

# Chapitre 1: Unités et ordre de grandeur

# I Système d'unités internationales

#### I.1 Unités fondamentales

Dans le système d'unité internationales (S.I.), on distingue 7 unités fondamentales définies <sup>1</sup> par des expériences de métrologie :

★ Unité de temps : la seconde (s)

★ Unité de longueur : le mètre (m)

★ Unité de masse : le kilogramme (kg)

★ Unité de courant électrique : l'Ampère (A)

★ Unité de température thermodynamique : le Kelvin (K)

★ Unité de quantité de matière : la mole (mol)

★ Unité d'intensité lumineuse : le candela (cd)

#### I.2 Unités dérivées

Les unités fondamentales permettent, en les combinant de décrire les unités associées à d'autres grandeurs physiques. Voici quelques exemples (non exhaustif) :

★ Unité de Fréquence : Hertz (Hz)

★ Unité de Force : Newton (N)

★ Unité de Pression : Pascal (Pa)

★ Unité de Potentiel électrique : Volt (V)

★ Unité d'Energie : Joule (J)

- ★ D'autres unités, qui ne font pas partie du système d'unités internationales existent pour décrire les mêmes grandeurs. Exemple : la pression s'exprime aussi en bar ou en mmHq.
- ★ Certaines puissances ou produits d'unités fondamentales décrivent des grandeurs physiques particulières. La vitesse s'exprime en m.s<sup>-1</sup> ou le volume en m<sup>3</sup>

# II Homogénéité et relations physiques

Une relation physique est une équation mathématiques reliant plusieurs grandeur physiques. Une telle relation doit toujours être homogène c'est-à-dire que :

- ★ les deux membres de l'équation doivent avoir la même unités.
- $\star$  pour chaque somme à l'intérieur d'une relation physique, les termes doivent être *homogènes* (avoir la même unité) <sup>2</sup>
- ★ les arguments des fonctions comme exp, cos, sin... doivent être sans dimensions <sup>3</sup>.

## UN RÉSULTAT NON HOMOGÈNE EST UNE ERREUR GRAVE EN PHYSIQUE.

- 1. lors de Conférences Générales des Poids et Mesures (CGPM).
- 2. Mais deux sommes différentes peuvent sommer des termes de dimensions différentes bien sûr.
- 3. Le cas de ln est un peu particulier : son argument devrait être sans dimensions mais l'application de  $\ln(a/b) = \ln a \ln b$  conduit à des exceptions.

# III Ordre de grandeur

On peut distinguer deux types d'ordres deux grandeurs à connaître :

- \* Les constantes fondamentales : elle sont souvent en relation avec les limites d'un cadre théorique (la vitesse de la lumière par exemple). Il est important de connaître au moins le premier chiffre et la puissance de dix (en écriture scientifique). Pour les plus courante, il est vivement conseillé de connaître aussi le second chiffre.
- \* Les grandeurs courantes : connaître l'ordre de grandeur de la vitesse d'une voiture, de la vitesse de la Terre autour du Soleil...ou au moins savoir les retrouver rapidement (comme la distance Terre-Soleil) est important pour pouvoir comparer un résultat numérique à ces ordres de grandeurs. Ici, la connaissance de la puissance de dix correspond suffit (ou d'un intervalle de puissance de dix).

Constante	Valeur
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 299792458 \text{m.s}^{-1}$
Perméabilité magnétique du vide	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{kg.m.A}^{-2}.\text{s}^{-2}$
Permittivité diélectrique du vide	$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c^2} = 8,85 \times 10^{-12} \text{A}^2 \cdot \text{s}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$
Constante de Planck	$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{kg.m}^2 \text{.s}^{-1}$
Charge élémentaire	$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{A.s}$
Constante gravitationnelle	$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2}$
Unité de masse atomique	$1u.a. = 1,66 \times 10^{-27} \text{kg}$
Nombre d'Avogadro	$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$
Constante des gaz parfaits	$R = 8,314 \text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
Constante de Boltzmann	$k_B = \frac{R}{N_A} 1,38 \times 10^{-23} \text{J.K}^{-1}$
Température du point triple de l'eau	$T_T = 273, 16$ K
Pression standard de l'atmosphère	$P_{atm} = 101325 Pa$
Rayon de Bohr	$a_0 = \frac{h}{2\pi m_e c\alpha} = 5,29 \times 10^{-11} \text{m}$
Magnéton de Bohr	$\mu_B = 9,27 \times 10^{-24} \text{A.m}^2$
Masse du proton	$M_P = 1,67 \times 10^{-27} \text{kg}$
Masse du neutron	$M_N = 1,67 \times 10^{-27} \text{kg}$
Masse de l'électron	$M_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{kg}$

Table 1.1 – Cosntantes fondamentales à connaître

Les ordres de grandeurs courants seront vus dans les différents chapitres de l'année mais on peut déjà connaître des grandeurs déjà vues par le passé :

- \* Grandeurs astronomiques : masse et rayon de la Terre, rayon de l'orbite terrestre, année et jour terrestre
- \* Grandeurs microscopiques: taille d'un atome, niveau d'énergie atomique (OdG)
- $\star\,$  Notre échelle : taille et masse moyenne d'un humaine, vitesse de mobiles usuels

#### IV S'entrainer

#### IV.1 Méthodes

Ces exercices doivent être parfaitement maitrisés et leur conclusions sues par coeur.



#### ♥ Méthode IV.1: Exprimer une unité

Exprimer l'unité Newton (N) en fonction des unités fondamentales

# ▼ A retenir: Exprimer une unité

Il faut savoir utiliser les relations physique pour associer les unités de différentes grandeurs. Cela sera très important pour les analyses dimensionnelles présentées en suite.

On retiendra aussi le comportement dimensionnel d'une dérivation.

#### ♥ Méthode IV.2: Vérifier RAPIDEMENT l'homogénéité d'une expression

Quelles sont parmi les expressions ci-dessous, celles qui sont homogènes?

$$UI^2 = RI^2 \tau$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgz$$

# ♥ A retenir: Vérifier RAPIDEMENT l'homogénéité d'une expression

La vérification de l'homogénéité sert à la relecture des résultats. Cela doit être fait rapidement (au début, ça prendra un peu plus de temps) et il faut s'habituer à le faire systématiquement (les premiers chapitres le rappelleront, mais pas les exercices des devoirs...)

# ♥ Méthode IV.3: Analyse dimensionnelle

Un électron de charge e qui subit une accelération a perd une puissance (on parle de freinage par rayonnement) P. L'étude de ce phénomène est relativiste et l'on sait que l'expression de P fait intervenir la célérité de la lumière dans le vide c et la perméabilité du vide  $\epsilon_0$  dont l'unité est  $s^4.A^2.kg^{-1}.m^{-3}$  sous forme de produit. On peut donc écrire P sous la forme :

$$P = ke^{\alpha}c^{\beta}\epsilon_0^{\gamma}a^{\zeta}$$

avec k une constante sans dimension.

Déterminer les exposants  $\alpha, \beta, \gamma$  et  $\zeta$ .

# ♥ A retenir: Analyse dimensionnelle

On retiendra le principe de passer par un système d'unités indépendantes pour établir la dimension des grandeurs à gauche et à droite a.

a. On est passé ici par les unités fondamentales qui sont forcément indépendantes. On peut aussi parfois utiliser des unités dérivées (tant que l'ensemble formé est libre).

# IV.2 Applications

# 🗷 Exercice IV.1: Exprimer une unité

Q1. Exprimer l'unité Joule (J) en fonction des unités fondamentales.

Q2. Exprimer l'unité Coulomb (C) en fonction des unités fondamentales.

 $Points\ utiles\ pour\ cet\ exercice$ 

 $\star\,$  Exprimer une unité dans les unités fondamentales.

Eléments de correction (sans justification) :

**Q1.**  $kg.m^2.s^{-2}$ 

**Q2.** A.s



Exercices auto-corrigés sur les unités et ordre de grandeur.