Chapitre 1 : La gravitation universelle

I. L'échelle des longueurs

Des **microscopes** perfectionnés permettent d'explorer la matière jusqu'au niveau **atomique.** Grâce à des **télescopes** de plus en plus performants, nous observons des **galaxies** très éloignées. Comment pouvons-nous exprimer des distances et des tailles allant de l'échelle **microscopique** jusqu'à **l'échelle cosmique** ?

1. Les unités de longueurs : multiples et sous-multiples du mètre

nom	Téramètre	Gigamètre	Mégamètre	Kilomètre	mètre	Millimètre	micromètre	nanomètre	picomètre	femtomètre
symbole										
valeur										

- Parmi ces multiples du mètre, seul le kilomètre est en fait utilisé pour exprimer des longueurs grandes par rapport à l'échelle humaine.
- Pour les longueurs astronomiques, des unités plus adaptées sont employées
- Ces sous-multiples du mètre sont très utiles pour exprimer des longueurs petites par rapport à l'échelle humaine
- Pour donner la taille des atomes, on utilise encore **L'Angström** $\dot{A}$ (1 $\dot{A}$ = 10^{-10} m). On emploie aussi le terme « micron » au lieu de micro-mètre.

2. Les ordres de grandeur

- ✓ Deux longueurs seront du **même ordre de grandeur** si le quotient de la plus grande par la plus petite est compris entre 1 et 10.
- ✓ Pour calculer le rapport de deux longueurs, celles-ci doivent être exprimées dans la même unité : le mètre, un de ses multiples ou sous-multiples.
- ✓ Les ordres de grandeur s'énoncent généralement à l'aide des puissances de 10 : On les écrit sous la forme **a.10^n** , avec $1 \leq \boldsymbol{a} < \mathbf{10}$ et **n compris entre 1 et n entier**.

3. Intérêt de l'ordre de grandeur

- ✓ Savoir évaluer rapidement ou connaître l'ordre de grandeur d'une longueur permet de la situer sur l'échelle des longueurs qui composent notre univers, et de la comparer aux autres. On peut ainsi mémoriser facilement certaines tailles ou distances caractéristiques. Ex : l'ordre de grandeur du diamètre atomique est 10^{-10} m .
- ✓ Estimer l'ordre de grandeur d'une longueur permet également de vérifier rapidement un calcul
- ✓ Deux longueurs dont le quotient de la plus grande par la plus petite s'exprime par $\boldsymbol{\alpha}$**.10^n** , avec α compris entre 1 et 10 et n entier, sont **différents de n ordres de grandeur**. Ex : comparons le diamètre d'un globule rouge **(d_1 = 7 um)** et celui d'un atome de carbone **(d_2 = 0,14 nm)** , le rapport entre les deux vaut donc : $\frac{d_1}{d_2}$ = **5.10^4** . ces deux longueurs ont 4 ordre de grandeur de différence

4. L'axe des puissances de 10 :

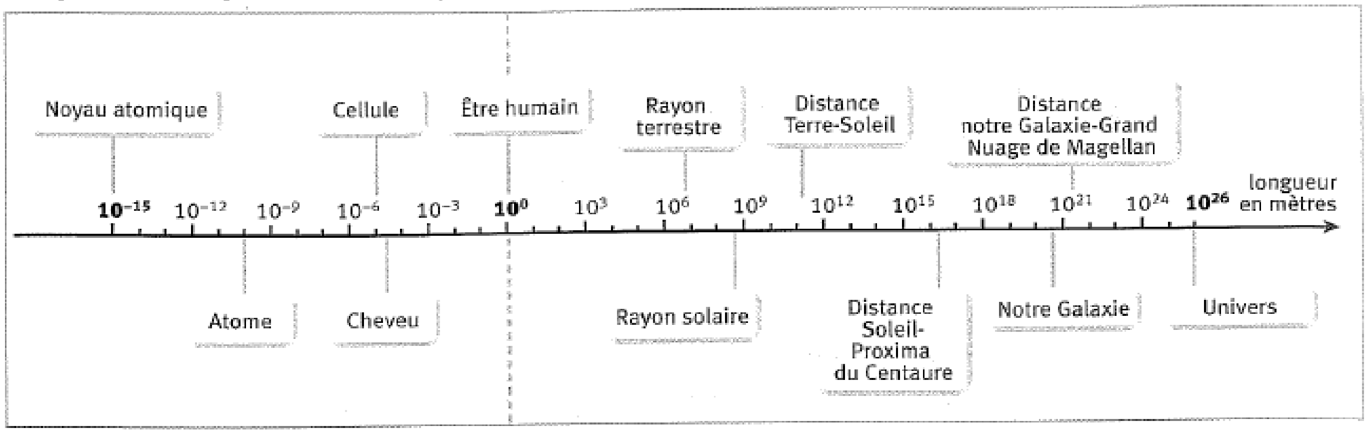
➢ **Document 1 : La représentation des longueurs :**

- il est difficile de représenter sur une même échelle la taille d'un objet observé au microscope ou bien celle d'une galaxie photographiée à l'aide d'un télescope. Pour cela, il faut utiliser un outil mathématique adapté : **les puissances de 10.**
- Les distances ou les tailles ci-dessous sont données en unités adaptées.

Dimension	Taille d'un être humain adulte	Taille d'une coccinelle	Distance Terre-Lune	Hauteur du Mont-Blanc	Diamètre d'un lymphocyte	Distance Lille-Marseille
Valeur dans un multiple ou sous-multiple adapté	1,7 m	5 mm	380 000 km	4 807 m	12 µm	860 km
Valeur en m						

❖ **Questions :**

1. Essayez de graduer un axe orienté et d'y faire figurer les quatre longueurs les plus petites.
2. Complétez la dernière ligne du tableau : vous exprimerez la longueur en mètres sous la forme **a.10^n**
3. Graduez un axe orienté, de la plus petite à la plus grande valeur de n et placez alors les longueurs du tableau sur cet axe sans chercher précisément l'emplacement entre deux graduations.



L'échelle des longueurs dans l'Univers

- ✓ du noyau atomique aux galaxies, les longueurs s'échelonnent **sur 41 ordres de grandeur, de 10^{-15} m à 10^{26} m**
- ✓ **l'axe des puissances de 10** permet de visualiser l'étendue de l'échelle des longueurs : il est gradué en entiers positifs ou négatifs. un point **d'abscisse n représente la langueur 10^n m**

5. Les chiffres significatifs :

a) Définition :

Les chiffres significatifs d'un nombre sont les chiffres écrits en partant de la gauche, à partir du premier chiffre différent de zéro.
Un nombre écrit en notion scientifique, sous la forme **a.10^n**, possède les mêmes chiffres significatifs que a
Ex : la vitesse de la lumière dans le vide est c=299792,458 km.s^{-1} : ce nombre est écrit avec 9 chiffres significatifs. Le nombre 0,05690 comporte 4 chiffres significatifs.

b) Choix du nombre de chiffres significatifs :

- ✓ les chiffres significatifs du résultat d'une mesure sont les chiffres réellement accessibles par la mesure. Leur nombre dépend donc de la précision de la mesure.
- ✓ Exemple : la mesure , effectuée avec une règle graduée en millimètres (précision 0,5 mm), de la longueur d'une feuille de papier est L = 296,5 $\pm$ 0,5 mm ; ce résultat ne sera pas écrit avec 4 chiffres significatifs, puisque le deuxième chiffre après la virgule ne peut pas être mesuré
- ✓ pour écrire un nombre avec n chiffres significatifs, il suffit de considérer les n chiffres de ce nombre, en partant du premier différent de zéro, et d'arrondir au plus près. Si le chiffre de rang n est supérieur ou égal à 5, on arrondit le nombre au chiffre supérieur.
  Exemple : c s'écrit 2,99792.10^8 m.s^{-1} avec 6 chiffres significatifs, 2,998.10^8 m/s avec 4 chiffres significatifs et 3,0.10^8 m/s avec 2 chiffres significatifs
- ✓ Quand une grandeur est calculée à partir des valeurs d'autres grandeurs, elle sera écrite avec le plus petit nombre de chiffres significatifs présents parmi les valeurs utilisées.
  Exemple : l'aire S d'un rectangle est obtenue par la mesure de sa largeur l = 3 mm et de sa longueur L = 2,12 m. S s'écrira donc 6.10^3 mm^2 avec un seul chiffre significatif

II. L'attraction gravitationnelle :

Au XVII^e , isaac Newton affirme que tous les corps ayant une masse sont en interaction sur terre et dans l'espace : **c'est l'attraction gravitationnelle**, appelée aussi **gravitation universelle.**

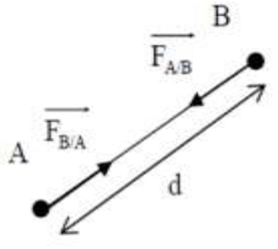
1. La loi de la gravitation universelle

Deux corps ponctuels, respectivement de masse m_A et m_B, séparés par une distance d, exercent l'un sur l'autre des forces attractives, notées $\overrightarrow{F_{A/B}}$ et $\overrightarrow{F_{B/A}}$ de caractéristiques suivantes :

Direction : la direction de la droite AB

Sens : la force $\overrightarrow{F_{A/B}}$ exercée par A sur B est dirigée vers A, celle exercée par B sur A, $\overrightarrow{F_{B/A}}$, est dirigée vers B

Valeur : les forces exercées par A sur B et par B sur A ont la même valeur : **$F = G\frac{m_A m_B}{d^2}$** ; G est la constante universelle de gravitation, encore appelée **constante de Cavendish**



Doc 1 : représentation des forces d'attraction gravitationnelle entre deux corps ponctuels

- Dans le système international d'unités (SI), les masses sont exprimées en kilogrammes (kg), les distances en mètres (m), les forces en Newtons (N) . avec ces unités : G = 6,67.10^{-11} $m^3.kg^{-1}.s^{-2}$
- A l'échelle de l'univers, on peut considérer que tous les corps sont ponctuels (de petite taille)
- En pratique, on considèrera un corps comme **ponctuel** si **taille objet $\leq$ distance d'observation / 100**
- On constate que la valeur de ces forces est :
  - ✓ **Proportionnelle à la masse de chacun des systèmes**
  - ✓ **Inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare leurs centres**

2. Forces d'attraction gravitationnelle entre deux corps :

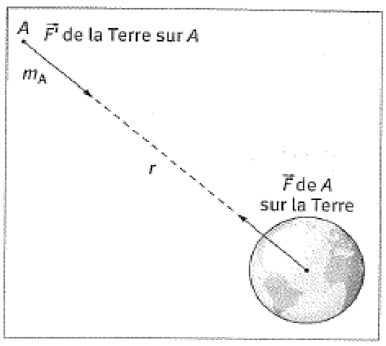
2.1. Corps à répartition sphérique de masse :

Un corps à répartition sphérique de masse est un corps sphérique dont la matière est répartie uniformément ou en couches sphériques autour de son centre.

- ❖ **Remarque** : les étoiles, le soleil, la terre et les autres planètes peuvent être considérés comme des corps à répartition sphérique de masse

2.2. Attraction gravitationnelle entre la terre et un corps de petite taille :

Soit un corps A de petite taille de masse m_A situé à l'altitude h au-dessus de la surface de la terre.
La valeur F des forces d'attraction gravitationnelle entre la Terre et le corps s'écrit **: $F = G\frac{M_T m_A}{(R_T+h)^2}$** ;
tel que : M_T :masse de la terre ; R_T : rayon de la terre

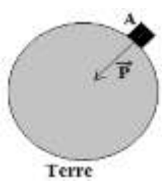


Doc. 2 Représentation des forces d'attraction gravitationnelle entre la Terre et un corps de petite taille.

III. Poids d'un objet

1. Définition :

Le poids d'un objet est la force qu'il subit au voisinage immédiat de la terre.



Remarque :

- ➢ En négligeant la rotation de la terre, sur elle-même, on peut dire que **le poids de l'objet** est simplement **la force d'attraction gravitationnelle exercée par la terre sur l'objet** c'est-à dire **P = $F_{T/A}$**
  - ➢ **Caractéristiques :**
- **Point d'application :** centre de gravité de l'objet
- **Direction :** droite passant par le centre de la terre et le centre du corps

- **Sens :** dirigé vers le centre de la terre
- **Intensité : $P = m_A.g$**

  avec **g** est la valeur de la pesanteur, elle s'exprime en $N.kg^{-1}$ quand le pois en newtons et la masse en kilogrammes

2. Expression de la pesanteur g à une hauteur h de surface de la terre:

D'après le paragraphe (III.1) nous avons prouvé que $P = F_{T/A}$ **avec** $P = m_A.g$ **et** $F_{T/A} = G\frac{M_T m_A}{(R_T+h)^2}$

D'où $m_A g = G\frac{M_T m_A}{(R_T+h)^2}$ alors $\boxed{g = G\frac{M_T}{(R_T+h)^2}}$

❖ **Remarque :**

- ✓ Cette écriture revient à dire que la pesanteur est due à l'attraction gravitationnelle de la terre et que g varie selon l'altitude h . donc le poids dépend de l'altitude , plus un corps s'élève , plus son poids est faible, alors que sa masse reste constante
- ✓ A la surface de la terre on a h =0 donc $\boxed{g_0 = G\frac{M_T}{R_T^2}}$
- ✓ Etant donné que la terre n'est pas exactement sphérique, elle est légèrement aplatie aux pôles. Les pôles sont donc moins éloignés du centre de la terre que les points de l'équateur.

  Pour une altitude nulle : à l'équateur $g = 9,79\ N.kg^{-1}$, aux pôles $g = 9,83\ N.kg^{-1}$, à paris : $g = 9,81\ N.kg^{-1}$