

## Introduction

Ce premier cours de l'année a pour rôle de souligner l'importance des unités en Sciences Physiques qui donnent une structure précise à toutes les formules littérales.

La première étape pour étudier un phénomène physique est l'identification des variables importantes. La relation mathématique entre ces variables constitue une loi de la physique pour quelques phénomènes simples.

On peut construire une relation quantitative à partir d'une théorie. Par contre pour les systèmes complexes ceci peut s'avérer très difficile. Dans ce cas une méthode de modélisation telle que l'analyse dimensionnelle est indispensable. On a souvent recours à l'analyse dimensionnelle lorsqu'on veut vérifier les unités pour s'assurer que la partie gauche et droite d'une équation ont la même unité ce qui est une condition nécessaire pour satisfaire l'égalité.

### Exemple :

$$x = vt \Leftrightarrow \text{en unité } (m) = \left(\frac{m}{s}\right) * s = m$$

Où :

x : représente une longueur.

v : la vitesse rectiligne d'un corps en mouvement.

t : le temps.

Ceci est l'exemple trivial de l'utilité de l'analyse dimensionnelle. On veut par contre l'utiliser ici pour vérifier l'homogénéité d'une relation physique.

## I.1 Notion de grandeur physique

Une grandeur physique est une caractéristique physique, chimique ou biologique qui peut être mesurée ou repérée. Elle peut être de nature scalaire ou vectorielle. C'est un paramètre mesurable qui sert à définir un état, un objet.

### Exemple :

- **Grandeur scalaire :**

Longueur (L)

Enseignant :

Masse (m)

Température (T).

- **Grandeur vectorielle :**

Vitesse :  $\vec{v}$

Force :  $\vec{F}$

## I.2 Notion d'unité en physique

La mesure d'une grandeur en physique fait appel à la métrologie ; il faut définir un phénomène de référence, l'étalon ; qui exprime par un multiple entier ou réel le phénomène.

C'est la notion d'unité en physique, on peut aussi exprimer une grandeur par les sous ou les multiples de l'unité.

**Exemple :** l'unité de la longueur est le mètre symbolisé par « m ».

On peut aussi exprimer la longueur par, les, millimètres, centimètres, kilomètre, qui sont des sous-multiples ou des multiples de l'unité principale qu'est le mètre.

## I.3 Grandeurs et unités fondamentales dans Le système International « SI »

Pour créer un système d'unités, il faut définir des unités de base et les unités dérivées. Le système international (SI) a été mis en place par la 11<sup>ème</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) qui fixa en 1960 des règles pour les préfixes, les unités dérivées et d'autres indications. Le SI est fondé sur un choix de sept **unités de base** bien définies et considérées par convention comme indépendantes du point de vue dimensionnel : le mètre, le kilogramme, la seconde, l'ampère, le kelvin, la mole et la candela. Les **unités dérivées** sont formées en combinant les unités de base d'après les relations algébriques qui lient les grandeurs correspondantes. Les noms et les symboles de certaines de ces unités peuvent être remplacés par des noms et des symboles spéciaux qui peuvent être utilisés pour exprimer les noms et symboles d'autres unités dérivées.

Le tableau ci-dessous présente les sept grandeurs de base du système international.

Enseignant :

<b>Grandeur</b>	<b>Nom dans SI</b>	<b>Symbole dans SI</b>	<b>Dimension</b>
Longueur	Mètre	m	L
Temps	Seconde	s	T
Masse	Kilogramme	kg	M
Température	Kelvin	K	$\theta$
Courant	Ampère	A	I
Quantité de la matière	Mole	mol	N
Intensité lumineuse	Candela	cd	J

**Tableau 1** : Grandeurs et unités de base du système international

#### **I.4 Les unités dérivées**

A partir des unités de base plusieurs autres unités peuvent dériver pour exprimer d'autres grandeurs en physique on les appelle les unités dérivées

Le tableau suivant donne des exemples de quelques unités dérivées :

Grandeur	Unité	Symbole
Aire	Mètre carré	$m^2$
Volume	Mètre cube	$m^3$

Enseignant :

Masse volumique	Kilogramme par mètre cube	$\text{kg m}^{-3}$
Moment d'inertie	Kilogramme mètre carré	$\text{kg m}^2$
Fréquence	Hertz	$\text{Hz (s}^{-1}\text{)}$
Pulsation	Radian par seconde	$\text{rad s}^{-1}$

**Tableau 2 :** Grandeurs et unités dérivées du SI.

### I.5 Etalon de mesure

Un étalon de mesure est une grandeur de référence qui sert à définir ou à matérialiser l'unité de mesure. Celui-ci doit être précis, exact, reproductible et universel. Les unités fondamentales doivent être matérialisées par des étalons fondamentaux. La réalisation et l'amélioration des étalons de mesure sont à la charge de laboratoires de mesure reconnus au niveau mondial qui couvrent l'ensemble des unités de temps, de fréquence, mécaniques, électriques, magnétiques, de température, de radiométrie, de quantité de matière et de rayonnements ionisants.

### I.6 Etalons des unités de base du S.I :

#### I.6.1 La seconde

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133

#### I.6.2 Le mètre

Après avoir fixé définitivement la vitesse de la lumière dans le vide absolu à 299 792 458 m/s par la communauté scientifique en 1983 les laboratoires de mesure ont redéfini le mètre comme étant la distance parcourue par la lumière dans le vide en 1/299 792 458 seconde. La vitesse de la lumière dans le vide étant la même en tout point (résultat établi par la relativité restreinte), c'est une définition plus précise car la seconde est l'unité du Système international (SI) qui est mesurée avec la plus faible incertitude

### **I.6.3 Le kilogramme**

Le kilogramme est actuellement défini comme la masse d'un cylindre en platine iridié (90 % platine et 10 % iridium) de 39,17 mm de diamètre et 39,17 mm de haut ; déclaré unité SI de masse depuis 1889 par le Bureau international des poids et mesures (BIPM).

Cette unité de mesure est la dernière du SI à être définie au moyen d'un étalon matériel fabriqué par l'homme, c'est-à-dire un artefact. Celui-ci est conservé sous trois cloches de verre scellées dont il n'est extrait que pour réaliser des étalonnages (opération qui n'a eu lieu que trois fois depuis sa création).

### **I.6.4 L'ampère**

un ampère est l'intensité d'un courant constant qui, s'il est maintenu dans deux conducteurs linéaires et parallèles, de longueurs infinies, de sections négligeables, et distants d'un mètre dans le vide, produit entre ces deux conducteurs, une force linéaire égale à  $2 \times 10^{-7}$  newton par mètre.

### **I.6.5 Le kelvin**

Le kelvin est la fraction  $1/273,16$  de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

### **I.6.6 La mole**

La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 12 grammes de carbone 12 ; son symbole est (mol).

Une mole d'atomes contient environ  $6,02214040 \times 10^{23}$  atomes. Ce nombre est appelé constante d'Avogadro, son symbole est  $N_A$ .

### **I.6.7 La candela**

La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence  $540 \times 10^{12}$  hertz (correspondant à une longueur d'onde dans le vide de 555 nm) et dont l'intensité énergétique dans cette direction est précisément  $1/683$  watt par stéradian

### I.7 Règles générales d'homogénéité

1. On ne peut sommer ou sous soustraire que les grandeurs qui sont de même nature.
2. On ne peut additionner un vecteur avec un scalaire.
3. L'argument d'un opérateur mathématique est toujours sans dimension ex :  $\cos(xt)$ ,  $\ln(x)$ ,  $e^{\frac{t}{\tau}}$
4. L'égalité entre deux formules physique implique l'égalité scalaire ou vectorielle ainsi que l'égalité des dimensions.

### I.8 Equation aux dimensions

On appelle *équation aux dimensions* l'écriture de la dimension d'une grandeur physique en fonction des sept dimensions de base définies précédemment.

La dimension de la grandeur X est notée [X].

Si cette grandeur est une longueur, on notera :

$$[X] = L$$

Si cette grandeur est une masse, on notera :

$$[X] = M$$

Si c'est le temps, on notera :

$$[X] = T$$

Pour une constante sans dimension c, on notera :

$$[c] = 1$$

Autres exemples :

$$[\text{Vitesse}] = \frac{[\text{Longueur}]}{[\text{Temps}]} = LT^{-1}$$

Les notations des grandeurs dans les équations aux dimensions sont toutes données dans le tableau des unités de base dans le SI.

**Application : déduire l'équation aux dimensions des unités dérivées données au tableau précédent.**

**NB : Les angles sont des grandeurs sans dimension.**

## Grandeurs dérivées du système international

### Espace

Grandeur	Dimension	Nom	Symbole	Autres unités légales
Longueur	L	mètre	m	mille marin = 1852 m
Nombre d'onde	L <sup>-1</sup>		m <sup>-1</sup>	
Aire	L <sup>2</sup>	mètre carré	m <sup>2</sup>	are (a) = 100 m <sup>2</sup> hectare (ha) = 10 000 m <sup>2</sup>
Volume	L <sup>3</sup>	mètre cube	m <sup>3</sup>	litre (l) = 1 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
Angle plan		radian	rad	tour (tr) = 2π rad degré (°) = π/180 rad minute (') = π/10 800 rad seconde (") = π/648 000 rad grade = π/200 rad

### Masse

Grandeur	Dimension	Nom	Symbole	Autres unités légales
Masse	M	kilogramme	kg	gramme (g) = 10 <sup>-3</sup> kg tonne (t) = 10 <sup>3</sup> kg
Masse volumique	M.L <sup>-3</sup>	kilogramme par mètre cube	kg.m <sup>-3</sup>	

### Temps

Grandeur	Dimension	Nom	Symbole	Autres unités légales
Temps	T	seconde	s	minute (min) = 60 s heure (h) = 3600 s jour (d) = 86400 s
Fréquence	T <sup>-1</sup>	hertz	Hz	

### Quantité de matière

Grandeur	Dimension	Nom	Symbole	Autres unités légales
Quantité de matière	N	mole	mol	

## Mécanique

Grandeur	Dimension	Nom	Symbole	Autres unités légales
Vitesse	$LT^{-1}$	mètre par seconde	m/s	kilomètre par heure (km/h) nœud (mille par heure)
Accélération	$LT^{-2}$	mètre par seconde carrée	$m/s^2$ $ms^{-2}$	
Force	$MLT^{-2}$	newton	N	
Moment de force	$ML^2T^{-2}$	newton-mètre	N.m	
Tension superficielle	$MT^{-2}$	newton par mètre	N/m	
Travail Energie	$ML^2T^{-2}$	joule	J	wattheure (Wh) = $3,610^3$ J kilowattheure (kWh) = $3,610^6$ J
Puissance	$ML^2T^{-3}$	watt	W	
Pression	$ML^{-1}T^{-2}$	pascal	Pa	bar (bar) = $10^5$ Pa
Moment d'inertie	$ML^2$	kilogramme-mètre carré	$kg.m^2$	
Quantité de mouvement	$MLT^{-1}$	newton-seconde	N.s	
Viscosité dynamique	$ML^{-1}T^{-1}$	pascal-seconde	Pa.s	
Viscosité cinématique	$L^2T^{-1}$	mètre carré par seconde	$m^2/s$	



## Électricité

Grandeur	Dimension	Nom	Symbole	Autres unités légales
Courant électrique	I	ampère	A	
Force électromotrice, différence de potentiel	$ML^2T^{-3}I^{-1}$	volt	V	
Quantité d'électricité	TI	coulomb	C	ampère-heure = 3600 C
Résistance, Impédance	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	ohm	$\Omega$	
Conductance	$M^{-1}L^{-2}T^3I^2$	siemens	S	
Capacité électrique	$M^{-1}L^{-2}T^4I^2$	farad	F	
Inductance électrique	$ML^2T^{-2}I^{-2}$	henry	H	
Induction magnétique	$MT^{-2}I^{-2}$	tesla	T	
Flux d'induction magnétique	$ML^2T^{-2}I^{-1}$	weber	Wb	
Intensité de champ magnétique	$L^{-1}I$	ampère par mètre	A/m	
Puissance apparente	$ML^2T^{-3}$	voltampère	VA	
Puissance réactive	$ML^2T^{-3}$	voltampère réactif	var	

## Chaleur

Grandeur	Dimension	Nom	Symbole	Autres unités légales
Température thermodynamique	$\Theta$	kelvin	K	degré Celsius $^{\circ}C$
Capacité thermique	$ML^2T^{-2}\Theta^{-1}$	joule/kelvin	J/K	
Conductivité thermique	$MLT^{-3}\Theta^{-1}$	watt par mètre-kelvin	W/(m.K)	
Convection thermique	$MT^{-3}\Theta^{-1}$	watt par mètre carré-kelvin	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Intensité acoustique	$MT^{-3}$	watt par mètre carré	W/m <sup>2</sup>	

## Photométrie

Grandeur	Dimension	Nom	Symbole	Autres unités légales
Intensité lumineuse	J	candela	cd	
Flux lumineux	$J\Omega$	lumen (cd/sr)	lm	
Eclairement lumineux	$L^{-2}J\Omega$	lux (lm/m <sup>2</sup> )	lx	
Luminance	$L^{-2}J$	candela par mètre carré	cd/m <sup>2</sup>	
Vergence	$L^{-1}$	dioptrie	$\delta$	

## Tableau des préfixes

Nom	Symbole	Facteur	Nom	Symbole	Facteur
yotta	Y	$10^{24}$	déci	d	$10^{-1}$
zetta	Z	$10^{21}$	centi	c	$10^{-2}$
exa	E	$10^{18}$	milli	m	$10^{-3}$
peta	P	$10^{15}$	micro	$\mu$	$10^{-6}$
tera	T	$10^{12}$	nano	n	$10^{-9}$
giga	G	$10^9$	pico	p	$10^{-12}$
méga	M	$10^6$	femto	f	$10^{-15}$
kilo	k	$10^3$	atto	a	$10^{-18}$
hecto	h	$10^2$	zepto	z	$10^{-21}$
déca	da	10	yocto	y	$10^{-24}$

# Constantes de la physique

Constante	Valeur	Unité	Précision
Avagadro L	$6,022\ 141\ 79 \cdot 10^{23}$	$\text{mol}^{-1}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Boltzman k	$1,380\ 650\ 4 \cdot 10^{-23}$	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
$\epsilon_0$	$8,854\ 187\ 817 \cdot 10^{-12}$	$\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$	Exact
Masse électron $m_e$	$9,109\ 382\ 15 \cdot 10^{-31}$	kg	$5 \cdot 10^{-8}$
Masse du proton	$1,672\ 621\ 637 \cdot 10^{-27}$	kg	$5 \cdot 10^{-8}$
Charge élémentaire e	$1,602\ 1764\ 87 \cdot 10^{-19}$	C	$2,5 \cdot 10^{-8}$
$\mu_0$	$4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$	$\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$	Exact
Gravitation G	$6,674\ 28 \cdot 10^{-11}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Planck h	$6,626\ 068\ 96 \cdot 10^{-34}$	J.s	$5 \cdot 10^{-8}$
Rydberg R	10 973 731,568	$\text{m}^{-1}$	$6 \cdot 10^{-12}$
Vitesse de la lumière dans le vide c	299 792 458	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	Exact
Stefan-Boltzman $\sigma$	$5,670\ 400 \cdot 10^{-8}$	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-4}$	$7 \cdot 10^{-6}$
Constante des gaz R	8,314 472	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$