

CHAPITRE IPC1

Dimensions et unités des grandeurs physiques

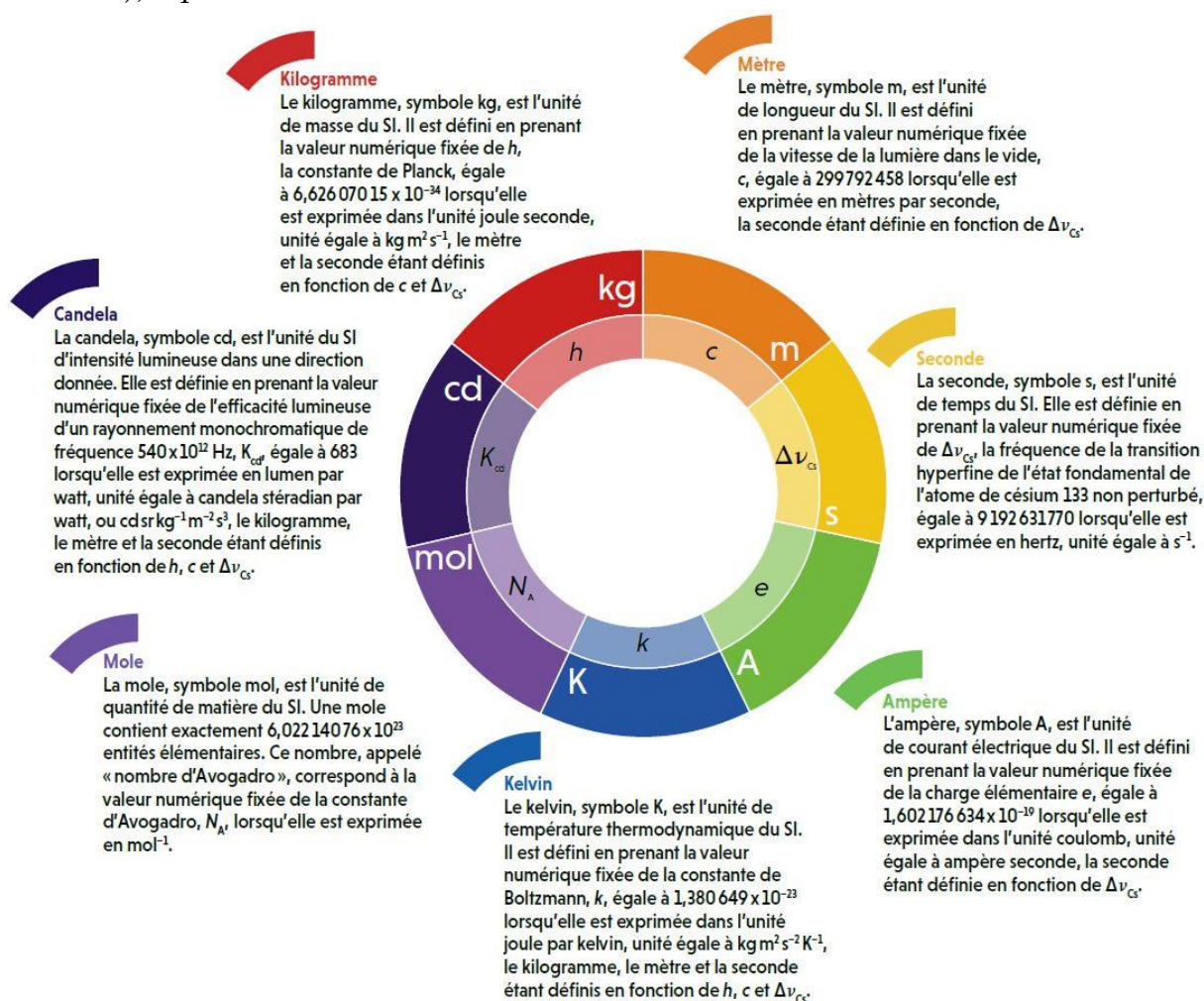
- Les sciences physiques se proposent d'étudier les lois qui régissent le comportement de la **matière** et l'évolution des **signaux**. Elles reposent sur la **théorie** et sur l'**expérience**, les deux étant intimement liées :
 - l'expérience permet de « découvrir » de nouveaux phénomènes : il s'agit ensuite d'élaborer une théorie rendant compte des observations ;
 - réciproquement, la théorie peut être « prédictive », mais elle doit être validée par l'expérience.
- Les phénomènes observés sont décrits par des **grandeurs physico-chimiques** sur lesquelles s'appliquent un certain nombre **d'opérateurs mathématiques**. Pour établir des **expressions littérales**, le théoricien doit :
 - définir des **grandeurs physico-chimiques** (pression, température, ...) ;
 - énoncer des **postulats** (l'énergie de l'univers se conserve,) ;
 - **modéliser** le problème étudié (la réalité est toujours plus complexe) : on adoptera une modélisation plus ou moins fine selon les besoins et selon les moyens de calcul dont on dispose ;
 - en déduire des **lois physiques**.La vérification de l'exactitude d'une expression littérale nécessite de travailler avec les **dimensions** des grandeurs physico-chimiques.
- La confrontation entre la théorie et l'expérience permet alors de **valider ou non le modèle retenu**. Cette confrontation passe par l'attribution d'une **valeur numérique** aux grandeurs mesurées, associée à une **unité**, afin d'obtenir une **expression numérique**.

1 Unités des grandeurs physiques

1.1 Le Système International (SI)

- Dès l'Antiquité, les unités ont été introduites pour réguler les échanges, faciliter la communication, puis, plus tard, pour valider les modèles scientifiques et reproduire les expériences. Pour pallier la disparité de leurs définitions en fonction de l'époque et du lieu, le système métrique est créé en France en 1790 : passage de la doléance « *Deux poids, deux mesures* » à la devise « *À tous les temps, à tous les peuples* ». Son extension à travers le monde conduit à l'élaboration du **Système International (SI) d'unités** à partir de 1875.
- Le nombre d'unités de base ainsi que leurs définitions ont souvent été modifiés au cours du 20^{ème} siècle. La 26^{ème} Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) a adopté en **Novembre 2018** les nouvelles définitions des

sept unités de base du Système International (avec entrée en vigueur en 2019), à partir de **valeurs fixes de constantes fondamentales**.



🔗 Pour compléter... Actualité scientifique...

- [1] N. de Courtenay, Vers un système d'unités vraiment universel, *Pour la Science*, n°493, p. 52-61, Novembre 2018
- [2] L. Julien, Le Système international d'unités redéfini, *Reflets de la Physique*, n°62, p. 12-16, Juin 2019
- [3] A. Boudault *et al.*, Sept unités pour tout mesurer, *Les défis du CEA*, n° 233, encart p. 12, Janvier 2019
- [4] F. Demarthon, Sept unités constantes et fondamentales, *Les défis du CEA*, n° 233, p. 14-16, Janvier 2019

🔗 Pour approfondir...

- [5] M. Thomas *et al.*, La redéfinition du kilogramme et la balance de Kibble, *Reflets de la Physique*, n°62, p. 18-21, Juin 2019
- [6] P. Cladé et S. Guellati-Khéfila, Mesurer une masse grâce à l'impulsion d'un photon, *Reflets de la Physique*, n°62, p. 22-24, Juin 2019
- [7] S. Djordjevic *et al.*, Les étalons électriques quantiques, *Reflets de la Physique*, n°62, p. 25-28, Juin 2019

[8] L. Pitre et M. Sadii, Le kelvin révisé et la constante de Boltzmann, *Reflets de la Physique*, n°62, p. 29-31, Juin 2019

1.2 Multiples et sous-multiples

- En 2018, le prix Nobel de physique a récompensé deux découvertes qui ont révolutionné le monde des lasers et de leur utilisation (attribué à trois physiciens dont un français : Gérard Mourou). Les lasers utilisés dans l'industrie du microgravage, pour la chirurgie ophtalmique et pour l'étude de la matière à l'échelle atomique sont ultra-brefs et ultra-puissants : ils délivrent des impulsions femtoseconde voire attoseconde avec une puissance de 10 petawatts.
- Exercice d'application 1
Écrire la durée de l'impulsion et la puissance avec des puissances de 10.
Réponse :

🔑 Pour compléter... Actualité scientifique...

[9] P. Monot et al., Les impulsions lasers femtoseconde et attoseconde, *Les défis du CEA*, n°225, encart p. 12, Mars 2018

2 Dimensions des grandeurs physico-chimiques

2.1 Homogénéité

- Dimension
À la suite de mesures, seules certaines grandeurs physiques peuvent être comparées entre elles. Pour traduire cet aspect, on attribue une **dimension** à chaque grandeur physique.
- **Définition** : Deux grandeurs physiques ayant la **même dimension** sont dites **homogènes**. Elles s'expriment avec la **même unité**.

2.2 Dimensions de base

Grandeur physique	Dimension	Nature de la grandeur
Longueur	L	Mécanique
Masse	M	Mécanique
Temps (ou durée)	T	Mécanique
Intensité du courant électrique	I	Électrique
Température	θ	Thermodynamique
Intensité lumineuse	J	Optique
Quantité de matière	N	Chimique

Aux sept dimensions de base sont associées les sept **unités de base** (primaires) du Système International.

2.3 Dimension (et unités) des autres grandeurs physiques

2.3.1 Équation aux dimensions

➤ Notation

La dimension de toute grandeur physique G , autre que celle des sept grandeurs physiques de base, se note avec des crochets : $[G]$.

- **Définition** : La **dimension** de toute grandeur physique G est obtenue par des **produits** ou des **quotients** des sept dimensions de base. On appelle **équation aux dimensions** cette relation, qui s'écrit :

$$[G] = L^a M^b T^c I^d \theta^e J^f N^g$$

a, b, c, d, e, f, g sont en général des **entiers relatifs** ou des nombres **rationnels**.

2.3.2 Obtention de l'équation aux dimensions

- La **dimension** d'une grandeur physique s'obtient en faisant référence à une **loi physique**, et donc à une **expression mathématique**, la reliant à des grandeurs de dimension connue.

➤ Exercice d'application 2

Soient trois grandeurs physiques A , B et C , dont les dimensions sont notées $[A]$, $[B]$ et $[C]$. Pour chaque expression mathématique, écrire l'équation aux dimensions correspondante.

Réponse :

Opération	Relation mathématique	Équation aux dimensions
Addition	$A = B + C$	
Produit	$A = B \cdot C$	
Quotient	$A = \frac{1}{B}$	
Dérivée	$A = \frac{dB}{dC}$	

2.3.3 Vérification d'une expression littérale

- **Propriété** : En sciences physiques, pour qu'une expression littérale soit correcte, elle doit nécessairement être **homogène**.

➤ Homogénéité d'une relation

Soient deux grandeurs physiques A et B reliées par l'équation $A = B$.

- Si $[A] = [B]$, alors l'équation $A = B$ est homogène (pas forcément juste)

- Si $[A] \neq [B]$, alors l'équation $A = B$ n'est pas homogène : forcément fausse !

➤ Absence de dimension

Certaines grandeurs physiques n'ont pas de dimension : le rapport de deux longueurs, les angles...

➤ Exercice d'application 3

Pour chacune des trois expressions littérales suivantes, censées correspondre à la surface S d'un disque, écrire l'équation aux dimensions et conclure quant à l'homogénéité de l'expression.

Réponse :

Expression	Équation aux dimensions	Homogénéité
$S = \pi R^2$		
$S = 2\pi R$		
$S = 2\pi R^2$		

2.3.4 Détermination d'une unité

➤ Méthode

- ① Écrire la **relation mathématique** entre les grandeurs physiques.
- ② À l'aide de l'**équation aux dimensions**, exprimer la **dimension** de la grandeur dont on cherche l'unité en fonction des sept dimensions de base.
- ③ En déduire l'**unité** dans le SI.

➤ Exercice d'application 4

Déterminer l'unité d'une vitesse. En déduire l'unité d'une force.

Réponse :

➤ Nota Bene

Bien que les **angles** soient des grandeurs **sans dimension**, ils possèdent une **unité** : **radian** (unité mathématique) ou degré (plus usuelle).

3 Écriture d'un résultat de mesure

3.1 Résultat de mesure

➤ Résultat de mesure

Le **résultat de la mesure** décrit l'ensemble des **valeurs raisonnablement attribuables** à la grandeur X , en le complétant par des explications sur la manière dont elles ont été obtenues.

Un résultat de mesure doit inclure trois informations :

- la **valeur mesurée**, sous la forme $X = \dots$ en précisant l'unité appropriée ;
- l'**incertitude-type associée à la valeur mesurée**, sous la forme $u(X) = \dots$ en utilisant la même puissance de 10 que celle de la valeur mesurée, et évidemment la même unité ;
- idéalement des informations concernant l'obtention des deux précédentes grandeurs, comme par exemple la **méthode** utilisée pour l'évaluation de l'incertitude, le **nombre d'observations** réalisées, etc.

Remarque : Il est possible de **condenser la valeur mesurée et l'incertitude-type** sous la forme $X \pm u(X)$, mais il faut alors bien préciser que ce qui suit le \pm est l'**incertitude-type**. Dans ce cas, la puissance de 10 doit être commune et en facteur.

3.2 Chiffres significatifs

➤ Notation scientifique

Définition : La **notation scientifique** d'un nombre décimal est l'écriture de ce nombre sous la forme $a \cdot 10^n$, où la **mantisse** a ne possède qu'un chiffre non nul avant la virgule.

Exemples :

$3,00 \cdot 10^8$ et $2,521 \cdot 10^{-1}$ sont des notations scientifiques

$12,36 \cdot 10^5$ n'est pas une notation scientifique

➤ Chiffres significatifs

Définition : En notation scientifique, le nombre de chiffres employés dans la mantisse est le nombre de **chiffres significatifs**. En notation décimale, les premiers 0 situés à gauche ne sont pas des chiffres significatifs.

Exercice d'application 5

Indiquer le nombre de chiffres significatifs des nombres suivants :

0,8	0,052
120,4	1,20
400	$40 \cdot 10^1$
$0,4 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^2$

➤ Chiffres significatifs pour l'incertitude-type

L'incertitude-type résulte d'une évaluation : on n'est jamais certain de sa valeur.

Propriété : Pour rappeler que l'**incertitude-type** est elle-même incertaine, on limite en général son **nombre de chiffres significatifs à deux**.

Pour diminuer le nombre de chiffres significatifs, on procède à un **arrondi à la valeur la plus proche** ; dans le cas où un 5 est le dernier chiffre, on arrondit par excès. Pour élever le nombre de chiffres significatifs, on rajoute des 0 à droite.

Remarque : Utiliser trop de chiffres significatifs rend plus difficile la lecture et l'écriture d'une valeur, et risque de faire croire à tort que l'incertitude est très faible. Ne pas en utiliser suffisamment conduit à des erreurs d'arrondi.

➤ Chiffres significatifs pour la valeur mesurée

- Lorsque l'incertitude-type est précisée, le nombre de chiffres significatifs de la **valeur mesurée** correspondante n'a plus de sens propre. On le choisit de manière à faciliter la lecture, en s'arrangeant pour que **le dernier chiffre de la valeur mesurée ait la même position** (dans la mantisse ou en écriture décimale) **que le dernier chiffre de l'incertitude-type**.

- Si les valeurs mesurées sont données sans les valeurs d'incertitude-type, le résultat d'un calcul (impliquant multiplications et/ou divisions) doit être écrit avec le **nombre de chiffres significatifs de la donnée qui en possède le moins**. Cette règle, de toute façon approximative, est rarement suivie en dehors du contexte scolaire et peut être adaptée selon la situation.

Attention : Pour limiter le cumul d'erreurs sur les arrondis, **l'arrondi** est effectué sur le **résultat final**. Pour les calculs intermédiaires, on gardera (dans la calculatrice !) les chiffres qui peuvent être non significatifs.

➤ Exercice d'application 6

Compléter le tableau suivant en écrivant les résultats des mesures sous la forme $X \pm u(X) = \dots$, avec 2 chiffres significatifs pour l'incertitude-type $u(X)$ et en privilégiant l'écriture scientifique.

Grandeur	Valeur mesurée	Incetitude-type	Écriture standardisée (ce qui suit le \pm est l'incetitude-type)
Distance	742310,1 m	777,32 m	
Distance	9,42136 mm	4 μm	
Temps	0,0028534 s	0,000451 s	

Temps	0,000284 s	0,000436 s	
Résistance	1,10876 mΩ	333 μΩ	