 539 040 (20) × 10 <sup>-27</sup> kg
énergie	électronvolt <sup>(g)</sup>	eV	1 eV = 1,602 176 634 × 10 <sup>-19</sup> J
logarithme d'un rapport	neper <sup>(h)</sup>	Np	voir notes de bas de page
	bel <sup>(h)</sup>	B	
	decibel <sup>(h)</sup>	dB	