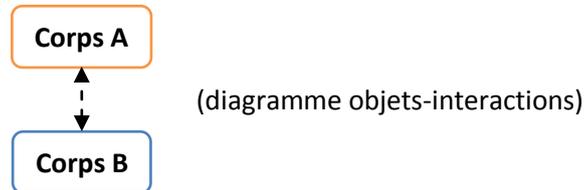


# Chapitre 10 : La gravitation universelle

## 1. L'interaction gravitationnelle entre deux corps (→ TP n°15)

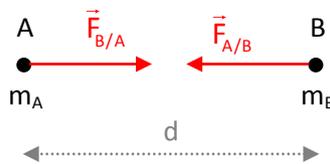
### 1.1. Définition

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 :



#### 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 :



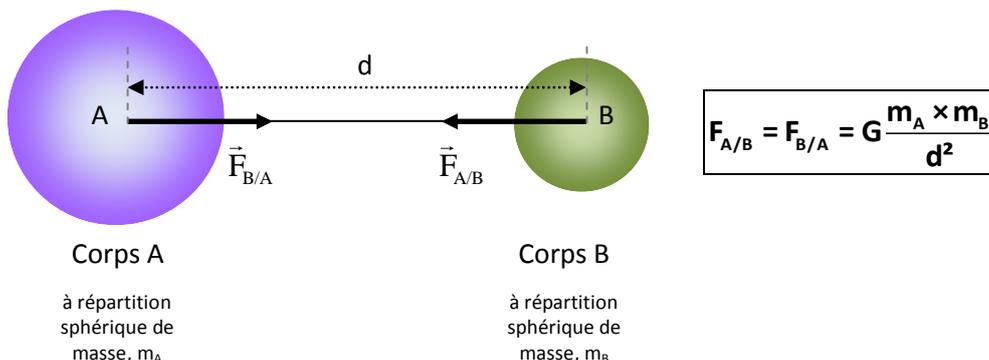
- ❑ **Direction :** la direction de la droite (AB) ;
- ❑ **Sens :** dirigée de B vers A (pour  $\vec{F}_{A/B}$ ) ou de A vers B (pour  $\vec{F}_{B/A}$ )
- ❑ **Point d'application :** le centre de gravité du corps correspondant  
le point A (pour  $\vec{F}_{A/B}$ ) ou le point B (pour  $\vec{F}_{B/A}$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

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

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

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

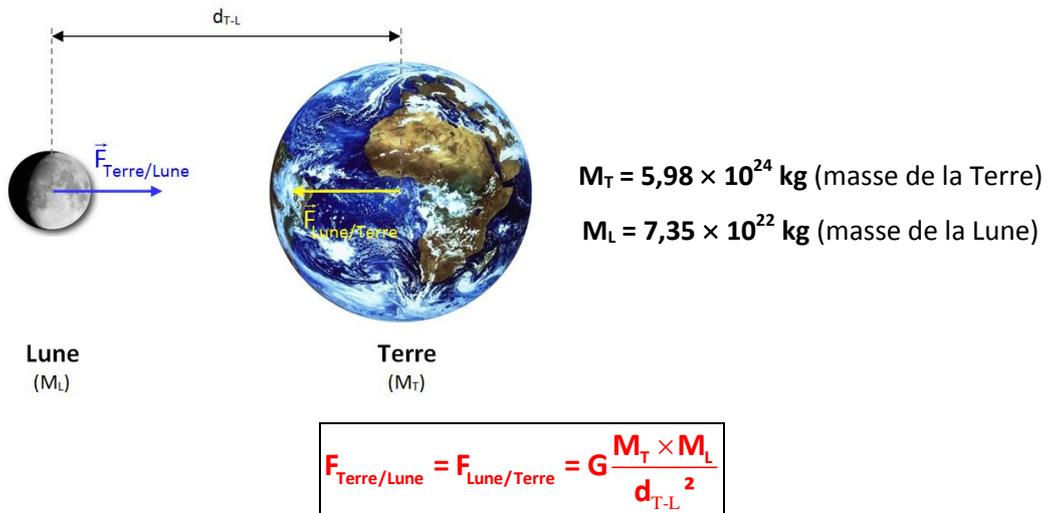
**Remarque :** la relation précédente peut être généralisée aux corps à répartition sphérique de masse<sup>1</sup> (RSDM), c'est à dire dont la masse est répartie uniformément ou en couches sphériques autour de son centre (d'inertie).



<sup>1</sup> On dit qu'un objet présente une répartition de masse de symétrie sphérique (ou une répartition sphérique de masse) lorsque la masse volumique  $\rho$  ne dépend que de la distance  $r$  au centre de symétrie.

## 1.2. 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 :**



### 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 :  $1 \text{ cm} \hat{=} 10^{20} \text{ N}$ ) 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.

## 1.3. Pesanteur et attraction terrestre (Voir activité n°1 : « La gravitation universelle », question 3)

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 $G \frac{M_T}{d^2}$ :  Soit $G \frac{M_T}{d^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 5,98 \cdot 10^{24}}{(6380 \times 10^3)^2}$  $\Leftrightarrow G \frac{M_T}{d^2} = 9,8 \text{ N.kg}^{-1} \approx g$
Force de gravitation	Verticale passant par le centre de la Terre	Vers le centre de la Terre	$F = m \frac{G \times M_T}{d^2}$	
<b>Conclusion</b>	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 (voir chapitre 8) 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 :

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

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

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

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

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

2. [Mouvement d'un projectile autour de la Terre](#)

2.1. [Projectile lancé sans vitesse initiale](#)

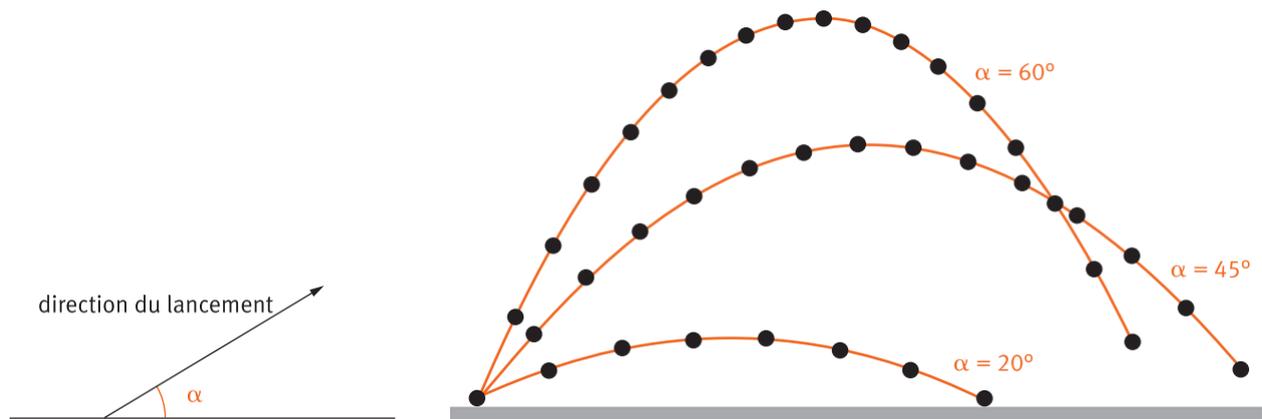


**A RETENIR :**

Le mouvement d'un corps qui n'est soumis qu'à son poids  $\vec{P}$  est indépendant de sa masse : on dit qu'il est en **chute libre**.

## 2.2. Projectile lancé avec une vitesse initiale

Si on lance un projectile horizontalement, avec une vitesse initiale non nulle, on observe une trajectoire différente suivant les valeurs de la vitesse  $\vec{v}$  et de l'angle de lancement  $\alpha$  :

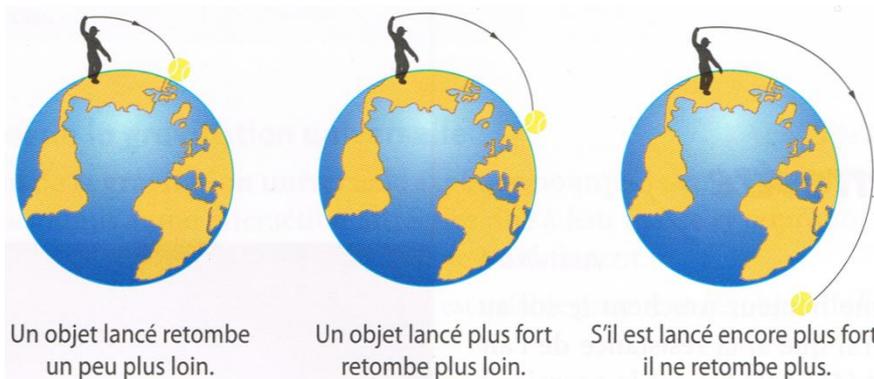


→ Si on considère que les forces de frottement et la Poussée d'Archimède sont négligeables alors le projectile n'est soumis qu'à son poids.

### À RETENIR :

Le mouvement d'un projectile en chute libre dépend de sa vitesse initiale et de la direction du lancement.

Application : la satellisation



Source : BORDAS, 2<sup>nd</sup>, collection E.S.P.A.C.E Lycée (2010)

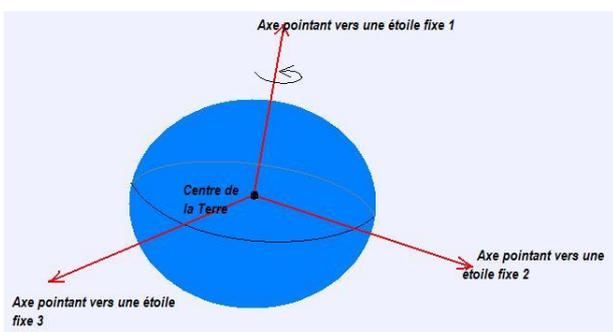
⇒ Un satellite est assimilable à un projectile lancé avec une vitesse initiale de direction parallèle à la surface de la Terre.

## 2.3. Le mouvement de la Lune

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

#### Définition : (rappel)

On appelle **référentiel géocentrique** 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, 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>

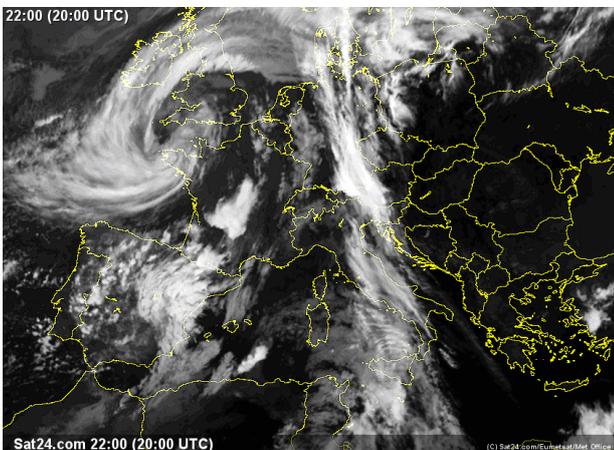
**À RETENIR :**

- Le référentiel géocentrique est le mieux adapté pour étudier le mouvement de la Lune, ainsi que celui des satellites artificiels ;
- La Lune est en chute libre permanente : son mouvement est **circulaire uniforme**.

**3. Observation de la Terre et de l'Univers**

Depuis l'espace, la Terre est auscultée en permanence par de nombreux satellites :

- La famille de satellites météorologiques **Météosat** (Eumetsat) fournit aux météorologues des données pour étudier l'atmosphère, faire des prévisions, suivre l'évolution du climat,...



Carte satellite montrant l'évolution des nuages sur L'Europe



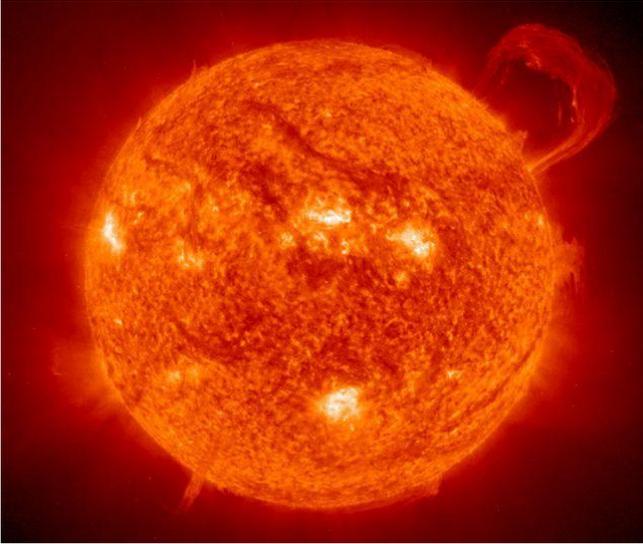
Meteosat 8, lancé en 2002, est le premier membre de la famille Meteosat de seconde génération

- GPS (*Global Positioning System*) : permet de se géolocaliser à partir de signaux reçus par un réseau de 24 satellites. Il permet de déterminer les coordonnées géographiques de n'importe quel point situé à la surface du globe.



✚ L'Univers est aussi étudié grâce à plusieurs sondes :

- SOHO : sonde lancée pour étudier le Soleil ;
- Galileo : en orbite autour de Jupiter pour étudier sa composition et celle de ses lunes ;
- Phoenix : sonde qui s'est posée sur Mars pour étudier le sol martien ;
- Les sondes Giotto, Deep Impact, Deep Space,... ont permis de mieux connaître le système solaire en étudiant les comètes et leur noyau ;
- Depuis 1990, le télescope Hubble est en orbite autour de la Terre à 600 km, scrute l'Univers à la recherche de nouvelles planètes, de nouvelles étoiles, de nouvelles galaxies et fournit des images et des données qui permettent de modéliser l'Univers.



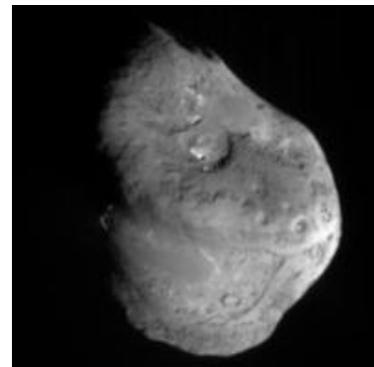
La chromosphère du Soleil, photographié par la sonde Soho



Ganymède, satellite de Jupiter, le plus gros du système solaire, vu par la sonde Galileo



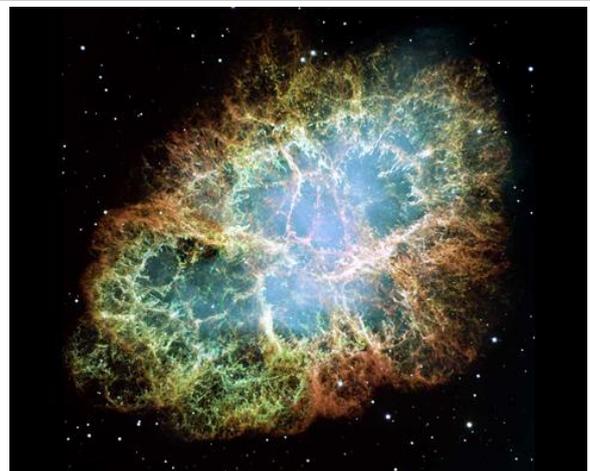
Le noyau de la Comète de Halley tel qu'observé par Giotto



Le noyau de la comète 9P/Tempel 1 vu par la sonde Deep Impact le 4 juillet 2005



Le télescope spatial Hubble



La nébuleuse du Crabe observée par le télescope Hubble

# Chapitre 10 : la gravitation universelle

## Les objectifs de connaissance :

- Définir le référentiel géocentrique ;
- Définir la force d'attraction gravitationnelle et ses caractéristiques ;
- Utiliser le principe de l'inertie pour interpréter la chute des corps ;
- Relation entre poids et force de gravitation.

## Les objectifs de savoir-faire :

- Utiliser le principe de l'inertie pour interpréter, en terme de forces, la chute des corps sur Terre ;
- Calculer l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle qui s'exerce entre deux corps à répartition sphérique de masse et représenter cette force par un vecteur ;
- Comparer le poids d'un même corps sur la Terre et sur la Lune ;
- Influence de la direction du lancement et de la vitesse initiale sur le mouvement d'un projectile.

### Je suis capable de

Oui

Non

- Définir les mots : **référentiel géocentrique, interaction gravitationnelle.**

- Calculer la force d'attraction gravitationnelle entre deux corps. (cf. §1.1)

- D'expliquer pourquoi le poids et la force de gravitation peuvent être considérés, en première approximation, comme une seule et même force. (cf. §1.3)

- Calculer l'intensité de pesanteur d'un astre. (cf. §1.2 & 1.3)

- Énoncer les caractéristiques du mouvement de chute libre. (cf. §2.1)

- Expliquer quelle est l'influence de la vitesse initiale sur le mouvement d'un projectile. (cf. §2.2)

- Expliquer quelle est l'influence de la direction du lancement sur le mouvement d'un projectile. (cf. §2.2)

- Expliquer le mouvement de la Lune autour de la Terre. (cf. §2.3)