



Cours

CHAPITRE 2

Fondamentaux de physique



CHAPITRE 2

Fondamentaux de physique



Grandeurs physiques, dimensions et unités	1
Analyse dimensionnelle	2
Principales grandeurs physiques utilisées en SI	3
Conversions	4
Repères et référentiels	5
Alphabet grec	6



FONDAMENTAUX EN PHYSIQUE

Grandeurs physiques, dimensions et unités

1 – DEFINITION

On appelle **grandeur physique** toute propriété de la science de la nature qui peut être **quantifiée** par la mesure ou le calcul, et dont les différentes valeurs possibles s'expriment à l'aide d'un nombre. Ce nombre est souvent (mais pas toujours) accompagné d'une **unité de mesure**.

Exemples de grandeurs physiques

Grandeur	vitesse	Tension électrique	énergie	volume	Débit volumique	Débit massique
unité	$m \cdot s^{-1}$	V	J	m^3	$m^3 \cdot s^{-1}$	$kg^3 \cdot s^{-1}$

On remarque par ailleurs que certaines grandeurs physiques sont dites « fondamentales » et d'autres dites « dérivée ». Ex. : la vitesse est une « composition » de distance et de temps, c'est une grandeur dérivée.

2 – GRANDEURS FONDAMENTALES

On montre que la physique toute entière se résume à **7 grandeurs fondamentales** et pas une de plus (en tout cas pour le moment) ; toutes les autres, très nombreuses, sont donc des **grandeurs dérivées**.

	Mécanique			Electrique	Chimique	Optique	Thermodynamique
Grandeur	Longueur	Masse	Temps	Intensité électrique	Quantité de matière	Intensité lumineuse	Température thermodynamique
Nom	L, d, x	m	t	I	Q, q, C	μ	T, t
Dimension	L	M	T	I	N	J	Θ
Unité (MKS)	<i>m</i>	<i>kg</i>	<i>s</i>	<i>A</i>	<i>mol</i>	<i>Cd</i>	<i>K</i>

Chaque grandeur fondamentale possède une définition bien précise (voir Internet pour aller plus loin).

3 – SYSTEMES D'UNITES

Ils sont nombreux. Parmi tous, il en est un dit légal, c'est le **Système International d'unités**, « SI », appelé aussi « **MKS** » : M pour « mètre », K pour « kilogramme » et S pour « seconde ».

4 – UNITES PRATIQUES

Selon le contexte, il est parfois et même souvent utile d'exprimer une grandeur dans une autre unité que celle qui est légale. Par exemple, on rencontre l'angström en physique atomique ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$), le bar, unité de pression ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$), Le litre pour un volume ($1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3$), la tonne pour une masse ($1 \text{ T} = 10^3 \text{ kg}$), etc.

Dans les calculs, il est conseillé de travailler avec les unités légales ou alors d'être très prudent. Par exemple, travailler avec des pressions en MPa (plutôt qu'en Pa) implique de prendre les distances en mm (plutôt qu'en m).



1 – GRANDEURS FONDAMENTALES ET UNITES

On rappelle que la physique toute entière repose sur **sept grandeurs fondamentales** : L, M, T, I, N, J et Θ . Chacune d'elle possède une **unité** dans le système international **MKS**.

2 – EQUATIONS AUX DIMENSIONS

Toute grandeur physique q est nécessairement une combinaison de ces sept grandeurs fondamentales :

$$[q] = L^\alpha \cdot M^\beta \cdot T^\chi \cdot I^\delta \cdot N^\varepsilon \cdot J^\phi \cdot \Theta^\chi$$

Il est ainsi possible d'écrire l'équation d'une grandeur au travers des dimensions des grandeurs fondamentales dont elle dépend :

Grandeur	Exemples de formule	Equation aux dimensions
Surface	$S_1 = a \cdot b$ $S_2 = \pi \cdot r^2$	$[S_1] = L \cdot L = L^2$ $[S_2] = (L)^2 = L^2$
Vitesse	$v = \frac{d}{t}$	$[v] = \frac{L}{T} = L \cdot T^{-1}$
Accélération	$a = \frac{v}{t}$	$[a] = \frac{L \cdot T^{-1}}{T} = L \cdot T^{-1} \cdot T^{-1} = L \cdot T^{-2}$
Force	$F = m \cdot a$	$[F] = M \cdot L \cdot T^{-2}$
Pression	$p = \frac{F}{S}$	$[p] = \frac{M \cdot L \cdot T^{-2}}{L^2} = M \cdot L \cdot T^{-2} \cdot L^{-2} = M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$
Energie, travail	$E_1 = m \cdot g \cdot h$ $E_2 = \frac{1}{2} m \cdot v^2$	$[E_1] = M \cdot L \cdot T^{-2} \cdot L = M \cdot L^2 \cdot T^{-2}$ $[E_2] = M \cdot (L \cdot T^{-1})^2 = M \cdot L \cdot T^{-1} \cdot L \cdot T^{-1} = M \cdot L^2 \cdot T^{-2}$

3 – UTILITE

* **Recherche d'erreur** : Les équations ou formules doivent être **homogènes** : chaque membre (et chaque terme) d'une équation doit avoir la **même dimension physique**. La **vérification de l'homogénéité** d'une formule ou d'un résultat de calcul doit être un réflexe en physique : c'est un moyen efficace pour éliminer les erreurs de calcul et éviter les non-sens.

* **Recherche d'unité** : l'attraction universelle (loi de Newton) s'écrit : $F = G \cdot \frac{m \cdot m'}{d^2} \Leftrightarrow G = \frac{F \cdot d^2}{m \cdot m'}$.

L'homogénéité impose que la dimension du membre de gauche, soit égale à celle du membre de droite d'où la dimension de la constante gravitationnelle G : $[G] = M^{-1} \cdot L^3 \cdot T^{-2}$ puis son unité et sa valeur dans le système MKS : $G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.



Grandeurs	Symboles	Unités légales (MKS)		Principales unités secondaires rencontrées
Grandeurs géométriques				
Longueur / position	l, d, λ	Mètre	m	mm cm Å
Aire	S, s	Mètre carré	m^2	mm^2 cm^2
Volume	V, v	Mètre cube	m^3	l
Angle plan	α, β, φ	radian	rad	deg
Grandeurs mécaniques				
Temps, durée	t	Seconde	s	μs ms min h
Vitesse linéaire	V, v	Mètre par seconde	$m \cdot s^{-1}$	$mm \cdot s^{-1}$ $mm \cdot min^{-1}$ $km \cdot h^{-1}$
Vitesse angulaire	ω	Radian par seconde	$rad \cdot s^{-1}$	$tr \cdot s^{-1}$ $tr \cdot min^{-1}$ $deg \cdot s^{-1}$ $deg \cdot min^{-1}$
Fréquence	f	Hertz	Hz	kHz MHz GHz
Accélération linéaire	a	Mètre par seconde carré	$m \cdot s^{-2}$	$mm \cdot s^{-2}$ g
Accélération angulaire	α	Radian par seconde carré	$rad \cdot s^{-2}$	
Masse	M, m	Kilogramme	kg	T
Masse volumique	ρ	Kilogramme par mètre cube	$kg \cdot m^{-3}$	$g \cdot l^{-1}$
Débit volumique	Q, Q_v	Mètre cube par seconde	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot min^{-1}$ $l \cdot min^{-1}$ $l \cdot h^{-1}$ $l \cdot s^{-1}$

Grandeurs	Symboles	Unités légales (MKS)		Principales unités secondaires rencontrées
Grandeurs mécaniques (suite)				
Force	F	Newton	N	mN daN kN
Couple	C, M	Newton mètre	$N \cdot m$	$daN \cdot m$ $N \cdot mm$
Pression, contrainte	P, p, σ, τ	Pascal	Pa	MPa GPa bar
Raideur d'un ressort	k	Newton par mètre	$N \cdot m^{-1}$	$N \cdot mm^{-1}$
Grandeurs thermiques				
Température	T, θ	Kelvin	K	$^{\circ}C$ $^{\circ}F$
Grandeurs électriques et magnétiques				
Quantité d'électricité (ou charge électrique)	Q	Coulomb	C	$A \cdot h$
Tension	U, V	Volt	V	mV kV
Intensité	i, I	Ampère	A	mA
Résistance	R	Ohm	Ω	$k\Omega$
Conductance	G	Siemens	S	
Champ électrique	E	Volt par mètre	$V \cdot m^{-1}$	
Champ magnétique	B	Tesla	T	
Capacité	C	Farad	F	μF pF
Inductance	L	Henry	H	mH
Grandeurs énergétiques				
Energie, Travail	E, W	Joule	J	MJ cal Cal $W \cdot h$ $kW \cdot h$ $W \cdot s$
Puissance	P	Watt	W	mW MW GW Cv
Rendement	η	-	-	-




1 – MULTIPLES ET SOUS-MULTIPLES

multiples de l'unité			sous-multiples de l'unité		
préfixe	symbole	valeur	préfixe	symbole	valeur
déca	da	10	déci	d	10 ⁻¹
hecto	h	10 ²	centi	c	10 ⁻²
kilo	k	10 ³	milli	m	10 ⁻³
méga	M	10 ⁶	micro	μ	10 ⁻⁶
giga	G	10 ⁹	nano	n	10 ⁻⁹
téra	T	10 ¹²	pico	p	10 ⁻¹²
péta	P	10 ¹⁵	femto	f	10 ⁻¹⁵
exa	E	10 ¹⁸	atto	a	10 ⁻¹⁸

Exemples : $1 \text{ dam} \equiv 10 \text{ m}$ $150 \text{ daN} \equiv 1500 \text{ N}$ $47 \text{ } \mu\text{F} \equiv 4,7 \cdot 10^{-5} \text{ F}$

2 – CONVERSIONS « UNITES PRATIQUES ↔ UNITES LEGALES »

* **Temps :** $1 \text{ min} \equiv 60 \text{ s}$ $1 \text{ h} \equiv 60 \text{ min} \equiv 3600 \text{ s}$ $1 \text{ j} \equiv 24 \text{ h} \equiv 1440 \text{ min} \equiv 68400 \text{ s}$

 **Jour sidéral :** durée que met une planète pour faire un tour sur elle-même (par rapport au point vernal).
Le jour sidéral terrestre dure 23 h 56 min 4,1 s.

* **Vitesse linéaire :** $v \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})} \equiv \frac{V \text{ (km}\cdot\text{h}^{-1})}{3,6}$ $V \text{ (km}\cdot\text{h}^{-1})} \equiv 3,6 \times v \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})$

* **Vitesse angulaire :** $\omega \text{ (rad}\cdot\text{s}^{-1})} \equiv \frac{2\pi \cdot N \text{ (tr}\cdot\text{min}^{-1})}{60}$ $\omega \text{ (rad}\cdot\text{s}^{-1})} \equiv 2\pi \cdot n \text{ (tr}\cdot\text{s}^{-1})$

* **Masse :** $1 \text{ T} \equiv 1000 \text{ kg}$

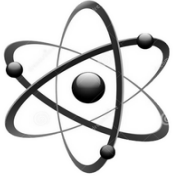
* **Volume :** $1 \text{ m}^3 \equiv 1000 \text{ l}$ $1 \text{ l} \equiv \frac{1}{1000} \text{ m}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$

* **Pression :** $1 \text{ bar} \equiv 10^5 \text{ Pa}$ $1 \text{ MPa} \equiv 10^6 \text{ Pa}$ $1 \text{ bar} \equiv 0,1 \text{ MPa}$

* **Température :** $T \text{ (}^\circ\text{C)} \equiv T \text{ (K)} + 273,16$ $T \text{ (}^\circ\text{F)} \equiv 1,8 \cdot T \text{ (}^\circ\text{C)} + 32$

* **Energie :** $1 \text{ W} \cdot \text{h} \equiv 3600 \text{ J}$ $1 \text{ J} \equiv 2,78 \cdot 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{h}$
 $1 \text{ cal} \equiv 4,18 \text{ J}$ $1 \text{ Cal} \equiv 1000 \text{ cal} \equiv 1 \text{ kcal}$

cal = petite calorie et *Cal* = grande calorie – vieilles unités utilisées aujourd’hui en diététique.



1 – NOTION D'ÉVÈNEMENT



On appelle évènement quelque chose qui se déroule en un **lieu** donné de l'espace et à un **moment** donné dans le temps.

Par exemple, un train présent à la gare de Lyon à 13h12 est un évènement.

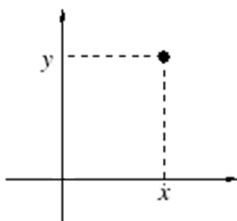
2 – NOTION DE REPERES SPATIAL ET TEMPOREL

Pour être capable de définir dans l'espace et dans le temps la position d'un évènement, et aussi être capable de faire des **mesures**, on utilise des repères. On distingue alors deux positions :

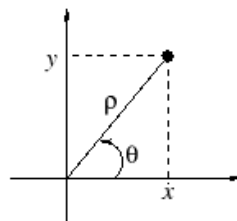
* La **position dans l'espace, ou position géométrique** de l'évènement (*le train est où ?*) ; pour la définir quantitativement, on peut utiliser un système de trois axes* munis de règles graduées ; c'est le **repère spatial**.

** trois axes car nous vivons classiquement dans un espace tridimensionnel.*

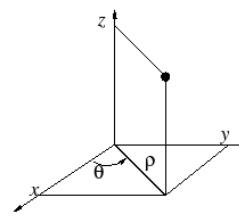
Selon le cas de figure à traiter, le repérage spatial se fera à l'aide de coordonnées « cartésiennes », « polaires », « cylindriques » ou « sphériques » :



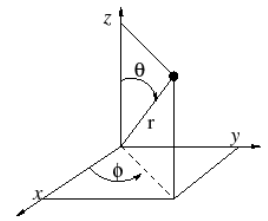
Coordonnées cartésiennes
(x, y, z)



Coordonnées polaires
(ρ, θ)



Coordonnées cylindriques
(ρ, θ, z)



Coordonnées sphériques
(r, θ, ϕ)

* La **position dans le temps, ou position temporelle** (*quand le train est-il à tel endroit ?*) ; pour la définir quantitativement, on utilise une horloge (un chronomètre, une montre, un sablier, ...) ; c'est le **repère temporel**.



3 – NOTION DE REFERENTIEL

On appelle référentiel l'**association d'un repère spatial ET d'un repère temporel** ; parfois, on entend parler de repère « spatio-temporel » ; c'est la même chose.

4 – REFERENTIEL GALILEEN

Préalable sur le temps qui passe...

En mécanique classique le temps est le même pour tous les observateurs, il est donné par des mouvements particuliers ou des processus naturels appelés horloges (oscillation d'un quartz, mouvement de certains astres, désintégration de la matière ...). On parle alors de **Chronologie Galiléenne**.

Définition : Un référentiel est dit « Galiléen » si le PFD y est vérifié avec une bonne approximation pour une étude donnée.

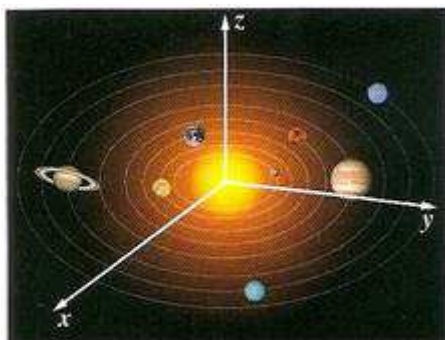
On montre que tout repère spatial \mathfrak{R} en translation rectiligne uniforme par rapport à un repère Galiléen \mathfrak{R}_g est également un repère Galiléen. Le choix d'un repère Galiléen est fonction du problème posé.

* **Référentiel de Copernic** : l'origine est le centre de masse du système solaire et les axes sont dirigés vers des étoiles lointaines considérées comme fixes (à l'échelle de temps de l'expérience).

* **Référentiel héliocentrique** : l'origine est le centre de masse du Soleil et les axes sont dirigés vers des étoiles lointaines considérées comme fixes (à l'échelle de temps de l'expérience).

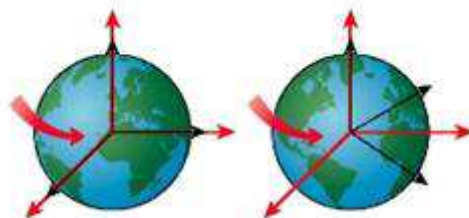
* **Référentiel géocentrique** : l'origine est le centre de masse de la Terre et les axes sont parallèles à ceux du référentiel héliocentrique.

* **Référentiel terrestre** : l'origine est le centre d'inertie de la terre et lui est lié. Ce référentiel n'est galiléen que dans les cas d'études d'évènements ayant lieu sur terre et de « courte durée » (voir le pendule de Foucault).



Référentiel héliocentrique.

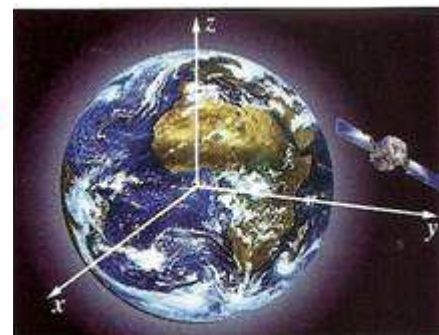
Les axes sont dirigés vers des étoiles considérées fixes.



Les trois axes rouges représentent le référentiel géocentrique ; ils sont dirigés vers des étoiles considérées fixes.

~~~~~

Les trois axes noirs représentent le référentiel terrestre (ils tournent avec la terre).



Référentiel géocentrique.

Les axes sont dirigés vers des étoiles considérées fixes.

## 5 – REFERENTIEL NON GALILEEN

Peut-on faire de la dynamique dans un référentiel non galiléen ? Oui, mais le PFD a une autre expression qui généralise celle que nous connaissons bien ( $m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F}_{ext}$ ). Supposons un repère  $\mathfrak{R}$  ayant un mouvement quelconque mais connu par rapport à un repère galiléen  $\mathfrak{R}_g$ . Le principe fondamental de la dynamique, appliqué au système matériel dans son mouvement par rapport au repère galiléen  $\mathfrak{R}_g$  s'écrit :

$$m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F}_{ext} + \vec{F}_{ie} + \vec{F}_{ic} \text{ avec } \vec{F}_{ie} \text{ la force d'entraînement et } \vec{F}_{ic} \text{ la force de Coriolis.}$$



| Majuscule | Minuscule     | Nom     | Équivalent |
|-----------|---------------|---------|------------|
| A         | $\alpha$      | alpha   | a          |
| B         | $\beta$       | bêta    | b          |
| $\Gamma$  | $\gamma$      | gamma   | g          |
| $\Delta$  | $\delta$      | delta   | d          |
| E         | $\varepsilon$ | epsilon | e          |
| Z         | $\zeta$       | zêta    | z          |
| H         | $\eta$        | êta     | ê          |
| $\Theta$  | $\theta$      | thêta   | th         |
| I         | $\iota$       | iota    | i          |
| K         | $\kappa$      | kappa   | k          |
| $\Lambda$ | $\lambda$     | lambda  | l          |
| M         | $\mu$         | mu      | m          |
| N         | $\nu$         | nu      | n          |
| $\Xi$     | $\xi$         | xi      | x          |
| O         | $\omicron$    | omicron | o          |
| $\Pi$     | $\pi$         | pi      | p          |
| P         | $\rho$        | rhô     | r          |
| $\Sigma$  | $\sigma$      | sigma   | s          |
| T         | $\tau$        | tau     | t          |
| Y         | $\upsilon$    | upsilon | u          |
| $\Phi$    | $\phi$        | phi     | ph         |
| X         | $\chi$        | chi     | kh         |
| $\Psi$    | $\psi$        | psi     | ps         |
| $\Omega$  | $\omega$      | oméga   | ô          |