1. Grandeurs et unités physiques

a. Définition

Le mot *physique* à pour origine physis signifiant NATURE. La physique étudie les lois des phénomènes matériels (ou naturels) du monde qui nous entoure. Tout les processus naturels observés dans la nature obéissent à des lois bien déterminées. Comme toute autre science, la physique a pour objectif essentiel la découverte et l'étude de ces lois. Donc, les lois de mouvement, d'interaction entre les corps, des phénomènes de l'électromagnétisme, … etc appartiennent au domaine de la physique (la pluie, le vent, …etc).

Les sciences physiques jouent un rôle très important en biologie, en médecine puisque les phénomènes comme la montée de la sève dans les végétaux, l'ouïe, la vue, la tension artérielle, …etc sont des problèmes qui ne peuvent être expliqués sans les lois de la physique.

La physique est une science exacte où les lois sont exprimées par des formules mathématiques. Pour décrire ces lois, la physique fait appel aux *notions* de grandeurs physiques. Chacune d'elles doit être bien définie et nous devons savoir la mesurer. Il existe deux types de grandeurs :

- Scalaires : comme la masse, le temps, la longueur, …etc ;
- Vectorielles : qui sont caractérisées par une direction, un sens, un module et un point d'application. Par exemple, la force, la vitesse, … etc.

b. Grandeurs fondamentales et grandeurs dérivées

La mesure de certaines grandeurs physiques exige l'utilisation d'*étalons* préalablement choisis, par exemple, pour mesurer les distances, il faut être en possession d'un étalon de longueur qui est le mètre, pour mesurer le temps, il faut avoir une horloge étalon synchronisée avec la rotation de la terre autour de son axe.

Les étalons de grandeurs physiques ne doivent pas varier au cours du temps ou pendant la mesure. Ils sont conservés dans les conditions stationnaires au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). Pour les mesures ordinaires, on se sert des copies fideles de ces étalons. Les grandeurs pour la mesure desquelles on a choisi des étalons sont dites *grandeurs fondamentales*. Le nombre de ces grandeurs fondamentales doit être minimum car il est très difficile de contrôler et d'assurer l'invariabilité des étalons dans le temps. Le reste des grandeurs dont la mesure ramène à celle des grandeurs fondamentales sont dites *grandeurs dérivées*. Les grandeurs fondamentales doivent être indépendantes entre elles. Par exemple, la longueur et la masse sont indépendantes mais la longueur et la vitesse ne le sont pas puisque la vitesse dépond de la longueur.

c. Système international d'unités (SI)

L'ensemble des définitions, des méthodes de mesure et des unités des grandeurs fondamentales constitue ce qu'on appelle un système d'unités. Il existe plusieurs systèmes d'unités mais le plus usuel est le système international (SI) où les grandeurs fondamentales sont :

Grandeur	Symbole	Unité
Longueur	L	Mètre (m)
Masse	M	Kilogramme (Kg)
Temps	T	Seconde (S)
Intensité de courant électrique	I	Ampère (A)
Température thermodynamique	θ	Kelvin (K)
Quantité de matière	μ ou N	Mole (mol)
Intensité lumineuse	J	Candela (cd)

Plus deux autres grandeurs supplémentaires :

Angle plan	α	Radian (rd)
Angle solide	Ω	Stéradian (sr)

Par souci de commodité, certaines unités dérivées ont reçu un nom spécial et un symbole particulier. Ces noms et symboles peuvent eux-mêmes être utilises pour exprimer d'autres unités dérivées. Les noms spéciaux et les symboles particuliers permettent d'exprimer, sous une forme condensée, des unités fréquemment utilisées.

Le tableau suivant donne des unités dérivées fréquemment utilisées en physique et qui ont un nom spécifique :

Grandeur dérivée	Unité	SI
Fréquence	Hertz (Hz)	S^{-1}
Force	Newton (N)	$m.Kg.S^{-2}$
Pression	Pascal (Pa (=N.m^{-2}))	$m^{-1}.Kg.S^{-2}$
Différence de potentiel électrique	Volt (V (=W.A^{-1}))	$m^{2}.kg.S^{-3}.A^{-1}$

Enfin voici quelques exemples d'unités dérivées mais qui n'ont pas reçu de nom spécifique :

Grandeur dérivée	Unité	SI
Viscosité	Pascal. Seconde (Pa.S)	$m^{-1}.Kg.S^{-1}$
Tension superficielle	Newton par mètre (N/m)	$Kg.S^{-2}$
Champ électrique	Volt par mètre (V/m)	$m.Kg.S^{-3}.A^{-1}$

Enfin il existe aussi des unités en dehors du SI dont la valeur en unité SI est obtenue expérimentalement comme par exemple :

Nom	Symbole	Valeur en unités SI
Electronvolt	eV	1 eV = 1,06021773349.10-19 J
Unité de masse atomique	u	1 u = 1,660540210.10-27 Kg
Unité astronomique	ua	1 ua = 1,4959787069130.1011 m

Pour en finir avec les conventions, des préfixes des multiples et sous-multiples décimaux des unités SI ont été définis :

Facteur	Préfixe	Symbole	Facteur	Préfixe	Facteur
10^{24}	Yotta	Y	10^{-1}	Déci	d
10^{21}	Zetta	Z	10^{-2}	Centi	c
10^{18}	Exa	E	10^{-3}	Milli	m
10^{15}	Peta	P	10^{-6}	Micro	µ
10^{12}	Téra	T	10^{-9}	Nano	n
10^{9}	Giga	G	10^{-12}	Pico	p
10^{6}	Méga	M	10^{-15}	Femto	f
10^{3}	Kilo	K	10^{-18}	Atto	a
10^{2}	Hécto	h	10^{-21}	Zepto	z
10^{1}	Déca	da	10^{-24}	yocto	y

d. Analyse dimensionnelle

Dans le système international réduit Mètre Kilogramme Seconde Ampère n'importe quelle grandeur dérivée **G** peut être exprimée en fonction des grandeurs fondamentales (Longueur, Masse, Temps, Intensité de courant,…) selon l'expression :

$$[G] = L^a \,.\, M^b \,.\, T^c \,.\, I^d \,.\, \theta^e \,.\, \mu^f \,.\, J^j$$

Avec : a, b, c et d sont des nombres réels. L'expression $[G] = L_a \,.\, M^b \,.\, T^c \,.\, I^d$ est l'*équation aux dimensions* de la grandeur G.

Exemples :

- La vitesse = longueur / temps => [v] = $L^1.T^{-1}$
- L'accélération : $\gamma = \frac{v}{t} = \frac{x}{t^2} \Rightarrow [\gamma] = L.\ T\text{-}2$
- La pression : $\left.\begin{array}{l} P = \frac{F}{S} \\ F = m\gamma \end{array}\right\} \Rightarrow P = \frac{m\gamma}{S} \Rightarrow [P] = M.\ L.\ T^{-2}.\ L^{-2} = M.\ L^{-1}.\ T^{-2}$

L'analyse dimensionnelle va nous permettre de retrouver facilement les formules physiques et d'éviter les erreurs dues aux unités puisque toutes les relations entre les grandeurs physiques sont homogènes de point de vue dimensions.

e. Homogénéité d'un résultat

Par souci de clarté, on doit conduire tous les calculs sous forme littérale en conservant les symboles des différentes grandeurs physiques. On ne réalise d'application numérique que lorsque le calcul littéral est terminé. Ceci permet de juger l'homogénéité d'une formule.

Il faut en effet se rappeler le principe suivant :

Tout résultat non homogène est nécessairement faux

Par contre, un résultat homogène n'est pas forcement le bon.

Exemples :

1. Comme chacun sait, Einstein a trouvé que l'énergie $E = m.c^2$ et on va vérifier l'homogénéité de cette équation d'Einstein :

On a :

- $[E] = M.\ L^2.\ T^{-2}$
- $[mc^2] = [m]\ .\ [c^2] = M.\ L^2.\ T^{-2}$

On peut dire l'équation d'Einstein est homogène du point de vue analyse dimensionnelle.

2. Vérification de l'homogénéité de l'équation $E = 4\ mc^2$, On a :
   - $[E] = M.\ L^2.\ T^{-2}$
   - $[4mc^2] = [m]\ .\ [c^2] = M.\ L^2.\ T^{-2}$

On peut dire l'équation précédente est homogène du point de vue analyse dimensionnelle. Un résultat bon mais avec une équation fausse.

Règles d'homogénéité

- On ne peut additionner que des termes homogènes ;
- L'argument d'une fonction mathématique transcendante (exp, ln, cos, sin, tan. . .) est nécessairement sans dimension ;
- On doit éviter de remplacer le symbole d'une grandeur par sa valeur numérique ;
- Un vecteur ne peut être ajouté qu'à un vecteur et non à un scalaire.

f. Changement de systèmes de grandeurs

Pour écrire l'équation aux dimensions d'une grandeur donnée G dans un système de grandeurs fondamentales quelconques différent du SI, on procède comme suit :

- Ecrire l'équation aux dimensions de la grandeur G dans le SI et dans le nouveau système avec des exposants inconnus ;
- Ecrire les équations aux dimensions de toutes les grandeurs du nouveau système dans le SI ;
- Déterminer les inconnus par l'analyse dimensionnelle en respectant l'homogénéité des expressions ;
- Ecrire l'équation aux dimensions de G dans le nouveau système d'unités.

Exemple :

Supposons que l'on prenne pour grandeurs fondamentales la force (F), la masse volumique (ρ) et la fréquence (N). Ecrire les équations aux dimensions de la longueur dans le système : FρN ?

1. $L = F^{\alpha}.\ \rho^{\beta}.\ N^{\gamma}$
2. $[F] = M.\ L.\ T^{-2}$; $[\rho] = M.\ L^{-3}$ et $[N] = T^{-1}$
3. $L = (M.\ L.\ T^{-2})^{\alpha}\ .\ (M.\ L^{-3})^{\beta}\ .\ (T^{-1})^{\gamma} = M^{\alpha+\beta}\ .\ L^{\alpha-3\beta}\ .\ T^{-2\alpha-\gamma}$
   $$\left.\begin{array}{l}\alpha+\beta=0\\ \alpha-3\beta=1\\ -2\alpha-\gamma=0\end{array}\right\}\Rightarrow\left\{\begin{array}{l}\alpha=1/4\\ \beta=-1/4\\ \gamma=-1/2\end{array}\right.$$
4. $L = F^{1/4}.\ \rho^{-1/4}.\ N^{-1/2}$