

Chapitre 1 : L'échelle de longueurs : de l'atome aux galaxies

(Physique UNIVERS)

Objectifs :

- Quels sont les constituants de l'Univers ?
- Savoir que le remplissage de l'espace par la matière est essentiellement lacunaire
- Utiliser les puissances de 10 dans l'évaluation des ordres de grandeur

I. Quels sont les constituants essentiels de l'Univers ?

Lorsqu'on explore l'Univers on s'intéresse à des structures allant de l'infiniment petit (échelle microscopique) à l'infiniment grand (échelle astronomique).

« Infiniment petit ou infiniment grand » doivent être interprétés comme « infiniment petit ou infiniment grand par rapport à l'échelle humaine » où la taille d'un homme constitue notre référence.

I.1. Le mètre comme unité de longueur

Mesurer une longueur c'est la comparer à une longueur de référence.

L'**unité légale de longueur**, dans le Système International de mesures, est le **mètre** (symbole **m**).

Selon la longueur à exprimer le mètre n'est plus nécessairement l'unité la mieux adaptée, on utilisera ses multiples (ex : décamètre, kilomètre ...) et ses sous-multiples (ex : décimètre, centimètre, millimètre...).

Les multiples et sous-multiples du mètre utilisés pour les longueurs **à l'échelle humaine** sont les suivantes :

<i>Nom</i>	kilomètre	hectomètre	décamètre	mètre	décimètre	centimètre	millimètre
<i>Symbole</i>	km	hm	dam	m	dm	cm	mm
<i>Préfixe</i>	kilo	hecto	déca		déci	centi	milli
<i>Puissance de 10</i>	10³	10²	10¹	10⁰	10⁻¹	10⁻²	10⁻³

Ex : 20 cm = 20×10⁻² m ;
 3 km = 3×10³ m

Pour exprimer les longueurs à **l'échelle astronomique**, on utilise plus souvent les multiples du mètre suivants :

<i>Nom</i>	Téramètre			Gigamètre			Mégamètre			kilomètre
<i>Symbole</i>	Tm			Gm			Mm			km
<i>Préfixe</i>	Téra			giga			méga			kilo
<i>Puissance de 10</i>	10¹²			10⁹			10⁶			10³

Ex : 250 Tm = 250×10¹² m ;
 10 Gm = 10×10⁹ m

Pour exprimer les longueurs à **l'échelle microscopique**, on utilise plus souvent les sous – multiples du mètre suivants :

<i>Nom</i>	millimètre			micromètre			nanomètre			Picomètre
<i>Symbole</i>	mm			µm			nm			Pm
<i>Préfixe</i>	milli			micro			nano			Pico
<i>Puissance de 10</i>	10⁻³			10⁻⁶			10⁻⁹			10⁻¹²

Ex : 1,0 nm = 1,0×10⁻⁹ m ;
 67 µm = 67×10⁻⁶ m

I.2. La notation scientifique

La notation scientifique d'un nombre est l'écriture de ce nombre sous la forme : **a × 10ⁿ**

Dans cette écriture :

- **a** est un nombre décimal ayant un seul chiffre, différent de « 0 », avant la virgule
- **n** est un nombre entier relatif (positif ou négatif).

Règle IMPORTANTE pour écrire en notation scientifique :

- 1) On recopie le nombre à convertir tel quel ;
 - 2) On multiplie ce nombre par la puissance de 10 associée au symbole de l'unité ;
 - 3) On décale la virgule du nombre de manière à écrire le nombre sous la forme $a \times 10^n$
- Lorsqu'on décale la virgule du nombre d'un rang vers la droite on retranche 1 à la puissance de 10
Lorsqu'on décale la virgule du nombre d'un rang vers la gauche on ajoute 1 à la puissance de 10.

Ex : $1,0 \text{ mm} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ m}$
 $0,0250 \text{ km} = 0,0250 \times 10^3 \text{ m} = 2,50 \times 10^{-2} \times 10^3 \text{ m} = 2,50 \times 10^1 \text{ m}$
 $67 \text{ }\mu\text{m} = 67 \times 10^{-6} \text{ m} = 6,7 \times 10^1 \times 10^{-6} \text{ m} = 6,7 \times 10^{-5} \text{ m}$

I.3. Ordre de grandeur

Pour évaluer rapidement la longueur d'un objet on détermine son **ordre de grandeur** c'est-à-dire qu'on **donne la puissance de 10 la plus proche de cette valeur.**

Méthode :

- 1) On écrit la valeur en notation scientifique : $a \times 10^n$;
 - 2) Si $a < 5$ alors on arrondit a à 1 et l'ordre de grandeur est 10^n ;
- Si $a \geq 5$ alors on arrondit a à 10 et l'ordre de grandeur est $10 \times 10^n = 10^{(n+1)}$

Ex : $2350 \text{ Gm} = 2,350 \times 10^{12} \text{ m}$, l'ordre de grandeur de cette longueur est 10^{12} m
 $67 \text{ }\mu\text{m} = 6,7 \times 10^{-5} \text{ m}$, l'ordre de grandeur de cette longueur est $10 \times 10^{-5} = 10^{-4} \text{ m}$

I.4. Constituants de l'Univers à l'échelle microscopique

a) L'atome

Un **atome est constitué** d'un **noyau** autour duquel gravitent des **électrons**.

Le diamètre d'un noyau atomique est de l'ordre du femtomètre (symbole : **fm**), soit $\phi_{\text{noyau}} \approx 10^{-15} \text{ m}$.

Un atome peut être modélisé par une sphère dure dont le diamètre $\phi_{\text{atome}} \approx 10^{-10} \text{ m}$.

b) La molécule

Les atomes peuvent s'associer entre eux pour former des **molécules**.

Les molécules formées de quelques atomes ont une **dimension de 10^{-10} à 10^{-9} m**

c) La cellule

Les cellules sont les structures du monde vivant qui sont constituées de molécules.

Les dimensions des cellules sont de l'ordre $\phi_{\text{cellule}} \approx 10^{-5} \text{ m}$

I.5. Constituants de l'Univers à l'échelle astronomique

a) La Terre

Le diamètre de la Terre est de l'ordre d'une dizaine de milliers de kilomètres, soit $\phi_{\text{Terre}} \approx 10^7 \text{ m}$.

b) Le système solaire

Le **Soleil et les astres** qui gravitent autour constituent le **système solaire**.

Le **Soleil est une étoile**.

Les astres qui gravitent autour du Soleil sont les planètes. **Ces planètes** sont par ordre, du plus près au plus éloigné du Soleil) :

Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune

(et jusqu'en 2006 Pluton, reclassée en planète naine)

Remarques :

- entre Mars et Jupiter se trouve la ceinture d'astéroïdes.
- les orbites des planètes sont quasi-circulaires.

Le diamètre du Soleil est de l'ordre du million de kilomètres soit $\phi_{\text{Soleil}} \approx 10^9 \text{ m}$.

La distance entre la Terre et le Soleil est d'environ $1,50 \times 10^{11} \text{ m}$ c'est-à-dire une **unité astronomique (U.A.)** :

$$1 \text{ U.A.} = 1,50 \times 10^{11} \text{ m}$$

Ex : Convertir la distance Soleil – Jupiter $d_{S/J} = 780 \text{ Gm}$ en U.A.

On convertit $d_{S/J} = 780 \text{ Gm} = 780 \times 10^9 \text{ m}$

1 U.A.	$1,5 \times 10^{11} \text{ m}$
$\frac{780 \times 10^9 \times 1}{1,5 \times 10^{11}} = 5,2 \text{ U.A.}$	$780 \times 10^9 \text{ m}$

c) Les exoplanètes

Comme le système solaire, on a découvert en 1995, une planète qui tourne autour de son étoile (étoile 51 Pégasi).

Une exoplanète (ou planète extrasolaire) est en orbite autour d'une étoile autre que le Soleil.

d) La galaxie et l'Univers

Des centaines de milliards d'étoiles peuvent se rassembler en une galaxie.

L'ordre de grandeur de la distance entre deux étoiles dans une galaxie est de 10^{16} m .

La plus grande structure connue contient des milliards de galaxies regroupées en amas est l'Univers.

L'Univers a une taille de l'ordre de 10^{26} m .

Le Soleil fait partie d'une galaxie : la Voie Lactée (galaxie en spirale).

L'Univers comporte plusieurs centaines de milliards de galaxies regroupées en amas.

II. Combien de temps met la lumière provenant des étoiles pour nous parvenir ?

II.1. L'année de lumière : une unité de distance

Les distances entre les différentes étoiles sont considérables et il convient d'utiliser une unité de longueur plus adaptée : l'année de lumière.

Ex : Calculer la distance d que parcourt la lumière en une durée $\Delta t = 1 \text{ an}$ sachant que la lumière se déplace à la vitesse $v = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. On rappelle que $1 \text{ an} = 365,25 \text{ jours}$ et que $1 \text{ jour} = 24 \text{ h}$.

On convertit : $\Delta t = 1 \text{ an} = 365,25 \times 24 \times 60 \times 60 = 31\,557\,600 \text{ s}$

On sait que $v = \frac{d}{\Delta t}$ donc $d = v \times \Delta t$

A.N. : $d = v \times \Delta t = 3,0 \times 10^8 \times 31\,557\,600 = 9,47 \times 10^{15} \text{ m}$

Une année de lumière est la distance parcourue par la lumière en une année, on la note a.l.

$$1 \text{ a.l.} = 9,5 \times 10^{15} \text{ m} \approx 10^{16} \text{ m}$$

L'étoile la plus proche du Soleil, Proxima du Centaure, se trouve à 4,2 a.l.

Le diamètre de la Voie Lactée (notre Galaxie) vaut environ $\phi_{\text{Voie Lactée}} \approx 10^5 \text{ a.l.} \approx 10^{21} \text{ m}$

II.2. « Voir loin, c'est voir dans le passé »

La lumière provenant d'une étoile lointaine porte en elle une information qui date de l'époque où elle a été émise. D'où l'expression « Voir loin, c'est voir dans le passé »

Ex : La lumière émise par Proxima du Centaure (qui se trouve à 4,2 a.l.) qu'on perçoit aujourd'hui sur Terre a donc été émise il y a 4,2 années.

III. Comment se répartit la matière dans l'Univers ?

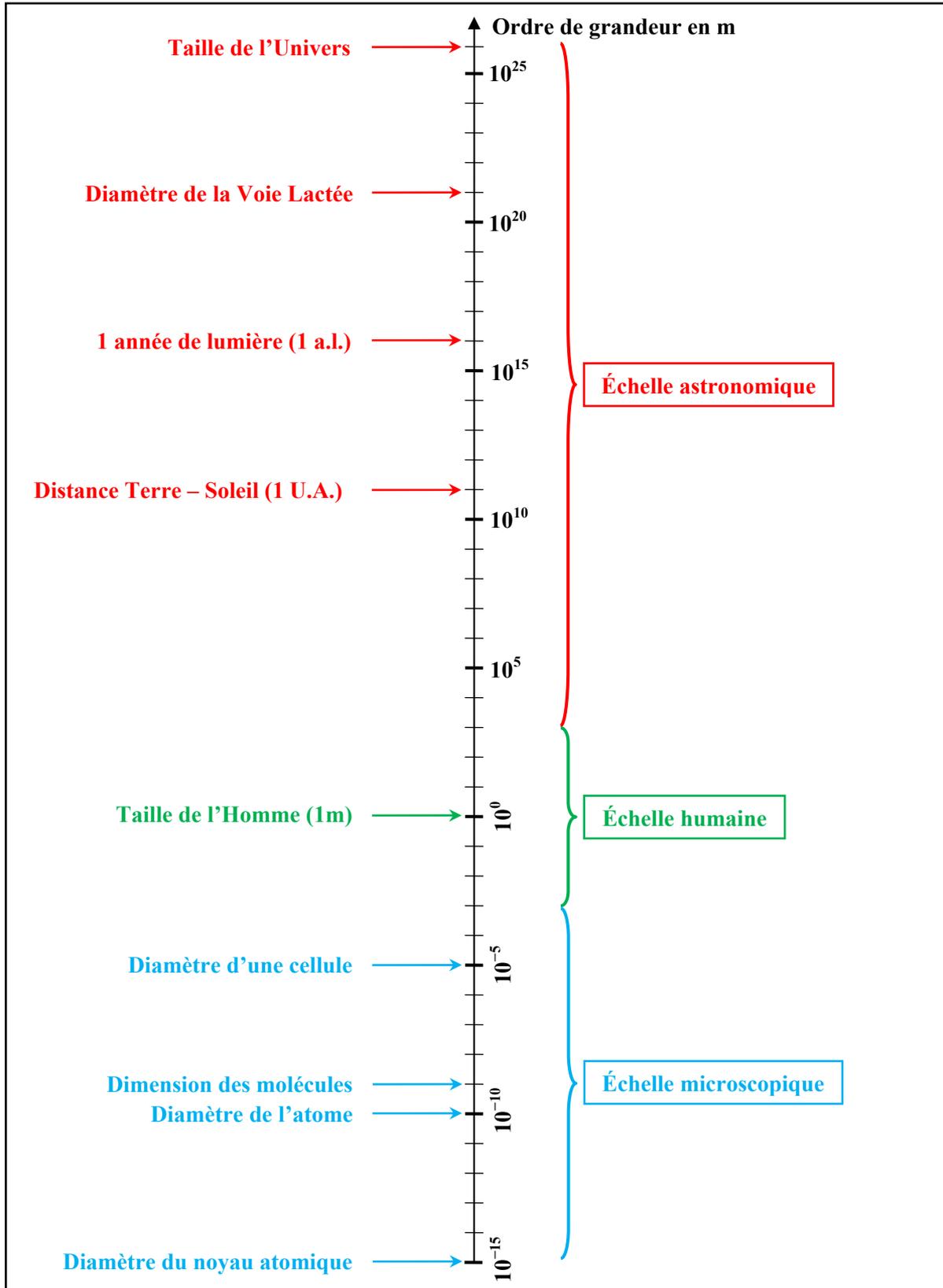
Au niveau microscopique, on remarque que : $\frac{\phi_{\text{atome}}}{\phi_{\text{noyau}}} = \frac{10^{-10}}{10^{-15}} = 10^5$ (le diamètre de l'atome est 100 000 fois plus grand que celui de son noyau).

Au niveau astronomique, on remarque que $\frac{d_{\text{Terre-Soleil}}}{\phi_{\text{Terre}}} = \frac{10^{11}}{10^7} = 10^4$ (la distance Terre-Soleil est 10 000 fois plus grande que le diamètre de la Terre).

Aussi bien au niveau microscopique qu'au niveau astronomique, la structure de la matière est discontinue et lacunaire : l'espace est essentiellement occupé par le vide.

IV. L'échelle des longueurs de l'Univers

On peut représenter l'échelle des longueurs de l'Univers sur un axe des puissances de 10 :



Entre le diamètre du noyau atomique et le diamètre de l'atome on dit qu'il y a 5 ordres de grandeur (= $-10 - (-15)$).

Entre le diamètre d'une cellule et le diamètre de la Voie Lactée il y a 26 ordres de grandeur (= $21 - (-5)$)