

# Contents

<b>Dimensions et unités</b>	<b>1</b>
Définitions . . . . .	1
Unités du système international (SI) . . . . .	1
Opérations mathématiques sur les grandeurs dimensionnées . . . . .	2
Présentation d'un résultat numérique . . . . .	2
Calcul numérique et calcul littéral . . . . .	2
Ordres de grandeur et chiffres significatifs . . . . .	2
Analyse dimensionnelle comme outil de prédiction . . . . .	3
Principe . . . . .	3
Applications . . . . .	3
Limitations . . . . .	4
Formules de base pour l'analyse dimensionnelle . . . . .	4
Mécanique . . . . .	4
Électricité . . . . .	4
Ondes . . . . .	4
Autres . . . . .	4

## Dimensions et unités

### Définitions

Deux grandeurs physiques ont la même dimension si elles peuvent être comparées entre elles, ont dit alors qu'elles sont homogènes. Les grandeurs sont notées entre  $[]$ .

L'unité est une grandeur de référence qui se trouve après la valeur numérique. Ne pas se tromper avec les degrés et radians, qui sont des rapports, pas des unités, et n'ont ainsi pas d'unités.

Une formule physique doit nécessairement être homogène, et les deux membres de l'égalité doivent être de même dimension

### Unités du système international (SI)

7 dimensions de base, associées à 7 unités de base

Dimension	Symbole	Unité
Temps	T	Seconde (s)
Longueur	L	Metre (m)
Masse	M	Kilogramme (kg)
Température	$\theta$	Kelvin (K)
Quantité de matière	N	Mole (mol)
Intensité électrique	I	Ampère (A)
Intensité lumineuse	J	Candela (cd)

La dimension de toute grandeur physique est un produit de ces 7 dimensions fondamentales avec éventuellement des coefficients en puissance.

L'écriture de la dimension d'une grandeur physique se fait en fonction des 7 grandeurs de base du système international

On appelle l'étude d'une relation physique en termes de dimensions "analyse dimensionnelle"

**Exemple :**  $E = mc^2$  donne  $[E] = [m][c]^2$ , qui donne la dimension

$M L^2 T^{-2}$ , soit les unités  $kg \cdot m^2 s^{-2}$

- Puissance,  $E = P \Delta T \rightarrow M L^2 T^{-2} = [P] T$ , donc  $[P] = M L^2 T^{-3}$

- Résistance,  $P = RI^2$  a une unité de  $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{A}^{-2}$

## Opérations mathématiques sur les grandeurs dimensionnées

### Somme et différence

Tous les termes d'une somme ou d'une différence sont de même dimension; le résultat aussi

### Produit et quotient

On peut multiplier ou diviser des grandeurs de n'importe quelle dimension. La dimension d'un produit est le produit des dimensions, la dimension d'un quotient est le quotient des dimensions

### Dérivation

$$\left[ \frac{dY}{dX} \right] = \frac{Y}{X}$$

**Exemple : Force,  $F = ma$  est de dimension  $\left[ \frac{dv}{dt} \right] = \frac{LT^{-1}}{T}$**

### Intégration

Pour deux grandeurs Y et X,  $\left[ \int Y(x) dx \right] = [Y][x]$

### Fonctions transcendantes

En physique, une "fonction transcendante" englobe les exponentielles et logarithmes, ainsi que toutes les fonctions trigonométriques

L'argument d'une fonction transcendante est sans dimension; Une fonction transcendante est sans dimension

**Exemple : Décharge d'un condensateur :  $U = E e^{-\frac{t}{\tau}}$ ,  $\tau =$**

## Présentation d'un résultat numérique

### Calcul numérique et calcul littéral

Commandement 1 : Tous les calculs sont d'abord effectués de façon littérale, ce qui signifie que les seuls nombres qui apparaissent doivent être sans dimensions et que les grandeurs qui apparaissent sont représentées par leur symbole (une lettre)

### Ordres de grandeur et chiffres significatifs

Soit un résultat numérique correspondant au chiffre compté à partir du premier chiffre non nul en partant de la gauche, sans indication autre, le nombre de chiffres significatifs d'un résultat numérique doit correspondre à celui de la grandeur possédant le plus petit nombre de chiffres significatifs.

Commandement 2 : Un résultat numérique sera systématiquement écrit en écriture scientifique en respectant le nombre de chiffres significatifs et en indiquant impérativement unité, si le résultat est dimensionné.

L'ordre de grandeur d'un résultat numérique correspond à la puissance de 10 la plus proche de la valeur numérique dans une unité donnée.

**Exemple : Pour C (vitesse de la lumière)  $\approx 2.99792458 \times 10^8$ ,**

l'ordre de grandeur est  $10^8$ .

# Analyse dimensionnelle comme outil de prédiction

## Principe

Les grandeurs sont dites dimensionnellement indépendantes si on ne peut pas construire de grandeur sans dimension à partir du produit de ces dernières ou portant au moins un exposant au milieu

Si une grandeur  $X$  est susceptible de dépendre d'un certain nombre de grandeurs dimensionnées  $A$ ,  $B$ ,  $C$  et  $D$ , caractéristiques du problème et dimensionnellement indépendantes, alors  $X$  peut se mettre sous la forme  $X = k A^{\alpha} B^{\beta} C^{\gamma} D^{\delta}$

## Applications

Méthode :

1. Déterminer la grandeur recherchée ( $X$  par exemple), ainsi que sa dimension en fonction de dimensions de base (voir plus haut)
2. Lister les grandeurs caractéristiques
3. "On suppose que  $X$  peut s'écrire sous la forme  $X = k A^{\alpha} B^{\beta} C^{\gamma} D^{\delta}$ "
4. Utiliser l'équation de dimension pour obtenir un système pour  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\delta$ , puis le résoudre
5. Conclure et déterminer  $k$

### Exemple : Vitesse dans une chute verticale (formule $v = \sqrt{2gh}$ )

1. On cherche la vitesse  $v$  du corps (c'est une vitesse), de dimension  $L T^{-1}$
2.  $g$  (attraction gravitationnelle) (dimensions d'une accélération, donc  $L \cdot T^{-2}$ ) et la hauteur de laquelle on lâche l'objet (dimension  $L$ ), ainsi que sa masse (dimension  $M$ )
3. On suppose que  $v$  va s'écrire  $v = k h^{\alpha} m^{\beta} g^{\gamma}$ , de dimension  $v = k L^{\alpha} M^{\beta} L^{\gamma} T^{-2\gamma}$
4. On obtient le système  $\begin{cases} 1 = \alpha + \gamma \\ 0 = \beta - 1 = -2\gamma \end{cases}$ , qui se résout par  $\begin{cases} \alpha = \frac{1}{2} \\ \gamma = \frac{1}{2} \\ \beta = 0 \end{cases}$
5. Ainsi,  $v = k \sqrt{gh}$  avec  $k = \sqrt{2}$

### Exemple : Période d'un pendule simple (formule $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ )

1. On cherche la période  $T$ , de dimension  $T$
2.  $g$  (attraction gravitationnelle) (dimensions d'une accélération, donc  $L \cdot T^{-2}$ ) et la longueur du fil (dimension  $L$ ), ainsi que sa masse (dimension  $M$ )
3. On suppose que  $T$  va s'écrire  $T = k l^{\alpha} m^{\beta} g^{\gamma}$ , de dimension  $T = k L^{\alpha} M^{\beta} L^{\gamma} T^{-2\gamma}$
4. On obtient le système  $\begin{cases} \alpha = 0 \\ \beta + \gamma = 0 \\ -2\gamma = 1 \end{cases}$
5. Ainsi,  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

### Exemple : vitesse d'un satellite (formule $v = \sqrt{\frac{GM_s}{R}}$ )

1. On cherche la vitesse  $v$ , de dimension  $L \cdot T^{-1}$
2. On considère les grandeurs suivantes : masse de la planète  $M_s$  (dimension  $M$ ), rayon de l'orbite  $R$  (dimension  $L$ ), et la constante de gravitation universelle  $G$  (de dimension  $M^{-1} L^3 T^{-2}$ ) (voir formule d'attraction gravitationnelle, dont le résultat en  $N$  est de dimension  $M L T^{-2}$ )
3. On suppose qu'on a ainsi  $v = k M_s^{\alpha} R^{\beta} G^{\gamma}$ , de dimension  $L T^{-1} = k M^{\alpha} L^{\beta} M^{-\gamma} L^{3\gamma} T^{-2\gamma}$
4. On obtient le système suivant :  $\begin{cases} 0 = \alpha - \gamma \\ 1 = \beta + 3\gamma \\ -1 = -2\gamma \end{cases}$   $\begin{cases} \alpha = \frac{1}{2} \\ \beta = \frac{1}{2} \\ \gamma = \frac{1}{2} \end{cases}$
5. On a donc  $v = k \sqrt{\frac{GM_s}{R}}$ , avec  $k = 1$

**Exemple : Rayon cyclotron (formule :  $R = \frac{m_e v_0}{e B_0}$  )**

1. On cherche le rayon R de rotation de l'électron, de dimension L
2. On considère la charge de l'électron e (en coulons, soit une dimension de IT), la masse  $m_e$  de l'électron (dimension M), la vitesse de l'électron  $v_0$  (de dimension  $L \cdot T^{-1}$ ), et le champ magnétique  $B_0$ , de dimension  $M T^{-2} I^{-1}$
3. On suppose qu'on peut écrire  $R = k e^{\alpha} m_e^{\beta} v_0^{\gamma} B_0^{\delta}$ , de dimension  $L = k I^{\alpha} T^{\alpha} M^{\beta} L^{\gamma} T^{-\gamma} M^{\delta} T^{-2\delta} I^{-\delta}$
4. On obtient le système suivant : 
$$\begin{cases} 0 = \beta + \gamma - 1 = \gamma - 0 = \alpha - \gamma - 2\delta \\ 0 = \alpha - \delta \end{cases}$$
5.  $R = k \frac{m_e v_0}{e B_0}$  avec  $k = 1$

## Limitations

### Oubli de grandeurs caractéristiques

Si on oublie une grandeur caractéristique, l'équation en dimension n'admet généralement pas de solutions

### Grandeur caractéristique sans dimension

Si la valeur X recherchée dépend en outre de d'une grandeur sans dimension x, cette dernière est invisible à l'analyse dimensionnelle.

### Exemple : Dans le cas où une grandeur dépend d'une fonction sans dimension

(comme dans le cas du balancement d'un pendule, celui-ci dépend de l'amplitude angulaire  $f(\theta)$  ).

## Formules de base pour l'analyse dimensionnelle

### Mécanique

Vitesse :  $v = \frac{d}{dt}$  Accélération :  $a = \frac{v}{t}$  Deuxième loi de Newton :  $F = ma$  Poids :  $P = mg$

### Électricité

Force électrostatique :  $F = qE$  Champ électrique :  $E = \frac{U}{d}$  Loi d'ohm :  $U = RI$  Intensité :  $I = \frac{dq}{dt} = \frac{Q}{t}$  Puissance :  $P = UI = RI^2$  Champ électrique :  $E = P \bigtriangleup t$  Condensation :  $q = C U_c$  (C la capacité, une énergie, et  $U_c$  la tension du condensateur) Tension de la bobine :  $U_l = L \frac{di}{dt}$

### Ondes

Fréquence :  $f = \frac{1}{t}$  Longueur d'onde :  $\lambda = cT = \frac{c}{f}$

### Autres

Énergie :  $E = m c^2$