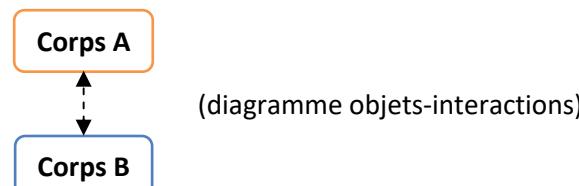


Professeur	Bahloul Khalid (+212) 622-17-65-52
Chapitre	La gravitation universelle (l'essentiel du cours + applications)
Niveaux	Seconde

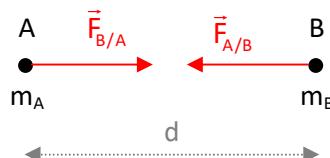
# La gravitation universelle

## 1. L'interaction gravitationnelle entre deux corps

Au XVII<sup>e</sup> siècle, **Isaac Newton** affirme que deux corps quelconques A et B sont en interaction gravitationnelle, du fait qu'ils possèdent une masse : tout corps A exerce une attraction gravitationnelle sur un autre corps B et réciproquement. Tous les corps possédant une masse s'attirent mutuellement, cette force modélise une action mécanique à distance :



L'interaction gravitationnelle entre deux corps ponctuels, A et B, de masses respectives  $m_A$  et  $m_B$ , séparés d'une distance  $d$ , est modélisée par des forces d'attraction gravitationnelles,  $\vec{F}_{A/B}$  et  $\vec{F}_{B/A}$ , dont les caractéristiques sont :

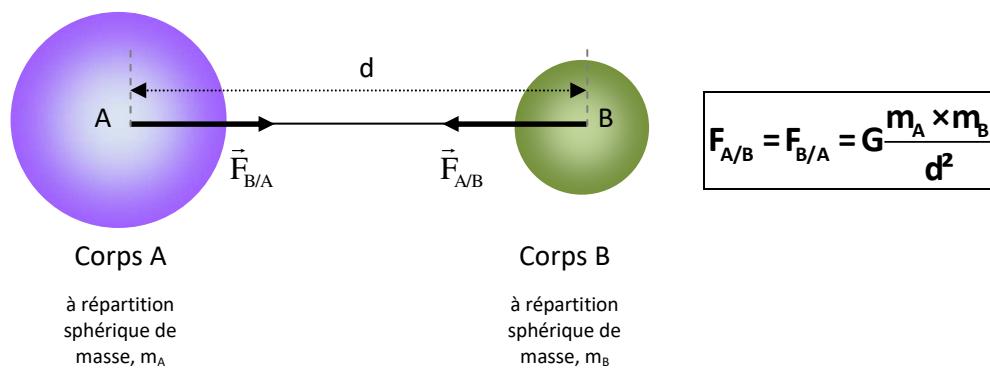


- Direction : la direction de la droite (AB)
- Sens : dirigée de B vers A (pour  $\vec{F}_{A/B}$ ) ou de A vers B (pour  $\vec{F}_{B/A}$ )
- Point d'application : le centre de gravité du corps correspondant  
le point A (pour  $\vec{F}_{A/B}$ ) ou le point B (pour  $\vec{F}_{B/A}$ )
- Intensité :

$$\vec{F}_{A/B} = \vec{F}_{B/A} = G \frac{m_A \times m_B}{d^2}$$

$m_A$  et  $m_B$  = masses respectives de A et B (en kg)  
 $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$  (constante de gravitation)  
 $d$  = distance entre A et B (en m)  
 $F_{A/B}$  et  $F_{B/A}$  (en N)

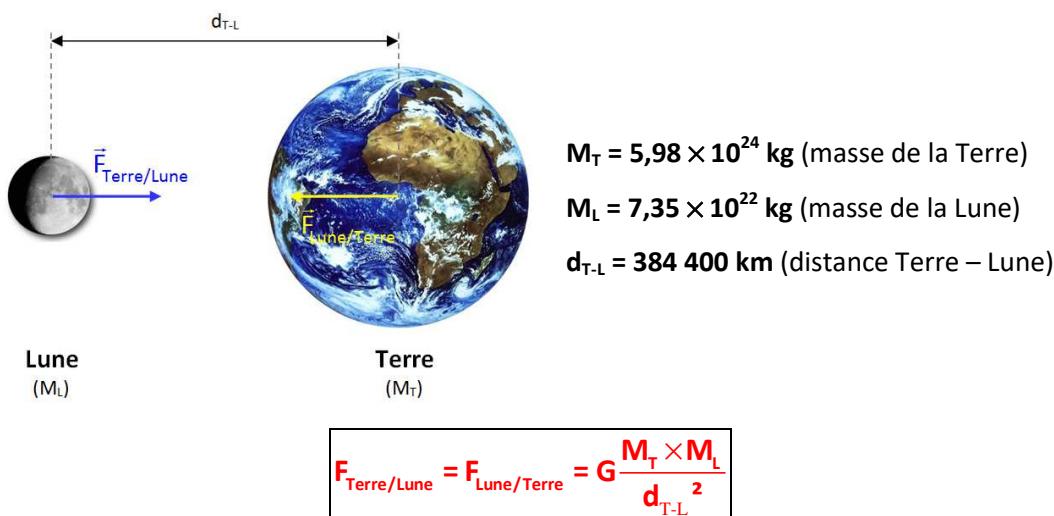
$\Rightarrow \vec{F}_{A/B}$  et  $\vec{F}_{B/A}$  ont donc même direction, même valeur mais sont de sens opposé.



## 2. Le système Terre – Lune

<b>Professeur</b>	Bahloul Khalid (+212) 622-17-65-52
<b>Chapitre</b>	La gravitation universelle (l'essentiel du cours + applications)
<b>Niveaux</b>	Seconde

On considère que la plupart des astres peuvent être assimilés à des corps à répartition sphérique de masse. **La loi de l'attraction gravitationnelle peut donc s'appliquer aux astres :**



### À RETENIR :

La loi de l'attraction gravitationnelle s'applique à tout l'Univers, aussi bien aux interactions entre les astres qu'aux interactions entre la Terre et les objets à son voisinage. C'est pourquoi on lui donne le nom de **gravitation universelle**.

### Exercice :

- 1) Calculez la valeur de la force d'attraction gravitationnelle qu'exerce la Terre sur la Lune

Données :  $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$  ;  $M_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$  ;  $d_{T-L} = 3,83 \times 10^5 \text{ km}$  (distance moyenne entre les centres de la Terre et de la Lune)

- 2) Représentez sur un schéma (échelle : 1 cm  $\hat{=} 10^{20} \text{ N}$ ) la force qu'exerce la Terre sur la Lune et la force qu'exerce la Lune sur la Terre.

### Réponses :

- 1) En considérant la Terre et la Lune comme des corps à répartition sphérique de masse, on applique la loi de l'attraction gravitationnelle :

$$F_{\text{Terre/Lune}} = G \frac{M_T \times M_L}{d_{T-L}^2}$$

$$\text{A.N. : } F_{\text{Terre/Lune}} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,97 \cdot 10^{24} \times 7,35 \cdot 10^{22}}{(3,83 \times 10^8)^2} = \boxed{2,00 \times 10^{20} \text{ N}}$$

- 2) Voir ci-dessus.

### 3. Pesanteur et attraction terrestre

<b>Professeur</b>	Bahloul Khalid (+212) 622-17-65-52
<b>Chapitre</b>	La gravitation universelle (l'essentiel du cours + applications)
<b>Niveaux</b>	Seconde

Comparons la force de gravitation qu'exerce la Terre sur un objet de masse  $m$  et le poids de ce même objet :

	<b>Direction</b>	<b>Sens</b>	<b>Intensité</b>	<b>Commentaire</b>
Poids	Verticale	Vers le bas	$P = m \times g$ ( $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Comparer $P$ et $F$ revient à comparer $g$ et $G \frac{M_T}{d^2}$ :
Force de gravitation	Verticale passant par le centre de la Terre	Vers le centre de la Terre	$F = m \frac{G \times M_T}{d^2}$	Soit $G \frac{M_T}{d^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 5,98 \cdot 10^{24}}{(6380 \times 10^3)^2}$ $\Leftrightarrow G \frac{M_T}{d^2} = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \square g$
Conclusion	Pratiquement identique	Pratiquement identique		Pratiquement Identique

⇒ On observe qu'avec la précision choisie, le poids d'un corps peut être identifié à la force de gravitation qu'exerce la Terre sur lui. Nous dirons donc que ces deux forces sont égales en **première approximation**.

#### À RETENIR :

- On identifiera le poids  $\bar{P}$  d'un corps à la force d'attraction gravitationnelle  $\vec{F}_{\text{Terre/corps}}$  exercée par la Terre sur ce corps :

$$\bar{P} = \vec{F}_{\text{Terre/corps}}$$

- L'intensité de pesanteur terrestre résulte de l'attraction exercée par la Terre sur les objets qui l'entourent :

$$g_T = G \frac{M_T}{R_T^2} \quad (\text{à la surface de la Terre}, g_T \approx 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1})$$

- L'intensité de la pesanteur terrestre dépend de la masse de l'astre et de la distance,  $h$  (altitude), entre le lieu considéré et le centre de l'astre :

$$g_T = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \quad (h = 0 \text{ à la surface de la Terre})$$

⇒ La valeur du poids d'un corps varie selon l'altitude du lieu où il se trouve.

Exercice :  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ ;  $M_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$ ;  $R_L = 1737,4 \text{ km}$ ;  $g_T = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$  (à Paris)

- Calculez la valeur l'intensité de pesanteur lunaire «  $g_L$  », à la surface de la Lune.
- Calculez ensuite votre poids sur la Lune et comparez-le à votre poids sur la Terre.
- Quelle est la masse d'un corps qui, sur la Lune, aurait un poids de 1 N?

Réponses :

a)  $g_L = G \frac{M_L}{R_L^2} \Rightarrow g_L = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{7,35 \times 10^{22}}{(1737,4 \times 10^3)^2} \Leftrightarrow g_L = 1,62 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

b)  $P_T = m \times g_T \Rightarrow P_T = 85 \times 9,81 = 834 \text{ N (sur Terre)}$   
 $P_L = m \times g_L \Rightarrow P_L = 85 \times 1,62 = 138 \text{ N (sur la Lune)}$

L'intensité du poids d'un objet est environ 6 fois plus faible sur la Lune que sur la Terre

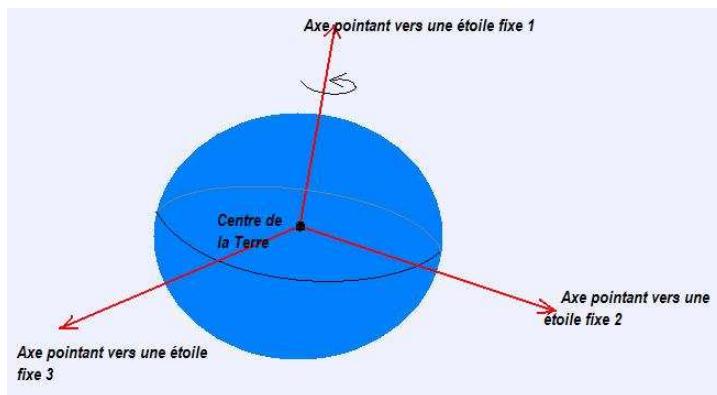
c) On applique la relation  $P_L = m \times g_L \Rightarrow m = \frac{P_L}{g_L} \Leftrightarrow m = 1/1,62 = 617 \text{ g}$

#### 4. Le mouvement de la Lune

Pourquoi la Lune tourne autour de la Terre alors que la pomme tombe ?

Professeur	Bahloul Khalid (+212) 622-17-65-52
Chapitre	La gravitation universelle (l'essentiel du cours + applications)
Niveaux	Seconde

Rappel : le **référentiel géocentrique** est un référentiel constitué du centre de la Terre et de 3 axes orientés vers des étoiles suffisamment lointaines pour sembler immobiles.



Le référentiel géocentrique est constitué par le globe terrestre qui serait privé de son mouvement de rotation autour de lui-même.

Dans le référentiel géocentrique, le mouvement de la Lune n'est pas rectiligne uniforme. Elle reste au voisinage de la Terre car une force attractive (la force d'attraction gravitationnelle) la ramène continuellement vers la Terre :

<p>direction du mouvement pour la position 1</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p><math>\vec{F}_{\text{Terre/Lune}}</math></p> <p><math>\vec{F}_{\text{Terre/Lune}}</math></p> <p><math>\vec{F}_{\text{Terre/Lune}}</math></p> <p>Terre</p>	<p>la trajectoire sans attraction</p> <p>« chute »</p> <p>la trajectoire réelle</p> <p>Terre</p>
<p>La lune est le satellite naturel de la Terre : elle possède une vitesse suffisante pour être satellisée.</p>	<p>D'après le principe de l'inertie, la Lune est donc soumise à une force ou bien à des forces qui ne se compensent pas : la force de gravitation modifie sa direction mais pas sa vitesse.</p>

⇒ La Lune est en chute libre permanente : son mouvement est **circulaire uniforme**.

### Application 1



Soit une sphère en chute libre.

- 1°- Définir le système.
- 2°- Définir le référentiel.
- 3°- Faire le bilan de toutes les forces qui agissent sur le système.
- 4°- a- Quelle force représente  $\vec{F}_1$  ?
- b- Quelle force représente  $\vec{F}_2$  ?

<b>Professeur</b>	Bahloul Khalid (+212) 622-17-65-52
<b>Chapitre</b>	La gravitation universelle (l'essentiel du cours + applications)
<b>Niveaux</b>	Seconde

5°- La masse de la boule est de 100g, en déduire la valeur de  $\vec{F}_2$ .  
On prendra  $g=9,8 \text{ N.Kg}^{-1}$ .

### Correction

1. Système : sphère
2. Référentiel : terrestre galliléen.
3. Le système est soumis à :
  - $\vec{F}_1$  : Verticale, vers le haut, appliquée en G.
  - $\vec{F}_2$  : verticale, vers le bas appliquée en G.
4.
  - a.  $\vec{F}_1$  : représente les forces de frottements.
  - b.  $\vec{F}_2$  : représente le poids P.
5.  $P = m.g = 100.10^{-3} . 9,8 = 0,98 \text{ N}$

### Application 2

Les 3 enregistrements suivants sont obtenus lorsque le mobile se déplace de la gauche vers la droite.  
Pour chaque enregistrement **a**, **b** et **c** : qualifier le mouvement de l'objet. Justifier.



### Correction

Enregistrement a : mouvement **rectiligne uniforme** car les points sont alignés et la distance entre deux points est constante.  
Enregistrement b : mouvement **circulaire uniforme** car les points forment un arc de cercle et la distance entre deux points est constante.  
Enregistrement c : mouvement **rectiligne ralenti** car les points sont alignés et la distance entre deux points diminue.

### Application 3

<b>Professeur</b>	Bahloul Khalid (+212) 622-17-65-52
<b>Chapitre</b>	La gravitation universelle (l'essentiel du cours + applications)
<b>Niveaux</b>	Seconde

Un professeur décide de faire une sortie extra-véhiculaire libre (il sort de la fusée sans aucun lien matériel le rattachant à la fusée). Il se trouve alors à 380 km d'altitude par rapport à la Terre.

1. Calculer la valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur le Professeur sachant que sa masse totale avec sa combinaison est  $m = 218 \text{ kg}$ .
2. Quelle est la valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par le professeur sur la Terre ? Justifier.
3. Comparer la valeur de la force calculée à la question 1. à celle du poids du même ensemble {professeur + équipement} sur Terre, au sol.
4. Au vu des résultats précédents, peut-on assimiler l'état d'impesanteur de l'astronaute à son absence de pesanteur, c'est-à-dire à une absence d'interaction avec la Terre ?
5. La fusée possède une masse d'environ  $m_F = 2,0 \text{ t}$ . Sans faire de calcul, répondre à la question suivante : l'interaction de la fusée avec la Terre est-elle plus intense que celle entre la Terre et le professeur?

### Correction

$$F_{\text{Terre/Professeur}} = G \times \frac{m_T \times m_{\text{PR}}}{(R_T + h)^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,98 \times 10^{24} \times 218}{(6380 \times 10^3 + 380 \times 10^3)^2} = 1,90 \times 10^3 \text{ N}$$

1.

Il faut convertir la distance en m et conserver 3 CS.  $d = R_T + h = R_T + 380 \text{ km}$ . La force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur le professeur est de  $1,90 \cdot 10^3 \text{ N}$ .

2. La valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par le professeur Rion sur la Terre est la même car  $F_{1/2} = F_{2/1}$ .
3.  $P = m_{\text{PR}} \times g_T = 218 \times 9,81 = 2,14 \cdot 10^3 \text{ N}$ . Le poids du professeur et de son équipement est de  $2,14 \cdot 10^3 \text{ N}$  sur Terre, au sol. Son poids sur Terre au sol est donc supérieur.
4. La force d'attraction gravitationnelle n'est pas nulle à 380 km d'altitude par rapport au niveau de la mer ( $1,90 \cdot 10^3 \text{ N}$ ). On ne peut donc pas assimiler l'état d'impesanteur de l'astronaute à son absence de pesanteur.
5. La masse de la fusée est très supérieure à la masse du professeur et de son équipement :

$m_F > m_{\text{PR}}$ . D'autre part, G,  $R_T$ ,  $m_T$  et  $h$  étant identiques, on a :

L'interaction de la fusée avec la Terre est donc plus intense que celle entre la Terre et le professeur.

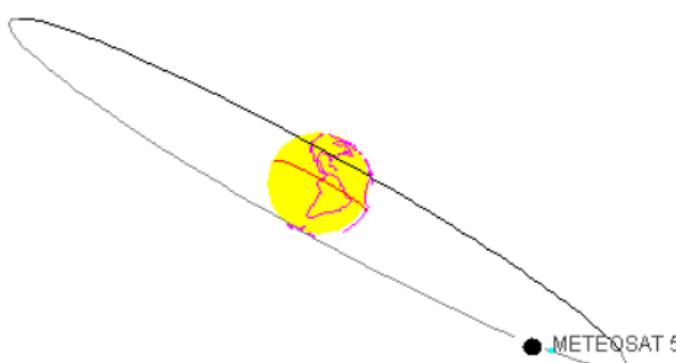
### Application 4

1) Météostat est un satellite géostationnaire. Que signifie le mot géostationnaire.

2) Quelle est le mouvement du satellite dans le référentiel géocentrique ?

3) Calculer la force de gravitation  $F$  exercée par la Terre sur le satellite. La représenter sans échelle sur le schéma.

4) Quelle est la période  $T$  de révolution du satellite ?



5) Sachant qu'il gravite à la distance  $TS$  du centre de la Terre,  $d = 3,58 \times 10^4 \text{ km}$  de la surface de la Terre et que le rayon terrestre est  $R = 6,38 \times 10^3 \text{ km}$ , calculer la vitesse  $v$  du satellite dans le référentiel géocentrique. On rappelle que le périmètre d'un cercle de rayon  $R$  est :

$$P = 2 \pi R$$

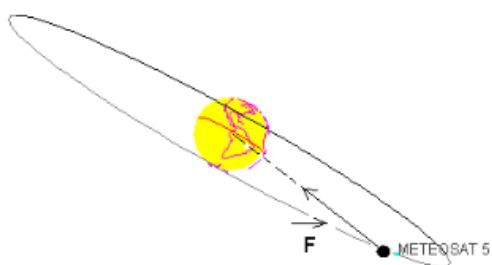
$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ USI}$  ;  $m(\text{Terre}) = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$ ,  $m(\text{satellite}) = 250 \text{ kg}$  ; distance entre le satellite et le centre de la Terre  $TS = 4,22 \times 10^7 \text{ m}$ .

Professeur	Bahloul Khalid (+212) 622-17-65-52
Chapitre	La gravitation universelle (l'essentiel du cours + applications)
Niveaux	Seconde

### Correction

- 1) Géostationnaire signifie que le satellite reste toujours au dessus du même point de la Terre.
- 2) Dans le référentiel géocentrique le mouvement du satellite est circulaire uniforme.
- 3) Force de gravitation exercée par la Terre sur le satellite :

$$F = G \cdot \frac{m_{\text{Terre}} \cdot m_{\text{satellite}}}{T^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 5,98 \times 10^{24}}{(4,22 \times 10^7)^2} = 5,60 \times 10^1 \text{ N}$$



- 4) La période de révolution  $T$  est égale à celle de la Terre sur elle même :  $T = 24$  heures
- 5) La vitesse du satellite dans le référentiel géocentrique est :

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot T s}{T}$$

$$v = \frac{2 \times 3,14 \times 4,22 \times 10^7}{24 \times 3600} = 3,1 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}$$

### Application 5

- Ecrivez l'expression de la force de gravitation universelle exercée par la terre de masse «  $M$  » et de rayon «  $R$  » sur un corps posé à sa surface de masse «  $m$  »
- Ecrire l'expression du poids du corps de masse «  $m$  »
- Sachant que ces deux forces sont identiques, trouver l'expression de la pesanteur «  $g$  » à la surface de la terre

### Correction

Voir cours