Chapitre 1
Dimensions dans l'Univers

Concevoir les ordres de grandeurs fait partie de la compréhension du monde physique. Il faut savoir les noter sans aligner des zéros, soit avant, soit après la virgule, mais en utilisant les puissances de 10. Les différents ordres de grandeurs sont impressionnants ; quel écart entre la taille d'un proton et celle de l'univers, entre la vitesse de la lumière et celle d'un escargot !

Un scientifique

Natif du Missouri, Edwin **Hubble** (1889-1953) suit des études d'astrophysique et travaille par la suite dans divers observatoires comme celui de Yerkes, du mont Wilson et, en fin de carrière, du mont Palomar. Dès les années 1910 il met au point des techniques lui permettant de détecter de nombreuses galaxies. Reprenant une idée de Vesto **Slipher** et suite à de nombreuses observations, il établit en 1930 une relation entre la distance des galaxies et le décalage vers le rouge de leur spectre lumineux. Il en conclut à une expansion de l'Univers, les galaxies s'éloignant de nous à une vitesse proportionnelle à leur distance de la Terre.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Les scientifiques préfèrent utiliser les puissances de 10 pour énoncer de très grands nombres et pour délaisser les mots comme milliard ou billion. Ceci est plus parlant mais évite aussi des confusions car les différents pays n'utilisent pas tous les mêmes termes. Pour désigner 10^9, les Français utilisent le mot milliard, terme qui entre aussi dans l'anglais britannique. En revanche les Américains anglophones lui préfèrent le mot billion. Il en découle que 10^{12} se dit billion pour les premiers et trillion pour les seconds. Dans le langage courant, on préfère utiliser le terme mille milliards. Mais à quel nombre fait allusion le Capitaine Haddock lorsqu'il s'écrie *mille milliards de mille sabords* ?

■■ Objectifs

■ Les notions que je dois maîtriser

▷ Unités, écriture scientifique et ordre de grandeur

▷ Vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air

▷ L'année-lumière

▷ L'expression : « voir loin, c'est voir dans le passé »

■ Les compétences que je dois acquérir

▷ Savoir convertir des unités

▷ Utiliser des écritures scientifiques et ordres de grandeur

▷ Savoir exprimer des distances en année-lumière

Résumé de cours

Longueurs, unités et conversions

La maîtrise des unités est capitale en physique chimie. Dans tous les chapitres de cette année comme pour votre poursuite d'études, il est indispensable de maîtriser cette partie.

Unités : préfixes et conversions

Pour décrire le monde du très petit au très grand, nous utilisons des préfixes adaptés aux dimensions des objets étudiés. Il ne viendrait à l'idée de personne d'exprimer la distance Nice-Brest en mm ou la taille d'un crayon en km. L'utilisation des **puissances de 10** est très utile et doit être maîtrisée : $1\text{ km} = 1000\text{ m} = 10^3\text{ m}$. Ici, le préfixe kilo (k) indique un facteur 10^3.

préfixe	téra	giga	méga	kilo	hecto	déca	déci
symbole	T	G	M	k	h	da	d
puissance de 10 correspondante	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1	10^{-1}

préfixe	centi	milli	micro	nano	pico	femto
symbole	c	m	μ	n	p	f
puissance de 10 correspondante	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}

Remarque

Ces préfixes s'appliquent pour toutes les unités. On a par exemple 33 cL de boisson, 1013 hPa de pression atmosphérique ou 2 To de capacité de disque dur.

⇨ **Méthode 1.1. Convertir une grandeur à l'aide de puissances de 10**

Rappels mathématiques

Quelques rappels de relations à maîtriser :

$$10^a \times 10^b = 10^{a+b} \qquad \frac{1}{10^a} = 10^{-a} \qquad \frac{10^a}{10^b} = 10^{a-b} \qquad \left(10^a\right)^b = 10^{a\times b}$$

Écriture scientifique

L'**écriture scientifique** d'une grandeur est l'écriture sous la forme $\mathbf{a \times 10^b}$ avec $1 \le a < 10$ et b entier. Autrement dit, a n'est écrit qu'avec un seul chiffre avant la virgule, différent de 0. Par exemple $3{,}0 \times 10^8\text{ m.s}^{-1}$ est la vitesse de la lumière dans le vide et $6{,}4 \times 10^6\text{ m}$ est le rayon de la Terre, en écriture scientifique.

⇨ **Méthode 1.2. Obtenir une écriture scientifique**

❑ Ordre de grandeur

Pour comparer des dimensions très différentes, les ordres de grandeurs sont souvent utilisés. L'**ordre de grandeur** d'une valeur **est la puissance de 10 la plus proche** de cette valeur. Par exemple 10^8 m.s^{-1} est l'ordre de grandeur de la vitesse de la lumière dans le vide, 10^7 m celui du rayon de la Terre.

⇨ **Méthode 1.3. Obtenir un ordre de grandeur**

❑ Nombre de chiffres significatifs

Cette notion de **chiffres significatifs** est vue en classe de seconde, indispensable pour la filière scientifique. Le nombre de chiffres significatifs est le nombre de chiffres qui expriment une grandeur à partir du premier chiffre non nul. Dit plus simplement, on compte tous les chiffres écrits en omettant tous les 0 à gauche. Ainsi 8848 m a 4 chiffres significatifs, 0,00095 m en a 2.
Il convient dans un résultat de l'exprimer avec le bon nombre de chiffres en fonction du nombre de chiffres significatifs que contiennent les données de l'énoncé. Dans le cas d'un calcul par **produit** ou **division**, le nombre de chiffres significatifs du résultat doit être égal au terme du calcul qui en contient le **moins**. Dans le cas d'une **somme** ou d'une **différence** de grandeurs (sous la même puissance de 10 si c'est le cas), le résultat contient autant de chiffres **après la virgule** que le terme qui en contient le **moins** après la virgule.

⇨ **Méthode 1.4. Exprimer avec le bon nombre de chiffres significatifs le résultat d'un calcul**

■ L'année-lumière

❑ La lumière

La lumière peut être émise par des sources lumineuses artificielles ou naturelles : ampoules; DEL, LASER, éclairs, feux, étoiles… Comme pour les objets classiques, sa vitesse dépend du milieu dans lequel elle se propage. Sa vitesse est maximale dans le vide, elle est alors notée c (comme « **célérité** ») et vaut $c = 299792458 \text{ m.s}^{-1}$, souvent approximée ou arrondie par $\boxed{c = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}}$. Dans l'air, la vitesse de la lumière est très proche de c, si bien qu'on considérera dans de nombreux exercices qu'elle vaut c.

Remarque

$c = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ est la vitesse limite (postulat d'Einstein) au-delà de laquelle aucun objet ne peut se déplacer.

❑ L'année-lumière

Les distances observées en astronomie sont si grandes que le m, le km ou même le Mm sont inadaptés. La lumière se déplace à la vitesse colossale $c = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ dans le vide, c'est-à-dire qu'elle parcourt $3{,}00 \times 10^8$ m chaque seconde. En un an, elle parcourt $9{,}5 \times 10^{15}$ m, cette distance correspond à une **année-lumière** (notée 1 al), définie ainsi : **l'année-lumière est la distance parcourue par la lumière en un an dans le vide**.

Remarque

Une année-lumière vaut $9,5\times10^{15}$ m avec 2 chiffres significatifs. Avec plus de précision, on trouve $9,461\times10^{15}$ m.

L'année-lumière est une unité de **distance** !

⇨ **Méthode 1.5. Convertir une distance d'année-lumière en mètres ou le contraire**

❑ Voir loin, c'est voir dans le passé

La lumière émise par des étoiles lointaines met beaucoup de temps à nous parvenir, si bien qu'on l'observe bien après son émission. On observe alors les étoiles telles qu'elles étaient au moment de l'émission de cette lumière, soit dans le passé !! L'étoile Iota Draconis est une étoile de la constellation du Dragon située à 100 années-lumière de la Terre. La lumière émise par Iota Draconis met donc 100 ans à nous parvenir, les astronomes qui l'observent voient donc cette étoile telle qu'elle était il y a 100 ans.
Depuis la Terre, on observe des objets si éloignés que la lumière qu'ils émettent peut mettre des milliards d'années à nous parvenir, on remonte ainsi à des informations vieilles de milliards d'années.

Remarque

La puissance des télescopes actuels permet d'observer des étoiles situées à 13,1 milliards d'années-lumière. L'Univers étant âgé d'environ 14 milliards d'années, on observe de la lumière émise relativement peu longtemps après sa création.

Méthodes

❑ Méthode 1.1. Convertir une grandeur à l'aide de puissances de 10

Nous cherchons à convertir des grandeurs en mètres depuis une autre unité ou en une autre unité à partir du mètre. Pour cela, nous utilisons la signification des préfixes.

➪ **Exercices 1.1, 1.2, 1.3 et 1.6.**

Les globules rouges mesurent en moyenne 7,5 µm de diamètre. Quelle est leur taille en mètres ?
D'après le cours $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}$ m donc à la place de µm, on peut mettre 10^{-6} m :

$$7{,}5\ \mu\text{m} = 7{,}5 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

Mercure est situé à environ 58 Gm du Soleil. Quelle est cette distance en mètres ?
D'après le cours $1\ \text{Gm} = 10^{9}\ \text{m}$ donc à la place de Gm, on peut mettre 10^9 m :

$$58\ \text{Gm} = 58 \times 10^{9}\ \text{m}$$

L'Everest mesure 8848 m, quelle est cette altitude en kilomètres ?
D'après le cours $1\ \text{km} = 10^{3}\ \text{m}$, on peut alors écrire aussi $10^{-3}\ \text{km} = 0{,}001\ \text{km} = 1\ \text{m}$ donc à la place de m, on peut mettre 10^{-3} km :

$$8848\ \text{m} = 8848 \times 10^{-3}\ \text{km} = 8{,}848\ \text{km}$$

Pour cet exemple, soit on est à l'aise et on trouve le résultat, soit on peut s'aider d'un tableau de conversion (voir collège) soit d'un tableau de proportionnalité. Par exemple ici :

dimension en m	dimension en km
10^3	1
8848	

On obtient par un produit en croix : $\dfrac{8848 \times 1}{10^3} = 8848 \times 10^{-3}\ \text{km}$ soit 8,848 km.

❑ Méthode 1.2. Obtenir une écriture scientifique

On cherche à obtenir l'écriture scientifique d'une grandeur à l'aide de puissances de 10 afin d'avoir un seul chiffre avant la virgule, non nul.

➪ **Exercices 1.1, 1.2, 1.3 et 1.6.**

Donner les écritures scientifiques de l'altitude du sommet de l'Everest h = 8848 m et le diamètre d'un flocon de neige qui s'y trouve d = 0,00095 m.

Pour exprimer h = 8848 m en écriture scientifique, nous savons qu'il faut placer une virgule après le premier 8, soit 8,848. Pour avoir l'égalité avec 8848 m, on multiplie par 1000 = 10^3.

$$\text{Ainsi : } h = 8848 \text{ m} = 8,848 \times 1000 \text{ m} = \boxed{8,848 \times 10^3 \text{ m}}$$

Pour exprimer d = 0,00095 m en écriture scientifique, nous savons qu'il faut placer une virgule après le 9, soit 9,5. Pour avoir l'égalité avec 0,00095 m, on multiplie par 0,0001 = 10^{-4}. Ainsi :

$$d = 0,00095 \text{ m} = 9,5 \times 0,0001 \text{ m} = \boxed{9,5 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

Dans le cas d'un nombre déjà exprimé avec une puissance de 10, on peut :

- « déplacer la virgule » afin d'avoir un unique chiffre non nul devant celle-ci
- compter le nombre de rangs dont s'est déplacée cette virgule
- si le nombre a augmenté : réduire d'autant d'unités la puissance de 10
- si le nombre a diminué : augmenter d'autant d'unités la puissance de 10.

Exemple : avec L = $142,8 \times 10^4$ m

la virgule est mise en place, le nombre a diminué de 2 rangs

$142,8 \times 10^4$ m $\qquad$ $1,428 \times 10^{4+2}$ m $\qquad$ $1,428 \times 10^6$ m

par conséquent, on ajoute 2 à la puissance de 10

en simplifiant la puissance on obtient l'écriture scientifique

❑ Méthode 1.3. Obtenir un ordre de grandeur

> À partir d'une écriture scientifique $a \times 10b$, on obtient l'ordre de grandeur en observant a :
> - Si $1 \le a < 5$ alors l'ordre de grandeur est 10b.
> - Si $5 \le a < 10$ alors l'ordre de grandeur est 10b+1.
>
> Autrement dit, si le nombre devant la puissance de 10 est inférieur à 5, cette puissance de 10 est l'ordre de grandeur. Mais si le nombre devant la puissance de 10 est supérieur à 5, cette puissance de 10 doit être augmentée d'un rang pour obtenir l'ordre de grandeur.

⇨ **Exercices 1.1, 1.2 et 1.3.**

On cherche à calculer les ordres de grandeur de L = $1,428 \times 10^6$ m ; $h = 8,848 \times 10^3$ m et de $d = 9,5 \times 10^{-4}$ m.

L = $1,428 \times 10^6$ m, on a $1 \le 1,428 < 5$, l'ordre de grandeur est donc de 10^6 m.

$h = 8,848 \times 10^3$ m, on a $5 \le 8,848 < 10$, l'ordre de grandeur est donc de $10^{3+1} = 10^4$ m.

$d = 9{,}5 \times 10^{-4}$ m, on a $5 \leq 9.5 < 10$, l'ordre de grandeur est donc de $10^{-4+1} = 10^{-3}$ m.

Ajouter 1 à un nombre négatif est souvent source d'erreur. Ici nous avons –4, nous ajoutons 1 et obtenons donc –3.

❑ Méthode 1.4. Exprimer avec le bon nombre de chiffres significatifs le résultat d'un calcul

> Le nombre de chiffres significatifs correspond au nombre de chiffres exprimés à partir du premier non nul. Le nombre de chiffres significatifs d'un résultat dépend de l'opération effectuée.
> Dans le cas d'une somme ou d'une différence, le résultat contient autant de chiffres après la virgule que la donnée qui en contient le moins.
> Dans le cas d'un produit ou d'une division, le résultat contient autant de chiffres significatifs que la donnée qui en contient le moins.
> Lors de toute simplification il faut effectuer des arrondis.

➪ **Exercices 1.4 à 1.9.**

Calculons l'aire et le périmètre d'un rectangle de longueur L = 30,2 m de largeur l = 15,19 m.

L = 30,2 m contient 3 chiffres significatifs, l = 15,19 m en contient 4.

La surface est donnée par : $S = L \times l = 30{,}2 \times 15{,}19 = ...$
La calculatrice donne 458,738. La donnée qui contient le moins de chiffres significatifs est la longueur (3 chiffres), le résultat doit donc être écrit avec trois chiffres significatifs, on regarde derrière, avec un 7 on doit arrondir au-dessus, soit 459.
Ainsi $S = L \times l = 30{,}2 \times 15{,}19 = \boxed{459 \text{ m}^2}$

Le périmètre est donné par : $S = 2 \times L + 2 \times l = 2 \times 30{,}2 + 2 \times 15{,}19 = 60{,}4 + 30{,}38 = ...$
La calculatrice donne 90,78 soit 2 chiffres après la virgule. Or 30,2 est la donnée qui en contient le moins (1 chiffre après la virgule), le résultat ne doit donc contenir qu'un seul chiffre après la virgule. Le deuxième chiffre après la virgule étant un 8, on arrondit au-dessus, soit : 90,8.
Ainsi : $S = 2 \times L + 2 \times l = 2 \times 30{,}2 + 2 \times 15{,}19 = 60{,}4 + 30{,}38 = \boxed{90{,}8 \text{ m}}$

Remarque

On ne compte les chiffres significatifs que pour des grandeurs qui sont des mesures, quand on parle de nombres parfaitement connus comme un nombre d'objets ou le facteur deux dans le périmètre, ces nombres sont parfaitement connus et n'interviennent pas dans le calcul du nombre de chiffres significatifs.