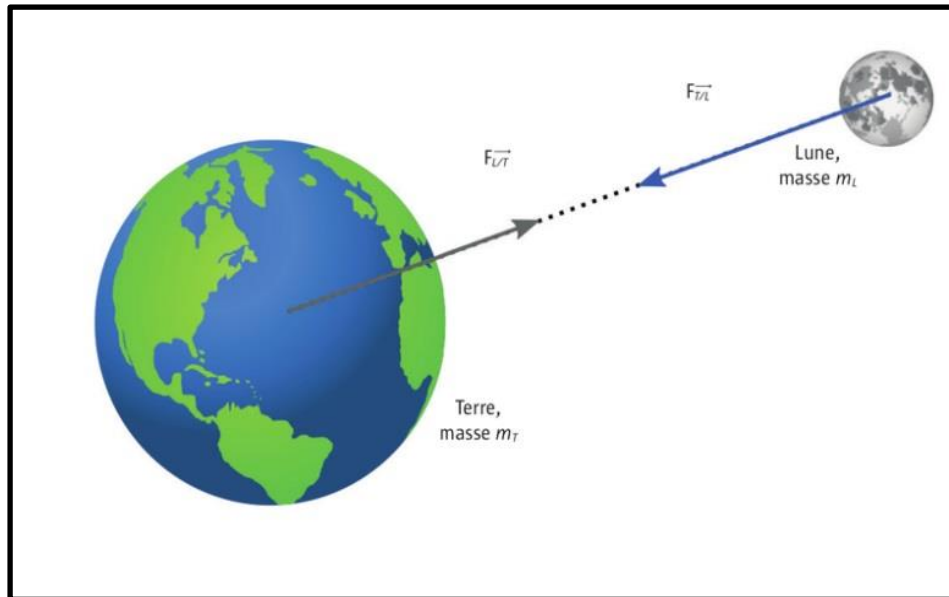


# Chapitre 1 : La gravitation universelle



## + Situation-problème :

- Pourquoi une pomme tombe-t-elle d'un arbre vers le bas ?
- Pourquoi la lune tourne-t-elle autour de la terre ?

## + Objectifs :

- Savoir classer des objets, des noyaux atomiques jusqu'aux galaxies en fonction de leur taille
- Savoir positionner ces objets sur une échelle des longueurs graduée en puissance de 10
- Savoir donner un ordre de grandeur et l'utiliser pour comparer deux longueurs
- Connaitre la loi de l'attraction gravitationnelle de Newton
- Expliquer pourquoi les planètes gravitent autour du soleil
- Utiliser la relation entre le poids et la masse d'un objet

## ✚ Introduction :

Des **microscopes** perfectionnés nous 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 ? Comment pouvons-nous positionner ces objets sur une même échelle des longueurs ?**

### I. Échelle des longueurs / Échelle des distances

#### 1. Ecriture scientifique / notation scientifique

L'écriture scientifique d'un nombre s'écrit sous la forme de produit :  $a \cdot 10^n$ , avec **a** est **nombre décimal** : ( $1 \leq a < 10$ ) et **n** est un **nombre entier relatif** (positif ou négatif)

➤ **Exemples** :  $1,05 \cdot 10^6$  ;  $6,03 \cdot 10^{-4}$  ;  $8,93 \cdot 10^8$  ;  $2,51 \cdot 10^{-19}$

#### 2. Ordre de grandeur :

L'ordre de grandeur d'un nombre est la puissance de 10 la plus proche de ce nombre

Dans la notation scientifique  $a \cdot 10^n$

Si  $a < 5$  alors l'ordre de grandeur de ce nombre est  $10^n$  :

Si  $a \geq 5$  alors l'ordre de grandeur est  $10^{n+1}$

➤ **Exemples** :

Notation scientifique	$1,05 \cdot 10^6$	$6,03 \cdot 10^{-4}$	$8,93 \cdot 10^8$	$2,51 \cdot 10^{-19}$
Ordre de grandeur	$10^6$	$10^{-3}$	$10^9$	$10^{-19}$

#### 3. Intérêt de l'ordre de grandeur :

- 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.

Exemple : 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

#### ❖ Remarque importante :

Pour comparer les valeurs prises par une grandeur physique ( masse, longueur, énergie ...) il faut les convertir dans la même unité.

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

Dans le système international d'unités ( S.I ) ; l'unité de longueur est le **mètre ( m )** . On exprime souvent les longueurs avec des **multiples** ou des **sous-multiples** de mètre.

Complétez le tableau suivant :

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

#### ❖ Remarque :

##### ✓ Unités utilisées en astronomie :

- Unité Astronomique ( U.A )** : est la distance moyenne entre le centre de la terre et le centre du soleil tel que **1 U.A =  $150 \cdot 10^6$  Km =  $1,5 \cdot 10^8$  m** .
- Année Lumière ( A.L )** : est la distance parcourue par la lumière au cours d'une année avec la vitesse de propagation  $c = 3 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup> dans le vide tel que **1 A.L =  $9,5 \cdot 10^{15}$  m**

##### ✓ Unités utilisées en atomistique :

- Angström** : pour donner la taille des particules, des atomes.. , on utilise parfois l'**Angström** , de symbole **Å** , Tel que **1 Å =  $10^{-10}$  m**
- Micron** : on emploie également le terme «**micron**» au lieu micro-mètre

#### 5. Les chiffres significatifs :

Les **chiffres significatifs** d'un nombre sont les chiffres écrits en partant de la gauche, à partir du premier chiffre différent de zéro.

➤ **Exemples** :

- 2,3** : les chiffres significatifs sont 2 et 3
- 0,063** Ce nombre comporte 2 chiffres significatifs : 6 et 3
- 0,00803** Ce nombre est écrit avec 3 chiffres significatifs : 8 , 0 et 3

#### ❖ Remarques importantes :

- Un nombre écrit en notation scientifique, sous la forme  $a \cdot 10^n$  , possède les mêmes chiffres significatifs que a

➤ **Exemples** :

Nombre	Notation scientifique	Chiffres significatifs
2,3	$2,3 \cdot 10^0$	2 et 3
0,063	$6,3 \cdot 10^{-2}$	6 et 3
0,00803	$8,03 \cdot 10^{-3}$	8 , 0 et 3

- Le nombre des chiffres significatifs est concerné la précision de mesure, par exemple 2,30 est plus précis que 2,3. Puisque 2,30 possède 3 chiffres significatifs par contre 2,3 n'en possède que 2

**Exercice 1 : Ecriture scientifique, ordre de grandeur et chiffres significatifs**

Complétez le tableau suivant :

Dimension	valeur	Ecriture scientifique ( en m )	Ordre de grandeur	Nombre des chiffres significatifs
Taille d'être humain adulte	170 cm			
Hauteur de la Tour Hassan	44,3 m			
Altitude de Toubkal	4,16 Km			
Diamètre d'une globule rouge	7 um			
Rayon atome d'hydrogène	0,105 nm			
Rayon de la terre	6400 Km			
Distance moyenne Terre – Lune	380 000 Km			
Distance moyenne Terre-Soleil	150.10 <sup>9</sup> Km			

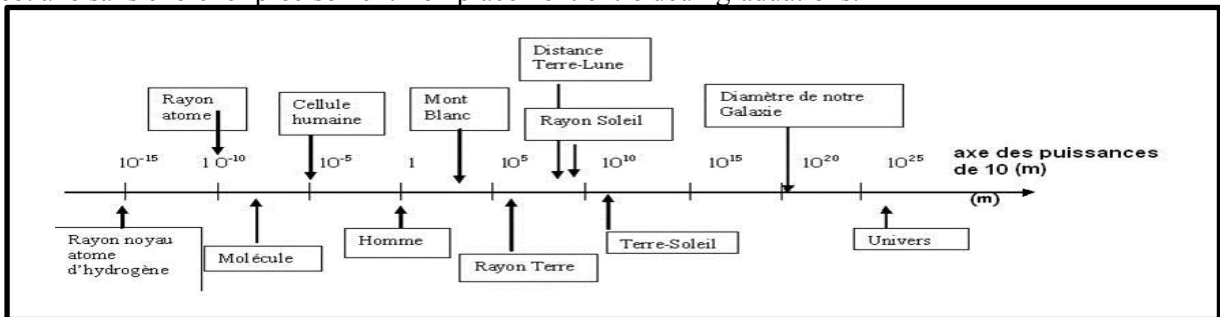
**6. L'axe des puissances de 10 :**

**Activité 2 : L'axe des puissances de 10 :**

- La représentation des longueurs :** il est difficile de représenter sur une même échelle la taille d'un objet observé au microscope et celle d'une galaxie photographiée à l'aide d'un télescope. Pour cela, il faut utiliser un outil mathématique adapté : Les physiciens utilisent une échelle des longueurs graduée en puissance de 10 : c'est l'axe de puissance de 10.

**❖ Questions :**

- En utilisant le tableau précédant, essayez de graduer un axe orienté et d'y faire figurer les quatre longueurs les plus petites.
- 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.



**II. L'attraction gravitationnelle :**

**Introduction**

Au XVII<sup>e</sup>, 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. Elle permet d'expliquer le mouvement des planètes autour du soleil, mais aussi la chute des corps sur la terre, due à leur poids.

**1. Énoncé de La loi de la gravitation universelle**

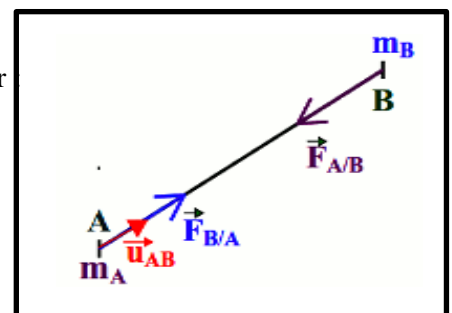
Deux corps s'attirent mutuellement à cause de leur masse, exercent l'un sur l'autre des forces attractives de même valeur

**2. Formulation mathématique**

**2.1 Cas deux corps ponctuels :**

Deux corps ponctuels, respectivement de masse  $m_A$  et  $m_B$ , séparés par une distance  $d = AB$ , exercent l'un sur l'autre des forces attractives, modélisées par

- $\vec{F}_{A/B}$  : la force exercée par A sur B
- $\vec{F}_{B/A}$  : la force exercée par B sur A



Les caractéristiques de la force $\vec{F}_{A/B}$	Les caractéristiques de la force $\vec{F}_{B/A}$
• Point d'application : .....	• Point d'application .....
• Droite d'action : .....	• Droite d'action : .....
• Le sens : .....	• Le sens : .....
• L'intensité : .....	• L'intensité : .....

Dans le S I d'unités, les masses  $m_A$  et  $m_B$  sont exprimés en Kilogramme ( Kg ), la distance  $d$  en mètre ( m ), et les forces en N, avec ces unités  $G$  en  $N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$   
 $G$  étant une **constante de la gravitation universelle**. Elle vaut  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$

➤ **Conclusion :**

Ces deux forces  $\vec{F}_{A/B}$  et  $\vec{F}_{B/A}$  ont :

- Des points d'application différents
- La même ligne d'action (direction) : c'est la droite ( AB )
- Des sens opposés : la force  $\vec{F}_{A/B}$  exercée par A sur B est dirigée vers A, celle exercée par B sur A,  $\vec{F}_{B/A}$  est dirigée vers B
- La même intensité (la même valeur) ;  $F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A m_B}{d^2}$

❖ **Remarque :**

- D'après les caractéristiques précédentes on peut écrire que  $\vec{F}_{A/B} = - \vec{F}_{B/A}$
- Cette loi est aussi valable pour des corps volumineux présentant une répartition sphérique de masse (même répartition de masse autour du centre de l'objet). C'est le cas des planètes et des étoiles, la distance  $d$  est celle qui sépare leurs centres.

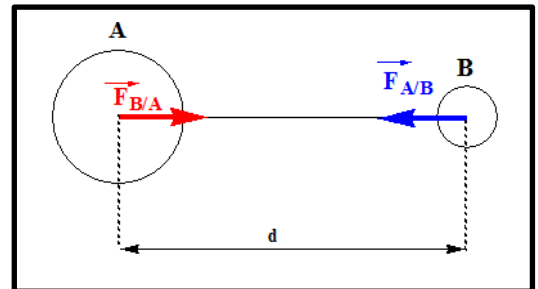
**2.2 Cas deux corps sphériques :**

$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A m_B}{d^2} = G \frac{m_A m_B}{(G_A G_B)^2}$$

$G_A G_B$  : la distance entre les centres de gravité de corps A et B

❖ **Remarque :**

- 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



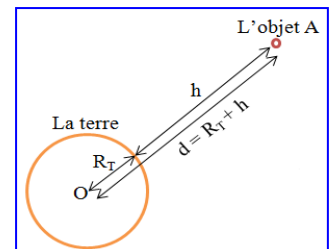
**3. Attraction gravitationnelle entre la terre et un corps de petite taille :**

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 :

$M_T$  : la masse de la terre ;  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24}$  Kg ,  $R_T$  : le rayon de la terre ;  $R_T = 6380$  Km



✚ **Exercice 2 : Force de gravitation universelle**

On considère un satellite de télécommunications (S) de masse  $m_s = 50,96$  Kg, en rotation autour de la Terre selon une orbite circulaire de rayon  $r = 7R_T$  à partir du centre de la terre.

1. Représenter  $\vec{F}_{T/S}$  la force de gravitation exercée par la terre sur le satellite ( S )
2. Exprimer littéralement l'intensité de la force  $\vec{F}_{T/S}$  et Calculer la valeur de cette force
3. Déterminer la valeur de la force d'attraction gravitationnelle  $\vec{F}_{S/T}$  exercée par le satellite sur la terre
4. Calculer l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle entre la terre et le satellite ( S ), si le satellite est placé sur la terre

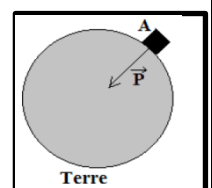
**III. Poids d'un objet**

**1. Définition :**

Tous corps, de masse  $m_A$  et de centre de gravité G, placé au voisinage de la terre est soumis à une force attractive appelé poids  $\vec{P}$ .

❖ **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  $\vec{P} = \vec{F}_{T/A}$



## 2. Les Caractéristiques du poids d'un corps A

- **Point d'application** : Le point G , centre de gravité de l'objet A
- **Direction** : droite passant par le centre du corps et le centre de la terre (la verticale passant par le point G )
- **Sens** : du haut vers le bas (dirigé vers le centre de la terre )
- **Intensité** :  $P = m_A \cdot g$

Avec  $m_A$  la masse de l'objet en Kg et  $g$  l'intensité de la pesanteur en  $N \cdot kg^{-1}$

## 3. Expression de la pesanteur $g$ à une hauteur $h$ de surface de la terre:

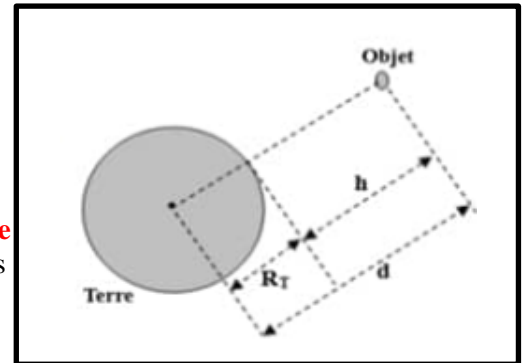
D'après le paragraphe ( III.1) nous avons prouvé que  $P = F_{T/A}$

avec  $P = m_A \cdot g$  et  $F_{T/A} = G \frac{M_T m_A}{(R_T + h)^2}$

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

### ❖ 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  $g = 9,79 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$  , aux pôles  $g = 9,83 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$  ,



### ❖ Exercice 3 : Le poids d'un objet

On considère un astronaute (A), de masse  $m_A$  , se trouve à une hauteur  $h$  de la surface de la Lune de masse  $m_L$  .

1. Représenter sur un schéma  $\vec{F}_{L/A}$  la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Lune sur l'astronaute (A)
  2. Donner l'expression de la force de gravitation exercée par la Lune sur l'astronaute A
  3. Déterminer l'expression littérale de l'intensité de la pesanteur  $g_h$  à la hauteur  $h$  de la surface de la lune
  4. En déduire l'expression de l'intensité de la pesanteur à la surface de la Lune  $g_{0L}$  , puis calculer sa valeur
  5. Donner l'expression de la hauteur  $h$  en fonction de  $g_{0L}$ ;  $g_h$  et  $R_L$
  6. Calculer h l'altitude de l'astronaute A de la surface de la Lune pour  $g_h = 2,45 \text{ N} \cdot \text{Kg}^{-1}$
  7. Donner l'expression littérale de l'intensité de la pesanteur  $g_{0T}$  à la surface de la terre
  8. Comparer  $g_{0L}$  et  $g_{0T}$  , commenter
  9. Déterminer le poids de l'astronaute A à la surface de la lune puis à la surface de la terre
  10. Des astronautes ont rapporté  $m_r = 120 \text{ Kg}$  de roches. déterminer le poids de ces roches :
    10. 1 A la surface de la lune
    10. 2 Dans la capsule en orbite autour de la lune ; à l'altitude  $h = 150 \text{ km}$
- $m_A = 80 \text{ Kg}$  ;  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$  ;  $R_T = 6380 \text{ Km}$  ;  $M_L = 7,34 \cdot 10^{22} \text{ Kg}$  ;  $R_L = 1740 \text{ Km}$  ;