

## Gravitation Universelle

Le premier à avoir compris que la **pesanteur terrestre** et la **gravitation céleste** (les mouvements astronomiques) étaient le résultat d'une seule et même interaction est Isaac Newton.

### 1) La loi de la gravitation :

#### a) Un peu de vocabulaire...

Cette loi fut énoncée par Isaac Newton pour deux **corps ponctuels**, c'est-à-dire dont les dimensions sont très petites par rapport à la distance qui les sépare.

En pratique, on considèrera un corps comme **ponctuel** si :

$$\text{taille objet} \leq (\text{distance d'observation} / 100)$$

**Exo 1 : A partir de quelle distance peut-on considérer ces corps ponctuels ?**

objets	Dimension (rayon)	Distance (à calculer)
balle de tennis	3 cm	
Lune	$1,75 \cdot 10^3$ km	
Terre	$6,4 \cdot 10^3$ km	
Soleil	$7,0 \cdot 10^5$ km	

Sachant que les distances **Terre/Lune** et **Soleil/Terre** valent en moyenne  $3,8 \cdot 10^5$  km et  $1,5 \cdot 10^8$  km, que pouvez-vous conclure ?

#### Conclusion :

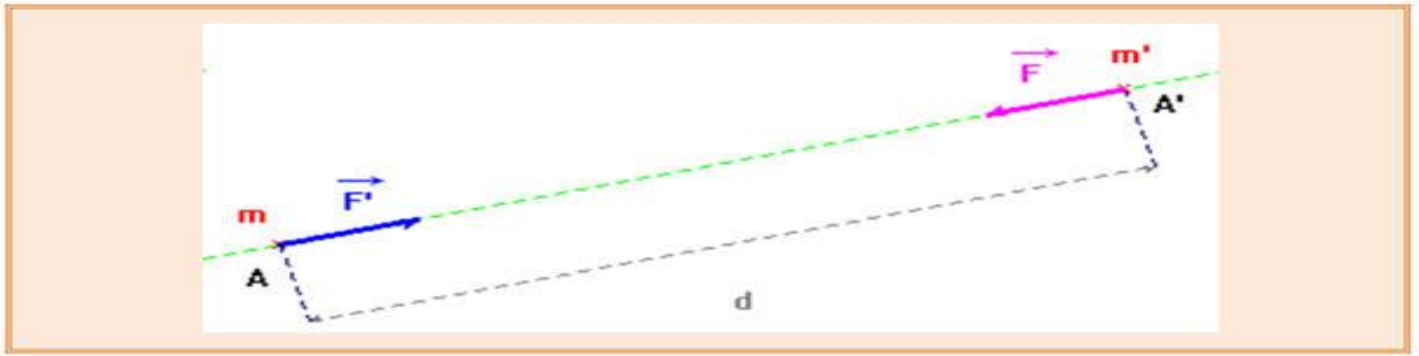
Les astres peuvent être considérés comme corps ponctuels en ce qui concerne leurs effets gravitationnels.

#### b) Enoncé de la loi de gravitation :

Deux corps ponctuels, de masses **m** et **m'**, séparés par une distance **d**, exercent l'un sur l'autre des forces attractives, de même valeur .

#### c) Formulation mathématique et schéma :

$F = F' = G \cdot \frac{m \cdot m'}{d^2}$	<b>G</b> est appelé la constante de gravitation universelle : $G \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ $G \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{N}$
	<b>F</b> : Valeur de la force <b>F</b> en Newton N.
	<b>m</b> et <b>m'</b> : Valeur des masses en kg.
	<b>D</b> : Distance séparant les deux masses ponctuelles : en m



**Exo 2 :**

- Calculez l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle entre 2 individus (que l'on assimilera à des corps ponctuels distant de 20 cm ). Données :  $m_A = 75 \text{ kg}$  et  $m_B = 55 \text{ kg}$
- Calculez l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle entre la Terre et la plus lourde des deux personnes.  
Données :  $M_{\text{Terre}} = 6,0.10^{24} \text{ kg}$  et  $R_{\text{Terre}} = 6,4.10^3 \text{ km}$ .
- Comparer les deux valeurs et conclure .

**Rep 2 :**

a- Expression littérale :

Expression numérique :

Application numérique :

b- Expression littérale :

Expression numérique :

Application numérique :

c-

**Conclusion :** à l'échelle humaine, les effets de gravitation autres que ceux dus à la Terre sont négligeables.

Lorsque les objets deviennent **très massifs** c'est le cas pour les objets astronomiques, elle est perceptible.

**2-Le champ de gravitation - Poids du corps :**

**a) Notion de champ gravitationnel :**

Pour interpréter l'interaction gravitationnelle, on peut stipuler que tout objet (A) (de **masse M** et placé en une **origine spatiale O**) crée autour de lui un champ gravitationnel attractive.

En un point P (hors de l'objet (A)), si un second objet de masse m y est placé ; alors il sera soumis à la force de gravitation exercée par (A) .

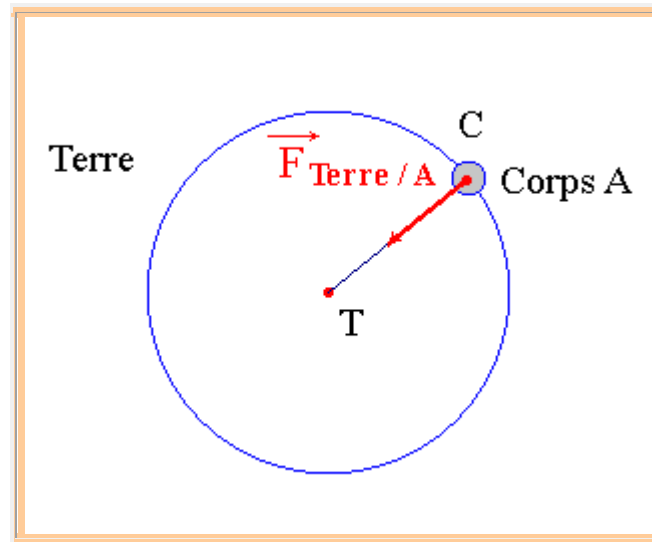
**Rem :** nous supposons que le corps situé en P ne modifie pas le champ de gravitation auquel il est soumis.

b) Expression du champ gravitationnel (intensité de pesanteur) :

i)- Relation entre le poids d'un objet et la force de gravitation exercée par la Terre :

Tout corps A, de centre C et de masse  $m$ , placé au voisinage de la Terre subit une force gravitationnelle de la part de la Terre.

Le centre de la Terre est noté T, sa masse  $m_T$  et son rayon  $R_T$ .



L'attraction exercée par la Terre sur le corps A est modélisée par la force caractérisée par :

$\vec{F}_{Terre/A}$	Point d'application : C
	Direction : la droite (TC). Elle passe par le centre de la Terre. <b>C'est la verticale du lieu .</b>
	Sens : de C vers T. La force est orientée vers le bas.
	Valeur de la force : $F_{Terre/A} = G \times \frac{m \cdot m_T}{d^2}$ Si le corps est au voisinage de la Terre ou à la surface de la Terre on considère que : $d \approx R_T$ . Donc : $F_{Terre/A} \approx G \cdot \frac{m \cdot m_T}{R_T^2} = m \cdot \left( G \cdot \frac{m_T}{R_T^2} \right)$

**Remarque :**

Pour tous les objets qui se trouvent à la surface de la Terre ou au voisinage de la Terre, le terme  $G \cdot \frac{m_T}{R_T^2}$  est le même. Il est caractéristique de la Terre.

On peut calculer sa valeur : Données :  $G \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{N}$  ,  $R_T = 6,38 \times 10^3 \text{ km}$  et  $m_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$ .

$$G \cdot \frac{m_T}{R_T^2} = 6,67 \times 10^{-11} \cdot \frac{6,0 \times 10^{24}}{(6,38 \times 10^3)^2}$$

$$G \cdot \frac{m_T}{R_T^2} \approx 9,8 \text{ N / kg}$$

On retrouve la valeur de  $g \approx 9,8 \text{ N / kg}$  l'intensité de la pesanteur .

On peut écrire la relation suivante, pour les objets de masse  $m$  au voisinage de la Terre :

$$F_{\text{Terre / A}} \approx 9,8 m \approx g \cdot m$$

On retrouve alors l'expression du poids d'un corps de masse  $m$  au voisinage de la Terre vue au collègue :  $P = m \cdot g$

Donc le poids d'un objet sur Terre est pratiquement égal à la force gravitationnelle exercée par la Terre sur l'objet

$\vec{P} = \vec{F}_{\text{Terre / A}}$	Point d'application : C : centre de gravité du corps A
	Direction : Verticale du lieu
	Sens : orientée vers le bas.
	Valeur de la force : $P = m \cdot g$ Avec $g = 9,8 \text{ N / kg}$ , $g$ est l'intensité de la pesanteur.

## ii) Expression du champ gravitationnel (intensité de pesanteur) :

- *A la surface de la terre :*

Comme le poids d'un objet sur Terre est pratiquement égal à la force gravitationnelle exercée par la Terre sur l'objet.

$$F = G \cdot \frac{M_T \cdot m}{R_T^2} = m \cdot \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} \text{ et } P = m \cdot g \text{ . d'où : } g = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2}$$

- *A une altitude h de la surface de la terre :*

Tout corps A, de centre C et de masse  $m$ , placé à une altitude  $h$  de la surface de la Terre subit une force gravitationnelle de la part de la Terre.

La distance entre le centre de la Terre et C est :  $d = R_T + h$

$$\text{Comme } P=F \text{ soit } m \cdot g_h = G \cdot \frac{m \cdot M_T}{d^2} = G \times \frac{m \cdot M_T}{(R_T + h)^2}$$

Avec  $g_h$  l'intensité de la pesanteur à l'altitude  $h$ .

On en déduit :  $g_h = G \times \frac{m_T}{(R_T + h)^2}$

A la surface de la terre  $h = 0$  :  $g_0 = G \times \frac{m_T}{(R_T)^2}$

D'où :  $g_h = g_0 \times \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$

**c) Poids d'un corps sur la Lune :**

Le poids d'un corps sur la Lune peut s'identifier à la force gravitationnelle exercée par la Lune sur l'objet. Montrons qu'un corps de masse  $m$  n'a pas le même poids sur la Terre que sur la Lune.

$$F_{Lune/A} = G \cdot \frac{m \cdot m_L}{R_L^2} = g_L \cdot m = P_L$$

$$g_T \approx \frac{G \cdot m_T}{R_T^2} \text{ et } g_L \approx \frac{G \cdot m_L}{R_L^2}$$

Avec  $R_L = 1,75 \times 10^6$  m et  $m_L = 7,34 \times 10^{22}$  kg on a :

$$g_L \approx \frac{G \cdot m_L}{R_L^2} \approx \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 7,34 \times 10^{22}}{(1,75 \times 10^6)^2} \approx 1,6 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\frac{g_T}{g_L} \approx \frac{9,8}{1,6} \approx 6,1$$

d'où :  $\frac{P_T}{P_L} \approx 6,1$

**Exo 3 :**

a) Calculer les valeurs du champ de gravitation terrestre à la surface de la Terre (point S) et au niveau de l'orbite du satellite SPOT, situé à l'altitude 832 km (point P).

Données  $M_{Terre} = 6,0 \cdot 10^{24}$  kg,  $R_{Terre} = 6,4 \cdot 10^3$  km.

b) Représenter les vecteurs champs de gravitation de la Terre aux points S et P à l'échelle 2 cm pour 10 N/kg.

**Exo 4 :** Comparer cette valeur à celle des champs de gravitation, créé à la surface de la Terre, par le Soleil, la Lune et un avion.

Données :  $d_{Terre/Soleil} = 1,5 \cdot 10^8$  km,  $M_S = 2,0 \cdot 10^{30}$  kg ;  $d_{Terre/Lune} = 3,8 \cdot 10^5$  km,  $M_L = 7,0 \cdot 10^{22}$  kg ; altitude avion  $\approx 10$  km,  $M_{avion} \approx 300$  tonnes

**Exo 5 : a)** On note  $g_0$  l'intensité du champ de pesanteur à la surface de la Terre :  $g_0 = 9,8 \text{ N} \cdot \text{Kg}^{-1}$ .

Donnez l'expression  $g(h)$  de l'intensité du champ de pesanteur à l'altitude  $h$  au dessus du sol terrestre en fonction de  $g_0$ ,  $R_T$  et  $h$ .

b) A quelle altitude  $h$  le champ de pesanteur vaut-il encore 99 % de sa valeur à la surface de la Terre ?