

Chapitre II

Systèmes physiques, unités et dimensions

I. Le système physique

1. Définition

Pour travailler sur un problème de physique, au lieu de traiter le problème sur « l'univers », on se restreint l'espace pour ne le traiter que dans un espace plus petit, restreint, ne contenant uniquement que ce qui interférera avec ce que l'on étudie, que ce qui rentrera en jeu dans l'expérience. Cet espace plus restreint est nommé **système**.

2. Système isolé, fermé

Un système isolé a la particularité de n'échanger ni de masse, ni d'énergie, ni d'interaction avec l'extérieur.

En revanche, un système isolé n'échange pas de matière avec l'extérieur, donc sa masse est une constante. En revanche, des échanges d'énergies ou d'interactions peuvent être envisageable.

II. Mesures, grandeurs physiques, dimensions

1. La mesure

Effectuer une mesure revient à déterminer le rapport entre une quantité physique et l'étalon de la même longueur physique.

Remarque : Il arrive que dans la vie de tous les jours, on côtoie des valeurs que l'on pourraient prendre comme des mesures et qui ne sont ni plus ni moins que des repérages, comme par exemple : la température exprimée en degré ou en Fahrenheit.

2. Les quantités fondamentales de base

a. Le mètre

Le mètre, de symbole « m » a été défini pour la première fois en 1799 par une convention française pour unifier le système de longueur. Le mètre a été fixé comme correspondant à $1/40\,000\,000^{\text{ème}}$ de la longueur du méridien terrestre. Pour faciliter l'utilisation du mètre, en 1879, a été réalisé un étalon du mètre. Et pour faciliter l'utilisation du mètre comme mesure internationale d'une longueur, des copies ont été effectuées de ce mètre dans différents pays. Seulement, ces copies n'ont pas été aussi parfaite que l'original. C'est une des raisons pour laquelle le mètre a été redéfini en 1983 et qui est encore utilisé à l'heure actuelle. Le mètre correspond alors à la longueur du trajet parcouru par la lumière dans le vide pendant une durée de $1/299\,792\,458$ secondes.

b. La masse

La masse de symbole « kg » a été aussi définie durant la convention de 1799 comme étant le poids d'un litre d'eau pure prit à 4°C . Pour faciliter les choses, là encore, un étalon a été réalisé et est encore valable à l'heure actuelle. La précision de cet étalon est de 10^{-9} .

c. Le temps

Le temps de symbole « s » et mesuré en seconde a été défini par les astronautes il y a de cela fort longtemps. A l'heure actuelle, la seconde est définie comme la période de transition d'une micro-onde entre deux niveaux d'un isotope donné du Césium. Cela est calculé par une horloge atomique située à Francfort et possédant une précision inégalée jusqu'alors :

$$T = 9192\ 631\ 770 \text{ périodes avec une précision de } 10^{-19}.$$

d. L'intensité électrique

Cette intensité électrique est mesurée en Ampère de symbole « A ».

e. Système légal

Les systèmes légaux d'unité sont donc :

- ✓ La distance exprimée en mètres « m »
- ✓ La masse exprimée en kilogramme « kg »
- ✓ Le temps exprimé en secondes « s »
- ✓ L'intensité électrique exprimée en Ampère « A »

3. Les autres grandeurs fondamentales non principales

Il existe naturellement d'autres grandeurs fondamentales, mais celles-ci ne font pas partie des plus importantes. Par exemple :

- x La température thermodynamique exprimée en Kelvin et noté « K »
- x L'intensité lumineuse exprimée en Candela et noté « Cd »
- x La quantité de matière exprimée en moles et noté « mol »

La majorité des autres unités que l'on connaît sont majoritairement créées à partir de ces grandeurs fondamentales.

4. Les multiples et sous multiples

Pour pouvoir utiliser au mieux les grandeurs, nous avons besoin par moment d'utiliser des multiples et sous-multiples que l'on définit ainsi :

| <i>Sous-multiples</i> | | | <i>multiples</i> | | |
|-----------------------|------------|----------------|------------------|------------|----------------|
| <i>Puissance</i> | <i>Nom</i> | <i>Symbole</i> | <i>Puissance</i> | <i>Nom</i> | <i>Symbole</i> |
| 10^{-1} | Déci | d | 10^1 | Déca | d |
| 10^{-2} | Centi | c | 10^2 | Hecto | h |
| 10^{-3} | Milli | m | 10^3 | Kilo | k |
| 10^{-6} | Micro | μ | 10^6 | Méga | M |
| 10^{-9} | Nano | n | 10^9 | Giga | G |
| 10^{-10} | Angstroem | Å | | | |
| 10^{-12} | Pico | p | 10^{12} | Tera | T |

| <i>Puissance</i> | <i>Nom</i> | <i>Symbole</i> | <i>Puissance</i> | <i>Nom</i> | <i>Symbole</i> |
|-------------------|------------|----------------|------------------|------------|----------------|
| 10 ⁻¹⁵ | Femto | f | 10 ¹⁵ | Peta | P |
| 10 ⁻¹⁸ | Atto | a | 10 ¹⁸ | Exa | E |
| 10 ⁻²¹ | Zepto | z | 10 ²¹ | Zetta | Z |
| 10 ⁻²⁴ | Yocto | y | 10 ²⁴ | Yotta | Y |

5. Les dimensions d'une grandeur physique

A partir des quatre grandeurs physiques, on peut donc définir d'autres grandeurs à partir d'elles. En voici quelques exemples :

$$\text{vitesse} = \frac{\text{distance}}{\text{temps}}$$

La vitesse est homogène à une distance divisé par un temps. Sa dimensions est une distance divisé par un temps.

Les dimensions fondamentales se notent : L, T, M et I.

La dimension d'une grandeur X est noté : [X].

L'expression qui permet d'exprimer la dimension G en fonction des grandeurs fondamentales est appelé une équation de dimension : $G = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta$

exemple :

- $[v] = LT^{-1}$ unité : m.s⁻¹
- $[a] = LT^{-2}$ unité : m.s⁻²
- $[f] = MLT^{-1}$ unité : kg.m.s⁻² = N
- $[W] = ML^2T^{-2}$ unité : kg.m².s⁻² = N.m = J
- $dN = -\lambda N dt$

$$[dN] = [\lambda][N][dt]$$

$$[dt] = T$$

$$[dN] = 1$$

$$[\lambda] = T^{-1}$$

$$1 = T^{-1} \cdot 1 \cdot T \Rightarrow \text{équation homogène}$$

III. Analyse dimensionnelle

1. Définition

Les équations dimensionnelles sont un outil très puissant : si deux grandeurs physiques ont les mêmes grandeurs physiques, alors, c'est la même grandeur

2. Exemples

$$[W] = [fl] = M L T^{-1} \times L = M L^2 T^{-2}$$

$$[E] = \left[\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \right] = M \cdot [v^2] = M L^2 T^{-2}$$

Ces deux grandeurs sont donc identiques

Exemple du pendule :

L'oscillation peut dépendre : de la masse du pendule, de la longueur, de la pesanteur et de l'angle initial.

$$\phi = \frac{\text{longueur d'un arc de cercle}}{\text{rayon du cercle}}$$

$$[\phi] = L \cdot L^{-1} = 1$$

$$[\cos \phi] = 1$$

$$\tau = C m^\alpha l^\beta g^\gamma \Leftrightarrow [\tau] = T = [m^\alpha l^\beta g^\gamma] \Leftrightarrow T \equiv M^\alpha L^\beta [L \cdot T^{-2}]^\gamma$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 0 \\ \beta + \gamma = 0 \\ 1 = -2\gamma \end{array} \right\} \begin{array}{l} \alpha = 0 \\ \beta = \frac{1}{2} \\ \gamma = \frac{-1}{2} \end{array}$$

$$\tau = c \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Par l'intermédiaire des équations aux dimensions, on peut trouver ce qui intervient dans un phénomène physique.

Exemple de vérification de l'homogénéité d'une formule :

$$\vec{F} = -k(l - l_0)\vec{u} \quad [F] = [k] L$$

$$E ? \frac{1}{2} \cdot k \cdot (l - l_0) \quad [k] = M L T^{-2} L^{-1} = M T^{-2}$$

$$[E] = M L^2 T^{-2} ? M T^{-2} L$$