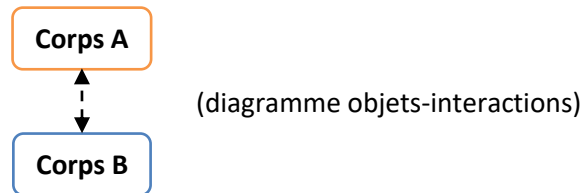


Chapitre 11 : La gravitation universelle

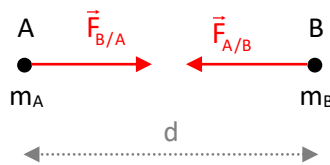
1. L'interaction gravitationnelle entre deux corps

Au XVII^e 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 :



Définition :

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 :



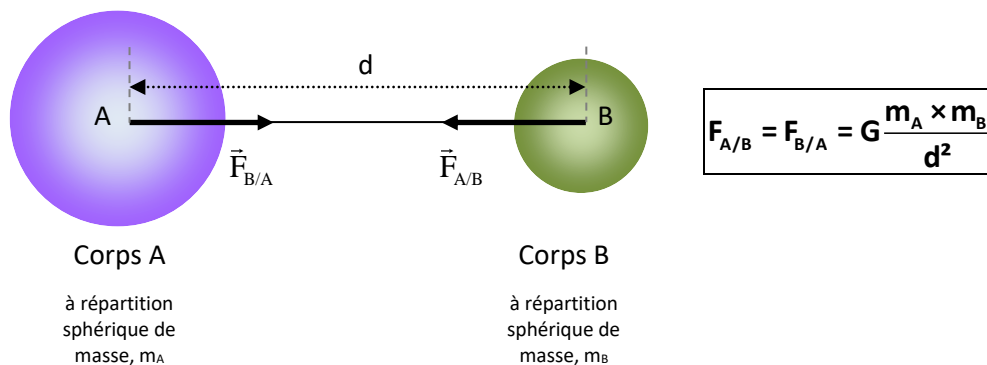
- **Direction :** la direction de la droite (AB) ;
- **Sens :** dirigée de B vers A (pour $\vec{F}_{A/B}$) ou de A vers B (pour $\vec{F}_{B/A}$)
- **Point d'application :** le centre de gravité du corps correspondant
le point A (pour $\vec{F}_{A/B}$) ou le point B (pour $\vec{F}_{B/A}$)
- **Intensité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

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

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)

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

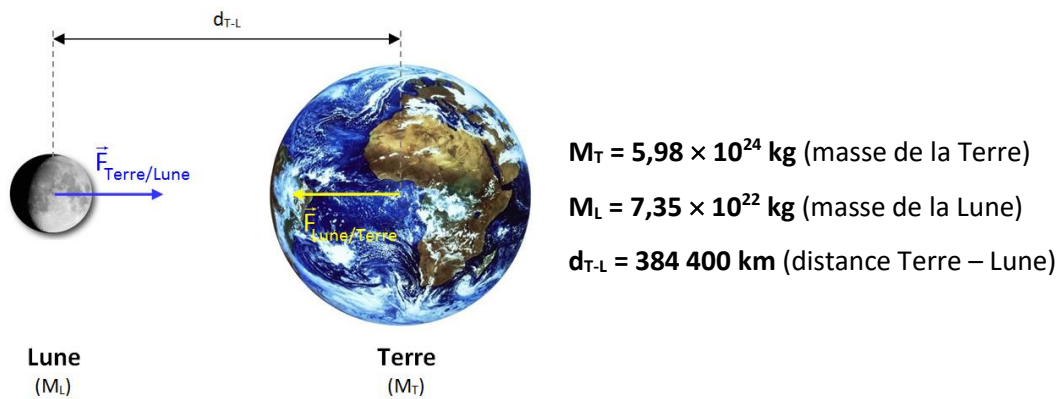
Remarque : la relation précédente peut être généralisée aux corps à répartition sphérique de masse¹ (RSDM), c'est à dire dont la masse est répartie uniformément ou en couches sphériques autour de son centre (d'inertie).



¹ On dit qu'un objet présente une répartition de masse de symétrie sphérique (ou une répartition sphérique de masse) lorsque la masse volumique ρ ne dépend que de la distance r au centre de symétrie.

2. Le système Terre – Lune

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 :**



$M_T = 5,98 \times 10^{24}$ kg (masse de la Terre)

$M_L = 7,35 \times 10^{22}$ kg (masse de la Lune)

$d_{T-L} = 384\,400$ km (distance Terre – Lune)

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

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

- 2) Représentez sur un schéma (échelle : 1 cm $\hat{=}$ 10²⁰ 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 :

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

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

- 2) Voir ci-dessus.

3. Pesanteur et attraction terrestre

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

	Direction	Sens	Intensité	Commentaire
Poids	Verticale	Vers le bas	$P = m \times g$ ($g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$)	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 $G \frac{M_T}{d^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 5,98 \cdot 10^{24}}{(6380 \times 10^3)^2}$ $\Leftrightarrow G \frac{M_T}{d^2} = 9,8 \text{ N.kg}^{-1} \square g$
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 \vec{P} d'un corps à la force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}_{\text{Terre/corps}}$ exercée par la Terre sur ce corps :

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

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

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

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

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

$$b) \quad P_T = m \times g_T \Rightarrow P_T = 85 \times 9,81 = 834 \text{ N (sur Terre)}$$

$$P_L = m \times g_L \Rightarrow P_L = 85 \times 1,62 = 138 \text{ N (sur la Lune)}$$

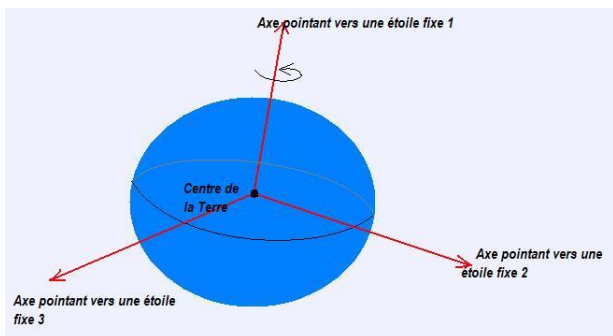
L'intensité du poids d'un objet est environ 6 fois plus faible sur la Lune que sur la Terre

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

4. [Le mouvement de la Lune](#) [Hors programme]

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

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>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, le 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**.