# 1.1 Le système international (SI)

## 1.1.1. Principes du SI

La ***grandeur physique*** est une caractéristique variable qui peut être évaluée. Cette estimation est réalisée par une *mesure*, qui est une observation quantitative effectuée par comparaison avec un *étalon*. Un exemple simple: on mesure la longueur d'un objet avec une règle : la *longueur* est une grandeur physique, la règle est *l'appareil de mesure* et les traits numérotés sur la règle sont l'*étalon*.

**La grandeur physique (et sa mesure) s'exprime toujours par un nombre et une unité de mesure (qui est une référence à un étalon normalisé)**

Le système international est système cohérent d'unités de mesure. Depuis 2018, les unités sont définies à partir de 7 constantes fondamentales de la science dont la valeur a été fixée exactement, servant ainsi de référence, ou étalon. Ces constantes ont remplacé les étalons utilisés pour les 7 *unités de base* du SI des versions précédentes.

Les unités associées à toutes les grandeurs physiques peuvent être exprimées par une combinaison des unités de bases. Les tableaux A.1 et A.2 présentent respectivement les unités de base du SI et quelques exemples d'unités dérivées.

L'ordre de grandeur est exprimé par un préfixe qui représente une fraction décimale ou un multiple de 10 (tableau 1.1).

La notation scientifique est beaucoup plus efficace que la notation décimale avec tous les zéros pour les transformations d'ordre de grandeur. Remarquez que les puissances de 10 utilisées pour la majorité des préfixes du SI sont multiples de 3 : $10^{-9}$, $10^{-6}$, $10^{-3}$, $10^{3}$, $10^{6}$, $10^{9}$.... On peut dans une expression remplacer directement le préfixe par la puissance de 10 correspondante, ou vice versa.

Ainsi, si je veux connaître le nombre de $m^3$ dans 1 $cm^3$, j'écris :

1 cm = $10^{-2}$ m $\rightarrow$ $(1\ cm)^3 = (10^{-2}\ m)^3 \rightarrow 1\ cm^3 = 10^{-6}\ m^3$ (Le facteur $10^{-2}$ est remplacé par le préfixe c).

*TABLEAU A.1 UNITÉS DE BASE DU SI*

| grandeur physique | unité et (symbole) |
|---|---|
| longueur | **mètre (m)** |
| masse | **kilogramme (kg)** |
| temps | **seconde (s)** |
| courant électrique | **ampère (A)** |
| température thermodynamique | **kelvin (K)** |
| quantité de matière | **mole (mol)** les entités doivent être spécifiées |
| intensité lumineuse | **candela (cd)** |

**Pour les noms des unités, les préfixes ainsi que les symboles, on doit rigoureusement respecter les majuscules et les minuscules. L'usage des préfixes est directement lié au système décimal de numération et à la notation scientifique.**

***Exemple 1.1.1***

1000 g peut aussi être noté 1 x $10^3$ g ou 1 kg (le facteur $10^3$ est remplacé par le préfixe k)

254 312 g vaut 254,312 x $10^3$ g ou 254,312 kg ou 0,254 312 x $10^6$ g ou 0,254 312 Mg

0,000 002 m s'écrit 2 x $10^{-6}$ m ou 2 µm

0,174 mm veut dire 0,174 x $10^{-3}$ m ou encore 174 x $10^{-6}$ m ou 174 µm

TABLEAU 1.1 PRÉFIXES DU SI

| préfixes multiplicatifs >1 | | préfixes multiplicatifs <1 | |
|---|---|---|---|
| $10^{1}$ | deca (da) | $10^{-1}$ | déci (d) |
| $10^{2}$ | hecto (h) | $10^{-2}$ | centi (c) |
| $10^{3}$ | kilo (k) | $10^{-3}$ | milli (m) |
| $10^{6}$ | mega (M) | $10^{-6}$ | micro (µ) |
| $10^{9}$ | giga (G) | $10^{-9}$ | nano (n) |
| $10^{12}$ | téra (T) | $10^{-12}$ | pico (p) |
| $10^{15}$ | peta (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) |

Pour représenter les autres grandeurs physiques, le SI a recours à des unités dérivées, qui s'expriment toujours sous la forme d'une combinaison d'une ou plusieurs unités de base.

***Exemple 1.1.2***

Une force de 40 kN s'exerce sur une surface de 10 $mm^2$. Quelle est la valeur de la pression ?

pression = force/surface

$$4\,\frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} = 4\,\frac{\times 10^3\,\text{N}}{\times(10^{-3}\,\text{m})^2} = 4\,\frac{\times 10^3\,\text{N}}{\times 10^{-6}\,\text{m}^2} = 4\times 10^9\,\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 4\times 10^9\,\text{Pa} = 4\ \text{GPa}$$

*TABLEAU A.2 UNITÉS DÉRIVÉES*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **superficie** | longueur×longueur | m×m | **$m^2$** |
| **volume** | longueur×longueur×longueur | m×m×m | **$m^3$** |
| **vitesse** | longueur/temps | m/s | **$m{\bullet}s^{-1}$** |
| **accélération** | vitesse/temps | (m/s)/s | **$m{\bullet}s^{-2}$** |
| **masse volumique** | masse/volume | $kg/m^3$ | **$kg{\bullet}m^{-3}$** |
| Parfois, on donne un nom spécial à une unité dérivée : | | | |
| **force** | masse×accélération<br>2e loi de Newton | $kg{\bullet}m{\bullet}s^{-2}$ | **newton (N)** |
| **pression** | force/surface<br>*par définition* | $N/m^2$<br>$kg{\bullet}m{\bullet}s^{-2}/m^2$<br>$kg{\bullet}s^{-2}m^{-1}$ | **pascal (Pa)** |
| **énergie** | force×longueur<br>*par définition du travail* | N•m<br>$kg{\bullet}m{\bullet}s^{-2}m$<br>$kg{\bullet}m^2s^{-2}$ | **joule (J)** |
| **puissance** | énergie/temps<br>*par définition* | J/s<br>$kg{\bullet}m^2s^{-2}/s$<br>$kg{\bullet}m^2s^{-3}$ | **watt (W)** |
| **charge électrique** | courant×temps<br>*par définition* | A•s | **coulomb (C)** |
| **angle plan** | longueur (d'arc)<br>longueur (rayon)<br>*par définition* | $m{\bullet}m^{-1}$ | **radian (rad)** |

## 1.1.2 Unités métriques

Certaines grandeurs physiques seront représentées par de unités du système métrique qui n'ont pas nécessairement été retenues dans le SI. Les préfixes du SI s'appliquent à ces unités.

Ainsi, on trouvera le **litre**, symbole **L**, pour la mesure de capacité. Un litre correspond à un volume de $10^{-3}$ $m^3$, ou 1 000 L correspondent à 1 $m^3$. On peut mesurer des volumes, par exemple, en mL (millilitres). Un (1) mL équivaut à 1 $cm^3$.

Une autre unité courante est la **tonne (métrique)**, symbole **t**, qui vaut 1 000 kg. Elle ne doit pas être confondue avec la *tonne impériale,* symbole *ton*, qui vaut 2 000 lb ou 907,2 kg.

### 1.1.3 Homogénéité des expressions

Sans recourir à des méthodes complexes, le système d'unités permet de vérifier si une expression mathématique reliant des grandeurs physiques est cohérente. Pour ce faire, il faut parfois transformer les unités dérivées en les exprimant par une combinaison d'unités de base.

***Exemple 1.1.3***

Prenons une expression bien connue, la loi des gaz parfaits :

$$PV = nRT$$

$P$ : pression en Pa

$V$ : volume en $\mathrm{m}^3$

$n$ : nombre de particules de gaz, en mol

$T$ : température en K

$R$ : constante des gaz parfaits

Quelles seront les unités de la constante R pour que l'expression soit *dimensionnellement cohérente*? Il faut que les deux membres de l'équation (*PV* d'un côté et *nRT* de l'autre) soient exprimés dans les mêmes unités.

$$PV \rightarrow \mathrm{Pa}\times\mathrm{m}^3 = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}\times\mathrm{m}^3 = \mathrm{N}\times\mathrm{m}=\mathrm{J}\ \text{ou}\ \mathrm{kg}\bullet\mathrm{m}^2\mathrm{s}^{-2}$$

de l'autre côté de l'égalité :

$$nRT \rightarrow \mathrm{mol}\times[?]\times\mathrm{K}=\mathrm{J}$$

$$[?]\ \text{correspond aux unités de}\ R\ \text{et doit donc s'écrire:}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol}\times\mathrm{K}}$$

on obtient alors

$$nRT \rightarrow \mathrm{mol}\times\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol}\times\mathrm{K}}\right]\times\mathrm{K}=\mathrm{J}$$

## 1.1.4 Méthode générale pour la conversion d'unités

Pour convertir les unités de mesure, la méthode du « un » logique est très efficace. Elle repose sur la propriété mathématique qui dit que de multiplier une quantité par un facteur « un » ne change pas la grandeur.

Le facteur « un » dans cette méthode est une fraction, dont le numérateur et le dominateur représente la même grandeur, mais exprimée dans des unités différentes. On doit placer les expressions au numérateur et au dénominateur pour que les simplifications d'unités fonctionnent.

Dans la fraction ci-dessous, le préfixe « nano », n, est équivalent à la puissance de dix, $10^{-9}$. Les unités du numérateur et du dénominateur représentent donc des quantités égales :

$$\left(\frac{1\ \text{nm}}{10^{-9}\ \text{m}}\right)$$

Pour appliquer la méthode, on suit les étapes :

1. planifier la conversion en indiquant les unités de départ et les unités désirées à la fin ;
2. préparer une fraction entre parenthèses pour chaque unité à convertir ;
3. inscrire les unités au numérateur et au dénominateur de la fraction en validant les simplifications d'unités nécessaires ;
4. écrire les facteurs de conversion dans la parenthèse pour assurer l'égalité des grandeurs au numérateur et au dénominateur de chaque fraction.

***Exemple 1.1.4***

On veut exprimer une grandeur de 0,00125 m en µm (micromètres). Le préfixe micro signifie $10^{-6}$. Les mètres au dénominateur de la fraction entre parenthèses simplifient les mètres de la donnée initiale.

$$0{,}001250\ \text{m} \times \left(\frac{1\ \mu\text{m}}{10^{-6}\ \text{m}}\right) = 1250\ \mu\text{m}$$

Lorsque l'unité de mesure est affectée d'un exposant, l'exposant s'écrit à l'extérieur des parenthèses :

***Exemple 1.1.5***

On exprime une surface de 400 mm² en m² :

$$400\ \text{mm}^2 \times \left( \frac{10^{-3}\,\text{m}}{\text{mm}} \right)^2 = 400 \times 10^{-6}\ \text{mm}^2$$

Voici un exemple avec deux grandeurs physiques (et deux unités) à convertir. On crée un rapport entre parenthèses pour chacune des unités qui doit être convertie :

***Exemple 1.1.6***

$$a = 250 \frac{\text{km}}{\text{h}^2} \times \left( \frac{10^3\text{m}}{\text{km}} \right) \times \left( \frac{\text{h}}{3600\ \text{s}} \right)^2 = 0{,}0193 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

La même méthode permet de convertir des unités d'autres systèmes que le SI, il suffit de connaître les facteurs de conversion pour construire l'équivalence :

***Exemple 1.1.7***

La « stone » est une unité de masse anglo-saxonne qui équivaut à environ 6,350 kg.

Quelle est la masse d'un homme de 70,0 kg exprimées en « stones » ?

$$70{,}0\ \text{kg} \times \left( \frac{1\ \text{stone}}{6{,}350\ \text{kg}} \right) = 11{,}02\ \text{stones}$$

## 1.1.5 Exercices préparatoires

1. Donnez la valeur dans les nouvelles unités :

   a. 40 cm = ______________ m

   b. 25 kN = ______________ N

   c. 6,4 mm = _____________ cm

   d. 35 kg = _______________ mg

   e. 12 $\mu$m = ______________ nm

   f. 0,009 m = _____________ cm

   g. 101 325 Pa = _______________ kPa

2. Complétez les expressions en ajoutant uniquement une unité SI et son préfixe :

   a. $1{,}2 \times 10^{-6}$ g = 1,2 ________________

   b. 0,137 kPa = 137 __________________

   c. 47 km = $4{,}7 \times 10^{6}$ ___________________

   d. 0,000 024 m = $2{,}4 \times 10^{4}$ _________________

   e. $10 \times 10^{8}$ N = 1,0 _______________

3. Donnez la valeur dans les nouvelles unités :

   a. 10 $cm^2$ = ________________________ $m^2$

   b. 5 500 $cm^3$= ________________________$m^3$

   c. 0,250 $m^2$ = _______________________ $mm^2$

   d. $65 \times 10^{3}$ $mm^4$ = ________________________ $m^4$

   e. 90 km/h = _________________ m/s

   f. 495 mg/L = ________________________ $g/m^3$ note : 1 L (litre) = 1 000 $cm^3$

   g. 40 kW-h = _______________________ *unité SI d'énergie*

   h. 13,55 $g/cm^3$= ______________________ $kg/m^3$

4. Complétez les expressions suivantes avec les bonnes unités :

    a. 3 $m^3 \times$ 900 $kg/m^3$ = ____________________

    b. 5_________ $\times$ 20 g/mol = 100 g

    c. 0,086°C = 0,86______________ $\times$ 0,10 mol/kg

5. Donnez les unités des expressions suivantes en utilisant les unités de base et en réduisant à la plus simple expression :

    a. $\frac{1}{2}gt^2 \quad g: accélération \quad t: temps$

    b. $\frac{P}{\rho} \quad P: pression \quad \rho: masse\ volumique$

    c. $\frac{v^2}{2g} \quad v: vitesse \quad g: accélération$

    d. $\rho vAt \quad \rho: masse\ volumique \quad v: vitesse \quad A: surface \quad t: temps$

6. Quelle unité dérivée exprime le mieux les grandeurs suivantes :

    a. $mg \quad m: masse \quad g: accélération$

    b. $\frac{1}{2}mv^2 \quad m: masse \quad v: vitesse$

    c. $PA \quad P: pression \quad A: surface$

    d. $\rho gy \quad \rho: masse\ volumique \quad g: accélération \quad y: hauteur$

## *Réponses*

1. a) 0,40 m b) $2{,}5 \times 10^{4}$ N c) 0,64 cm d) $3{,}5 \times 10^{7}$ mg e) $1{,}2 \times 10^{4}$ nm

   f) 0,9 cm g) 101,325 kPa

2. a) µg b) Pa c) cm d) nm e) GN

3. a) $1{,}0 \times 10^{-3}$ m$^{2}$ b) $5{,}5 \times 10^{-3}$ m$^{3}$ c) $2{,}5 \times 10^{5}$ mm$^{2}$ d) $6{,}5 \times 10^{-8}$ m$^{4}$

   e) 25 m/s f) 495 g/m$^{3}$ g) 144 MJ h) $1{,}355 \times 10^{4}$ kg/m$^{3}$

4 a) 2 700 kg b) mol c) $\dfrac{^{\circ}\mathrm{C} \times \mathrm{kg}}{\mathrm{mol}}$

5. a) m b) $\left(\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^{2}$ c) m d) kg

6. a) N b) J c) N d) Pa