

I. Unités et système international

1. Unités de base

- **Dimension**
Elle donne la nature (le type) de grandeur considérée. Deux grandeurs ont la même dimension quand elles peuvent être comparées et classées entre elles.
- **Étalon**
C'est un système utilisé comme référence pour une unité. La définition des étalons repose (depuis 2019) sur 7 constantes physiques dont les valeurs ont été fixées à la suite de mesures très précises reposant sur des lois physiques connues et éprouvées.
- **Unité d'une grandeur**
Elle permet d'exprimer la valeur d'une grandeur physique par rapport à un **étalon** connu. Chaque unité est associée à un symbole, généralement constitué des premières lettres de son nom.
- **Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)**
Organisation internationale créée en 1875 qui fait référence pour élaborer le système mondial de mesures.
- **Système international d'unités (SI)**
Système d'unités adopté dans le monde entier (à l'exception de 3 pays) pour réaliser des mesures physiques. Il est défini par des unités de base qui peuvent être combinées pour former toutes les autres unités.
- **Unités de base du SI**

Grandeur	Nom	Symbole	Définition
durée	seconde	s	La fréquence de transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium 133 non perturbé se produit 9 192 631 770 fois par seconde.
longueur	mètre	m	C'est la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant une durée de $1/299\,792\,458$ seconde.
masse	kilogramme	kg	Il est déterminé en fixant la valeur de la constante de Planck à $h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.
intensité électrique	ampère	A	C'est le courant électrique correspondant au flux de $1/(1,602\,176\,634 \times 10^{-19})$ charges élémentaires par seconde.
température	kelvin	K	Le kelvin correspond à l'échange d'énergie thermique $k_B T = 1,380\,649 \times 10^{-23} \text{ J}$ où $k_B = 1,380\,649 \times 10^{-23} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ est la valeur exacte de la constante de Boltzmann.
quantité de matière	mole	mol	Une mole contient exactement $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ entités élémentaire. Cette valeur numérique correspond à la valeur de la constante d'Avogadro.
intensité lumineuse	candela	cd	Cette unité correspond à l'intensité lumineuse d'un rayonnement monochromatique de fréquence $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ dans une direction donnée, avec pour intensité énergétique $(1/683) \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$

- **Multiples et sous-multiples décimaux du SI**

Préfixe	Symbole	Facteur	Préfixe	Symbole	Facteur
déca	da	10^1	déci	d	10^{-1}
hecto	h	10^2	centi	c	10^{-2}
kilo	k	10^3	milli	m	10^{-3}
méga	M	10^6	micro	μ	10^{-6}
giga	G	10^9	nano	n	10^{-9}
téra	T	10^{12}	pico	p	10^{-12}
péta	P	10^{15}	femto	f	10^{-15}
exa	E	10^{18}	atto	a	10^{-18}

2. Unités dérivées du SI

• Unité dérivée du SI

Une unité dérivée du SI est construite grâce à une relation entre différentes grandeurs qui sont elles-mêmes exprimées en unités SI.

Quantité dérivée	Nom	Symbole
aire	mètre carré	m ²
volume	mètre cube	m ³
vitesse	mètre par seconde	m.s ⁻¹
accélération	mètre par seconde carrée	m.s ⁻²
masse volumique	kilogramme par mètre cube	kg.m ⁻³
volume massique	mètre cube par kilogramme	m ³ .kg ⁻¹
concentration molaire	mole par mètre cube	mol.m ⁻³

• Unité dérivée avec un symbole spécial

- Certaines grandeurs disposent d'une unité dérivée du SI ayant son propre symbole et son nom.
- Il est d'usage d'utiliser ces unités dérivées, et non la combinaison dans les unités de base.
- Le symbole et le nom honorent souvent une personnalité des sciences physiques ayant contribué largement au domaine associé.

Quantité dérivée	Nom spécial	Symbole spécial	Unité SI
angle plan	radian	rad	
fréquence	hertz	Hz	s ⁻¹
force	newton	N	kg.m.s ⁻²
pression, contrainte	pascal	Pa	kg.m ⁻¹ .s ⁻²
énergie, travail	joule	J	kg.m ² .s ⁻²
puissance	watt	W	kg.m ² .s ⁻³
charge électrique	coulomb	C	A.s
tension électrique	volt	V	kg.m ² .s ⁻³ .A ⁻¹
résistance électrique	ohm	Ω	kg.m ² .s ⁻³ .A ⁻²
vergence	dioptrie	δ	m ⁻¹
température	celsius	°C	K

Les définitions ou formules suivantes permettent de compléter la dernière colonne :

- Fréquence : $f = 1/T$
- Force : $F = ma$
- Pression : $p = F/S$
- Travail : $W = F \cdot \Delta l$ ou Énergie : $E_c = \frac{1}{2}mv^2$
- Puissance : $P = W/\Delta t$
- Intensité du courant : $i = dq/dt \Rightarrow dq = i dt$
- Énergie d'une particule chargée soumise à une tension U : $E_p = qU \Rightarrow U = E_p/q$
- Loi d'Ohm : $U = Ri \Rightarrow R = U/i$
- Vergence d'une lentille : $C = 1/f'$

• Unités usuelles tolérées

Le SI tolère l'utilisation de certaines unités qui ont été consacrées par l'usage dans certains domaines où l'ordre de grandeur le justifie, ou bien par coutume.

Nom spécial	Symbole	Conversion dans le SI
minute	min	1 min = 60 s
heure	h	1 h = 60 min = 3 600 s
degré (angle)	°	1° = (π/180) rad
minute d'arc (angle)	'	1' = (1/60)°
seconde d'arc (angle)	"	1" = (1/60)' = (1/3 600)°
litre (volume)	L	1 L = 1 dm ³
électronvolt (énergie)	eV	1 eV = 1,602 177 × 10 ⁻¹⁹ J
dalton (unité de masse atomique)	Da, u	1 Da = 1 u = 1,660 540 × 10 ⁻²⁷ kg

- **Conversion d'unités**

Une conversion consiste à changer d'unité, mais la dimension de la grandeur reste la même.
Si la conversion implique un préfixe, celui-ci peut être élevé à une puissance positive ou négative.

Application 1 Conversion d'unités

Convertir les grandeurs suivantes en utilisant la notation scientifique

1. 12 μm en m 2. 0,075 Mm en m 3. 546,0 m^2 en cm^2 4. 5 km^2 en cm^2 5. 0,05 cm en μm
6. 523 cm^3 en m^3 7. 0.052 hm^3 en m^3 8. 900 μm^2 en mm^2 9. 1250 mm en μm

II. Analyse dimensionnelle

- **Dimension de base**

Dimensions de base du SI	Notation
Longueur	L
Masse	M
Temps	T
Intensité électrique	I
Température	Θ
Quantité de matière	N
Intensité lumineuse	J

La dimension d'une grandeur Q s'écrit sous la forme d'un produit dimensionnel :

$$\dim Q = T^\alpha \cdot L^\beta \cdot M^\gamma \cdot I^\delta \cdot \Theta^\epsilon \cdot N^\zeta \cdot J^\eta$$

où les exposants sont des nombres généralement rationnels et de faible valeur.

Un facteur numérique est sans dimension.

- **Homogénéité d'une relation**

- Deux membres d'une équation doivent être **homogènes**, c'est-à-dire qu'on peut les exprimer dans la même unité.
- Un résultat non homogène est nécessairement faux.
- Un résultat homogène n'est pas nécessairement correct.

- **Usages de l'analyse dimensionnelle**

- Vérifier l'homogénéité d'une relation.
- Déterminer une loi ou une grandeur à partir d'autres grandeurs du problème.
- Estimer un ordre de grandeur dans un problème.

Application 2 Le temps de Planck

Le temps de Planck est le temps qu'il faudrait à un photon dans le vide pour parcourir une distance égale à la longueur de Planck, échelle de longueur à laquelle une description classique — non quantique — de la

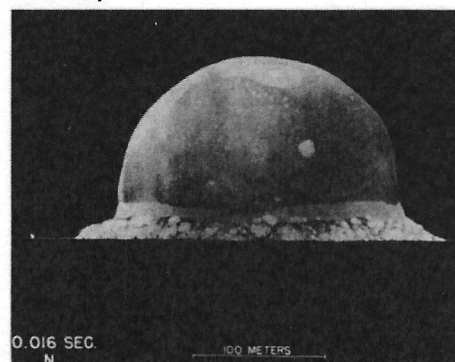
gravitation cesse d'être valide. Le temps de Planck $t_{\text{Planck}} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}}$ peut se déduire de constantes fondamentales de la physique (comme la vitesse de la lumière) par de simples conditions d'homogénéité. Vérifier l'homogénéité de la formule précédente. On donne : $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$

Application 3 Energie de la première bombe atomique (résolution de problème)

Le 16 juillet 1945, l'armée américaine fit exploser pour la première fois une bombe atomique dans le désert du Nouveau-Mexique. Quelques années plus tard, le gouvernement décida de publier les photos de l'explosion (document ci-contre), montrant le fameux champignon devenu depuis le symbole de l'arme nucléaire.

A partir d'une analyse dimensionnelle, estimer l'énergie libérée E par la bombe lors de l'explosion. On donnera la valeur en tonnes de TNT (donnée : 1 tonne de TNT = $4,2 \cdot 10^9 \text{ J}$).

On supposera que l'énergie dépend uniquement : du temps t, du rayon du champignon R et de la masse volumique de l'air $\rho \approx 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$.



Photographie de l'explosion Trinity, premier essai nucléaire américain.