

Première partie: Introduction

Chapitre 1

Quelques grandeurs mesurables

Le but des sciences est de comprendre et de décrire les phénomènes de la nature.

La physique, comme les autres sciences, ne peut étudier que ce qui est mesurable.

A partir des mesures, on peut élaborer des modèles¹, des théories et en déduire des lois; parfois on commence par des hypothèses ou des modèles purement théoriques et les mesures sont réalisées pour les vérifier.

Dans tous les cas, les grandeurs mesurables sont les éléments essentiels du travail scientifique.

Deux types de grandeurs

Les grandeurs scalaires comme le temps ou la distance sont définies par une seule caractéristique: leur valeur. On les exprime par un *nombre* accompagné d'une *unité*.

Les grandeurs vectorielles comme la vitesse ou la force sont définies par trois caractéristiques: leur valeur (ou intensité), leur direction et leur sens. On les représente graphiquement par une flèche (un vecteur). Leur valeur (ou intensité) est exprimée par un *nombre* accompagné d'une *unité*.

Les grandeurs de base du système international

Le développement scientifique, technique et industriel dans le monde exige que l'on utilise partout le même système d'unités. Les unités sont définies à l'aide d'étalons. Il serait possible mais très fastidieux de définir un étalon pour chaque grandeurs mesurable.

Dans le système international (SI), on a soigneusement défini un étalon pour chacune des grandeurs suivantes: la distance, la masse, la durée, l'intensité du courant électrique, la température, la quantité de matière et l'intensité lumineuse; ce sont les grandeurs de base du SI. Ce sont toutes des grandeurs scalaires.

Les unités de toutes les autres grandeurs se déduisent alors par combinaisons des unités de base.

La distance

Les lettres d , h , l , Δx , sont fréquemment utilisées pour symboliser une distance.

La distance se mesure en mètres; on abrège cette unité par la lettre m .

Depuis la plus haute Antiquité, et dans toutes les civilisations, la mesure des longueurs a été une nécessité. Un chasseur préhistorique, voulant communiquer à sa tribu l'endroit où il avait repéré du gibier, ne pouvait le faire qu'en indiquant la distance approximative de l'endroit. Les premières mesures de longueur ont donc été liées aux activités de ces peuples: un jet de pierre, la portée d'une flèche, une journée de marche...

L'évolution de ces civilisations, les débuts de la construction et les échanges commerciaux nécessiterent des mesures plus précises. Les Egyptiens utilisaient la coudée (distance entre le coude et le bout des doigts), les Grecs le pied et le stade (égal à 600 pieds et dont la longueur variait de 147 à 192 mètres). Il fallut également commencer à mesurer les surfaces, surtout en agriculture. Une des techniques consistait à définir un étalon, branche ou tige de longueur donnée, valable à une échelle régionale. Cette technique a survécu jusqu'à nos jours et les vieux vignerons parlent encore de "perche", surface de 9 mètres carrés mesurée avec une perche de 3 mètres de long.

¹ Modèle: représentation mathématique d'un phénomène physique, économique, humain, etc., réalisé afin de pouvoir mieux étudier celui-ci.

Lors de la Révolution française (1789), le gouvernement chargea un groupe de savants d'élaborer un système de mesures rationnel, décimal et valable dans toute la France. L'étalon de longueur, choisi arbitrairement, fut le mètre (du grec "métron": mesure), égal à la dix millionième partie de la distance séparant le pôle de l'équateur (quart du méridien terrestre).

Le mètre-étalon, règle de platine déposée à Sèvres, près de Paris, fut créé en 1889 et servit de base à toutes les mesures de longueur.

Actuellement, le mètre est défini de manière plus précise, à partir de la vitesse de la lumière dans le vide: c'est le trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $\frac{1}{299792458}$ seconde (1983).

La masse

La masse d'un corps peut représenter deux caractéristiques différentes de ce corps. D'une part, elle désigne la quantité de matière constituant ce corps (masse pesante) et, d'autre part, elle désigne la difficulté de mettre ce corps en mouvement (masse inerte).

La lettre m est généralement utilisée pour symboliser la masse.

La masse se mesure en kilogrammes; on abrège cette unité par kg.

Dans la vie quotidienne, on utilise aussi la tonne (t); 1 t = 1000 kg.

Comme pour les mesures de longueurs, de nombreuses unités de masse ont existé dans le courant de l'histoire. C'est également lors de la Révolution française que fut défini le gramme, quantité d'eau pure que peut contenir un cube de 1 centimètre de côté.

Le gramme est une unité très petite. C'est pourquoi, en 1789, le kilogramme fut choisi comme unité de masse et on fabriqua alors un kilogramme-étalon.

Le temps et la durée

Si le temps désigne un instant précis, la durée se mesure comme l'intervalle entre deux temps donnés. Cependant, le terme "temps" est aussi utilisé pour désigner une durée.

La lettre t est généralement utilisée pour symboliser un temps.

L'expression Δt est généralement utilisée pour symboliser une durée.

Le temps et la durée se mesurent en secondes; on abrège cette unité par la lettre s. Dans la vie quotidienne, on utilise les jours (d), les heures (h) et les minutes (min) qui sont des multiples de la seconde: 1 min = 60 s; 1 h = 3600 s; 1 d = 86'400 s.

Les premières mesures du temps ont été liées aux cycles naturels: jour-nuit, phases de la Lune, saisons... Cependant, avec le développement de la vie sociale, il fallut inventer des mesures plus précises. Pour simuler l'écoulement du temps, les civilisations antiques fabriquèrent des horloges à eau, les clepsydes, dans lesquelles une quantité étalonnée de liquide s'écoulait régulièrement.

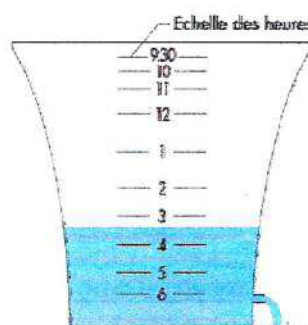


Schéma d'un clepsydre

Le système de mesures du temps, basé sur les heures, minutes et secondes, date de l'Antiquité. Il n'est pas décimal et, curieusement, il n'a pas été modifié depuis.

Actuellement, le temps n'est plus défini par les horloges mécaniques ou à quartz, mais par des compteurs de fréquence, dits horloges atomiques (1968).

L'intensité du courant électrique

L'intensité du courant électrique est définie par la quantité de charge électrique qui traverse la section d'un conducteur par unité de temps.

La lettre I (i majuscule) est généralement utilisée pour symboliser une intensité de courant électrique.

L'intensité d'un courant électrique se mesure en ampères: on abrège cette unité par la lettre A.

La température

La température mesure le degré d'agitation microscopique de la matière constituant un corps.

Les lettres θ (têta) ou T sont généralement utilisées pour symboliser la température.

Dans la vie quotidienne, la température s'exprime en degrés Celsius; on abrège cette unité par l'expression °C. Dans le système international, la température en kelvin; on abrège cette unité par la lettre K.

L'intensité lumineuse

L'intensité lumineuse est une grandeur difficile à définir; elle mesure le rayonnement dans le domaine du visible.

L'intensité lumineuse se mesure en candela; on abrège cette unité par les lettres cd.

Par exemple, le rayonnement d'une ampoule de 60 W a une intensité lumineuse d'environ 3000 cd.

La quantité de matière

Pour mesurer la quantité de matière, les chimistes ont besoin de l'exprimer en termes de constituants de la matière (atomes et molécules).

En chimie, la quantité de matière se mesure en moles; on abrège cette unité par les lettres mol.

Une mole de n'importe quelle substance est la quantité qui contient autant d'atomes ou de molécules de cette substance qu'il y a d'atomes dans 12 g de l'isotope 12 du carbone. Ce nombre vaut $6,022 \cdot 10^{23}$ et s'appelle "nombre d'Avogadro".

Les grandeurs dérivées

Ce sont des grandeurs issues de la combinaison d'au moins deux grandeurs de base. Par exemple, la vitesse est une combinaison de la distance et du temps: $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$.

Leurs unités sont dérivées de la même manière (le mètre par seconde par exemple pour la vitesse).

Parfois on donne un nom particulier à une combinaison d'unités. Par exemple, le kilogramme fois mètre par seconde au carré s'appelle le newton (voir ci-dessous le paragraphe sur la force).

La surface (grandeur scalaire)

Une surface représente la place disponible sur un plan (la surface d'un appartement, d'un toit, d'un terrain, d'un tissu, ...).

La surface est le produit de deux distances; elle est symbolisée par la lettre S.

L'unité de la surface est le mètre carré. Cette grandeur est dérivée du mètre, elle représente une surface égale à celle d'une table de 1 mètre sur 1 mètre. On abrège l'unité de surface avec la notation m^2 .

Les multiples et sous-multiples du mètre carré les plus utilisés sont: le km^2 ($1 km^2 = 10^6 m^2$) et le cm^2 ($1 cm^2 = 10^{-4} m^2$).

Le volume (grandeur scalaire)

Un volume représente l'espace occupé par un objet ou disponible dans un récipient (le volume d'un bloc de ciment, d'un liquide, d'une bouteille, d'un appartement, d'un coffre de voiture, ...).

Le volume est le produit de trois distances; il est symbolisé par la lettre V.

L'unité de volume est le mètre cube. Cette grandeur est dérivée du mètre, elle représente un volume égal à celui d'un carton de 1 mètre sur 1 mètre sur 1 mètre. On abrège l'unité de volume avec la notation m^3 .

Les sous-multiples du mètre cube les plus utilisés sont le dm^3 ou litre et le cm^3 ou millilitre: $1 dm^3 = 1 \text{ litre} = 10^{-3} m^3$; $1 cm^3 = 10^{-6} m^3$.

Le volume d'un liquide se mesure en utilisant un récipient de contenance connue ou un récipient gradué.

La volume d'un solide de forme géométrique simple se calcule à partir de la mesure de ses dimensions.

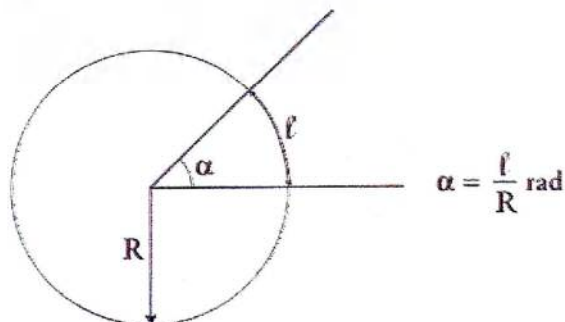
Le volume d'un solide quelconque se mesure par déplacement d'un liquide dans un récipient gradué.

Unité de volume contenu	Unité de capacité (ou contenance)	
m^3 : mètre cube	kl : kilolitre	$1 m^3 = 1000 \text{ dm}^3$
	hl : hectolitre	
	dal : décalitre	
dm^3 : décimètre cube	l : litre	$1 dm^3 = 1000 \text{ cm}^3$
	dl : décilitre	
	cl : centilitre	
cm^3 : centimètre cube	ml : millilitre	

Tableau de correspondances entre les unités de volume et celles de contenance

L'angle (grandeur scalaire)

Pour définir l'angle α (alpha) compris entre deux demi-droites issues d'un même point, on construit un cercle de rayon R centré en ce point. Si l est la longueur de l'arc de cercle intercepté par les demi-droites, la valeur de l'angle α exprimée en radians est égale au rapport l/R :



Il existe d'autres unités d'angle: le tour (tr), le degré ($^\circ$), la minute d'angle ($'$), la seconde d'angle ($''$),...: $1 \text{ tr} = 2\pi \text{ rad} = 360^\circ$; $1^\circ = \pi/180 \text{ rad} = 60' = 3600''$; $1' = \pi/10'800 \text{ rad} = 60''$; $1 \text{ rad} = 57^\circ 17' 45''$.

La masse volumique (grandeur scalaire)

Une masse volumique est la combinaison de deux grandeurs de base: la masse et le volume.

La masse volumique est le quotient de la masse par le volume; elle est symbolisée par la lettre grecque ρ (rhô).

Une masse volumique se mesure en kilogramme par mètre cube. On abrège l'unité de masse volumique avec la notation $\frac{kg}{m^3}$ ou kgm^3 ou kgm^{-3} . Cette unité est une combinaison du kilogramme et du mètre.

Le multiple le plus utilisé du kilogramme par mètre cube est le $\frac{g}{cm^3}$ ou gcm^3 ou gcm^{-3} .

On a $1 g/cm^3 = 1000 kg/m^3$.

La vitesse (grandeurs vectorielle)

La valeur de la vitesse représente la distance parcourue par unité de temps.

L'expression \vec{v} est généralement utilisée pour symboliser une vitesse.

L'intensité de la vitesse se mesure en mètres par seconde; on abrège cette unité par l'expression m/s ou $m \cdot s^{-1}$.

Dans la vie quotidienne, on utilise le kilomètre par heure ($1 km/h = \frac{1}{3,6} m/s$).

La quantité de mouvement (grandeur vectorielle)

La quantité de mouvement est le produit d'une masse par une vitesse. L'expression \vec{p} est généralement utilisée pour symboliser une quantité de mouvement.

L'intensité de la quantité de mouvement se mesure en kilogramme fois mètre par seconde; on abrège cette unité par l'expression $kg \cdot m/s$ ou $kg \cdot m \cdot s^{-1}$.

L'accélération (grandeur vectorielle)

La valeur de l'accélération représente la variation de vitesse par unité de temps.

L'expression \vec{a} est généralement utilisée pour symboliser une accélération.

L'intensité de l'accélération se mesure en mètres par seconde au carré; on abrège cette unité par l'expression m/s^2 ou $m \cdot s^{-2}$.

La force (grandeur vectorielle)

On désigne par le mot *force*, toute cause capable de déformer un corps ou de modifier son mouvement. La force est le produit d'une masse par une accélération.

L'abréviation \vec{F} est généralement utilisée pour symboliser une force; son intensité est symbolisée par la lettre F.

L'intensité d'une force se mesure en kilogramme fois mètre par seconde au carré; on appelle cette unité newton et on l'abrège par la lettre N.

Le moment de force (grandeur vectorielle)

On désigne par l'expression *moment de force*, toute cause capable de modifier le mouvement de rotation d'un corps. Le moment de force est le produit d'une distance par une force.

L'intensité d'un moment de force se mesure en mètre fois newton; on abrège cette unité par l'expression $m \cdot N$.

La pression (grandeur scalaire)

La pression est une grandeur liée à l'effet d'une force répartie sur toute la surface de contact entre deux corps. La pression est le quotient d'une force par une surface.

La lettre p est généralement utilisée pour symboliser la pression.

La pression se mesure en newton par mètre carré; on appelle cette unité pascal et on l'abrège par les lettres Pa.

La "tension" artérielle mesurée par les médecins est en fait la pression sanguine; elle s'exprime en millimètres de mercure (mmHg); 1 mmHg vaut environ 130 Pa.

L'énergie (grandeur scalaire)

L'énergie est une grandeur qui caractérise la capacité d'un système à fournir du travail. L'énergie est le produit d'une force par une distance.

La lettre E est généralement utilisée pour symboliser l'énergie. On trouve aussi les lettres W (work), A (Arbeit) ou Q (chaleur).

L'énergie se mesure en newton fois mètre; on appelle cette unité joule et on l'abrège par la lettre J.

Il existe d'autres unités d'énergie qui ne font pas partie du SI: le kilowattheure (kWh), le wattheure (Wh), l'électronvolt (eV), la calorie (cal), ... : 1 kWh = 3'600'000 J; 1 Wh = 3'600 J; 1 eV = 1,6020⁻¹⁹ J; 1 cal = 4,18 J.

La puissance (grandeur scalaire)

La puissance est une grandeur qui caractérise le débit d'énergie. La puissance est le quotient d'une énergie par une durée.

La lettre P est généralement utilisée pour symboliser la puissance.

La puissance se mesure en joule par seconde; on appelle cette unité watt et on l'abrège par la lettre W.

La puissance s'exprime encore en cheval-vapeur (ch), bien que cette unité soit illégale: 1 ch = 735 W.

La charge électrique (grandeur scalaire)

La charge électrique est généralement la conséquence d'un déplacement d'électrons. Un objet chargé possède un excès ou un déficit d'électrons. La charge électrique est le produit d'une intensité de courant électrique par une durée.

Les lettres q et Q sont généralement utilisées pour symboliser la charge électrique.

La charge électrique se mesure en ampère fois seconde; on appelle cette unité coulomb et on l'abrège par la lettre C.

La tension (grandeur scalaire)

La tension (ou différence de potentiel) est le quotient d'une énergie par une charge électrique.

La lettre U est généralement utilisée pour symboliser la tension; on trouve aussi l'expression d.d.p. (différence de potentiel).

La tension se mesure en joule par coulomb; on appelle cette unité volt et on l'abrège par la lettre V.

La résistance électrique

La résistance électrique est la mesure de la difficulté pour un courant électrique de traverser un conducteur.

La résistance est le quotient d'une tension par une intensité de courant électrique.

La lettre R est généralement utilisée pour symboliser la résistance.

La résistance se mesure en volt par ampère; on appelle cette unité ohm et on l'abrège par la lettre grecque Ω (oméga).

Multiples et sous-multiples décimaux

Voici un tableau donnant la liste des multiples et sous-multiples décimaux, ainsi que les préfixes et les symboles utilisés. On remarque dans ce tableau que, selon les règles du SI, les chiffres d'un nombre doivent être séparés en groupes de trois par un petit espace (par exemple: 300 000).

En outre, le terme "billion" désigne le nombre 10^{12} en français, alors qu'aux Etats-Unis, il désigne 10^9 .

	Facteurs		Préfixes	Symboles
1 000 000 000 000 000 000	= 10^{18}	trillion	exa	E
1 000 000 000 000 000	= 10^{15}	billiard	péta	P
1 000 000 000 000	= 10^{12}	billion	téra	T
1 000 000 000	= 10^9	milliard	giga	G
1 000 000	= 10^6	million	méga	M
1 000	= 10^3	mille	kilo	k
100	= 10^2	cent	hecto	h
10	= 10^1	dix	déca	da
1	= 10^0	un	—	—
0,1	= 10^{-1}	dixième	déci	d
0,01	= 10^{-2}	centième	centi	c
0,001	= 10^{-3}	millième	milli	m
0,000 001	= 10^{-6}	millionième	micro	μ
0,000 000 001	= 10^{-9}	milliardième	nano	n
0,000 000 000 001	= 10^{-12}	billionième	pico	p
0,000 000 000 000 001	= 10^{-15}	billiardième	femto	f
0,000 000 000 000 000 001	= 10^{-18}	trillionième	atto	a

Voici en outre quelques exemples d'ordres de grandeur:

DURÉE		DISTANCES	
Age de l'Univers	10^{17} secondes	Distance de la Terre à la galaxie la plus éloignée	10^{26} mètres
Période de précession de l'axe de la Terre	10^{12} secondes	Distance de la Terre à la galaxie la plus proche	10^{22} mètres
Une vie humaine	10^8 secondes	Distance de la Terre à l'étoile la plus proche	10^{17} mètres
Une année	10^7 secondes	Distance de la Terre au Soleil	10^{11} mètres
Un jour	10^5 secondes	Diamètre de la Terre	10^7 mètres
Durée de voyage de la lumière du Soleil à la Terre	10^3 secondes	Un kilomètre	10^3 mètres
Intervalle de temps entre 2 battements de cœur	10^0 seconde	Taille humaine	10^0 mètre
Durée d'un battement d'ailes de mouches	10^{-3} seconde	Largeur d'un doigt	10^{-2} mètre
Durée d'un éclair de stroboscope	10^{-5} seconde	Épaisseur d'une feuille de papier	10^{-4} mètre
Durée d'une impulsion de laser	10^{-9} seconde	Dimension d'une grande bactérie	10^{-5} mètre
Temps mis par la lumière pour traverser un atome	10^{-18} seconde	Dimension d'un petit virus	10^{-8} mètre
La plus courte durée de vie d'une particule sub-atomique	10^{-23} seconde	Dimension de l'atome	10^{-10} mètre
		Dimension du noyau de l'atome	10^{-15} mètre
TEMPÉRATURES		VITESSES	
Température au centre du Soleil	10^7 °C	Vitesse limite de tout objet, vitesse de la lumière	$3 \cdot 10^8$ m · s ⁻¹
Température de la couronne solaire	10^6 °C	Vitesse de fuite d'une galaxie lointaine	$3 \cdot 10^7$ m · s ⁻¹
Température à la surface du Soleil	$6 \cdot 10^3$ °C	Vitesse du Soleil autour du centre de la Galaxie	$2 \cdot 10^5$ m · s ⁻¹
Température au centre de la Terre	$4 \cdot 10^3$ °C	Vitesse de la Terre sur son orbite autour du Soleil	$3 \cdot 10^4$ m · s ⁻¹
Température d'évaporation du tungstène	$3 \cdot 10^3$ °C	Vitesse de libération de l'attraction terrestre	$1,12 \cdot 10^4$ m · s ⁻¹
Température de fusion du fer	$1,5 \cdot 10^3$ °C	Vitesse minimum de satellisation autour de la Terre	$8 \cdot 10^3$ m · s ⁻¹
Température de la lave en fusion	$1 \text{ à } 2 \cdot 10^3$ °C	Vitesse du son dans le fer	$5,12 \cdot 10^3$ m · s ⁻¹
Température de fusion de l'or	10^3 °C	Vitesse du son dans l'or	$2,03 \cdot 10^3$ m · s ⁻¹
Température de la flamme d'une allumette	$8 \cdot 10^2$ °C	Vitesse du son dans l'eau distillée (à 25 °C)	$1,498 \cdot 10^3$ m · s ⁻¹
Température d'ébullition du mercure	$3 \cdot 10^2$ °C	Vitesse du son dans le bois (le long des fibres)	$1,3 \cdot 10^3$ m · s ⁻¹
Température d'un fer à repasser enclenché	$2 \cdot 10^2$ °C	Vitesse du son dans l'air à 0°C	$3,43 \cdot 10^2$ m · s ⁻¹
Température d'ébullition de l'eau (au niveau de la mer)	10^2 °C	Vitesse du bec d'un pivert au moment de l'impact	$5 \cdot 10^1$ m · s ⁻¹
Température du corps des oiseaux	45 °C	Vitesse d'un train rapide (TGV)	$7 \cdot 10^1$ m · s ⁻¹
Température du corps humain	37 °C	Vitesse d'un ouragan	$3 \cdot 10^1$ m · s ⁻¹
Température de congélation de l'eau	0 °C	Vitesse d'un homme qui court (maximum)	10^1 m · s ⁻¹
Température de fusion du mercure	-38,7 °C	Vitesse d'un homme au pas (promenade)	10^0 m · s ⁻¹
Température la plus basse mesurée sur la Terre (Vostock)	-89,3 °C	Vitesse d'une fourmi	10^{-3} m · s ⁻¹
Température de fusion de l'éthanol	-120 °C	Vitesse moyenne des électrons libres dans un fil électrique	10^{-3} m · s ⁻¹
Température d'ébullition de l'azote	-196 °C		
Température d'ébullition de l'hélium	-269 °C		
Température du zéro absolu (0 kelvin)	-273,16 °C		