

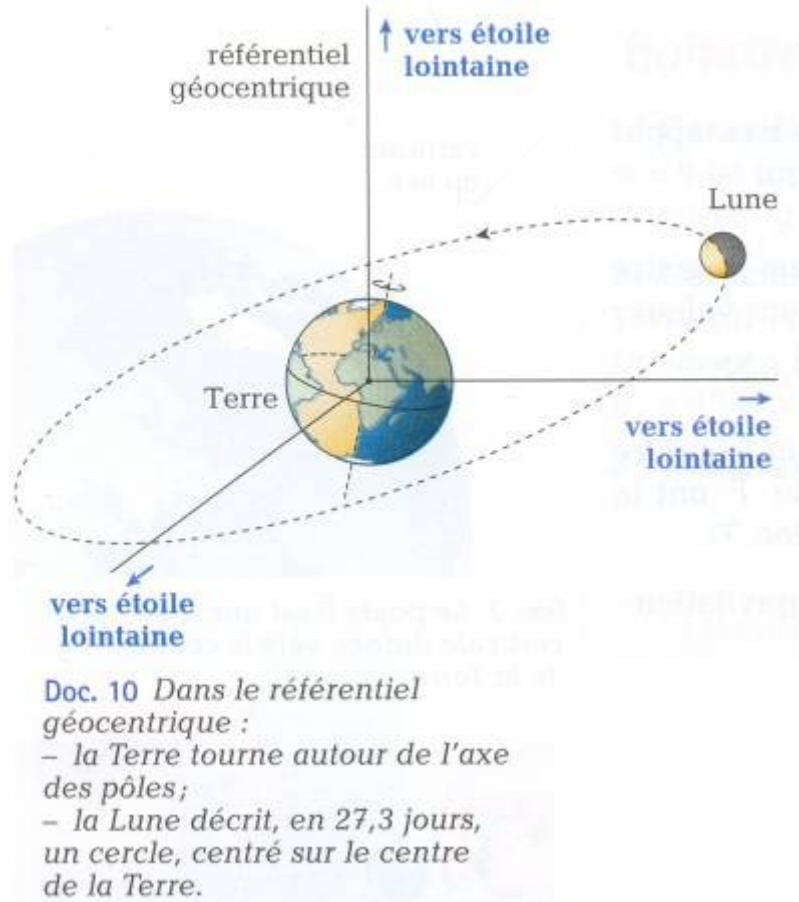
## La gravitation universelle

### I) Comment décrire le mouvement de la Lune autour de la Terre ?

#### 1) Quel référentiel choisir ?

Pour un observateur terrestre, la Lune se lève à l'est et se couche à l'ouest. Sa trajectoire dans le ciel n'est pas la même d'un jour à l'autre : dans le référentiel terrestre le mouvement de la Lune est complexe.

**Le référentiel terrestre n'est pas adapté pour l'étude de ce mouvement.** Il faut choisir un référentiel qui ne soit pas entraîné par le mouvement de rotation de la Terre : **c'est le référentiel géocentrique.**



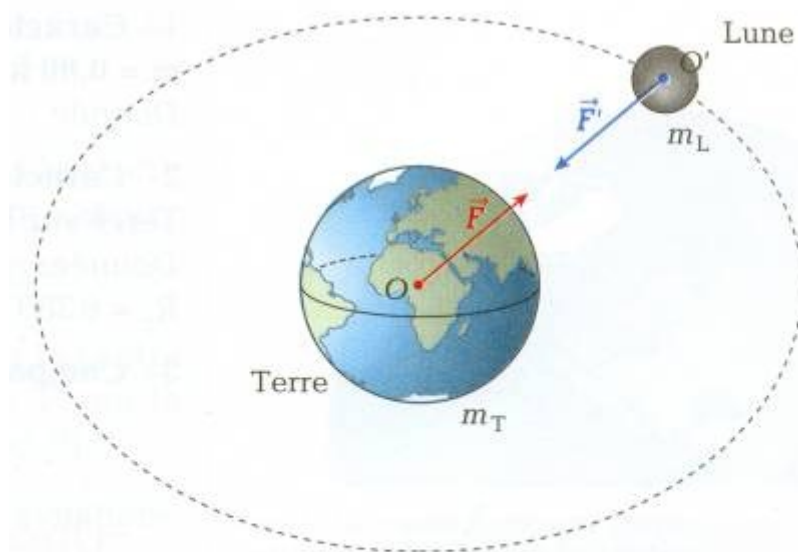
#### 2) Quelle est la cause du mouvement de la Lune ?

Nous admettons que le mouvement de la Lune est un mouvement circulaire uniforme dont la Terre est le centre dans le référentiel géocentrique. **D'après le principe d'inertie, nous pouvons dire que la Lune est soumise à au moins une force exercée par la Terre.**

## II) L'interaction gravitationnelle

### 1) Comment la Terre attire-t-elle la Lune ?

Isaac Newton (1642-1727) fut le premier (1687) à émettre l'hypothèse que la force exercée par la Terre sur la Lune est de même origine que la force s'exerçant sur une balle en chute libre. Dans les deux cas la force est d'origine **gravitationnelle**.



**Doc. 3** L'interaction gravitationnelle entre la Terre et la Lune est modélisée par les forces  $\vec{F}$  et  $\vec{F}'$ .

#### a) Les forces d'interactions gravitationnelles

Newton a énoncé la loi de la gravitation pour deux corps ponctuels, c'est-à-dire dont les dimensions sont petites par rapport à la distance qui les sépare.

**2 corps ponctuel de masse  $m_A$  et  $m_B$ , séparés par une distance  $d$ , exercent l'un sur l'autre des forces attractives,  $\vec{F}$  et  $\vec{F}'$  :**

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = -G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$$

- de direction la droite joignant les 2 corps ponctuels
- de sens opposés  $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$

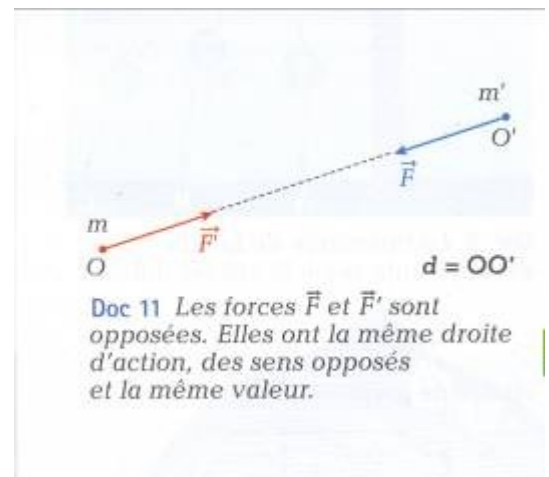
- de même valeur :  $F_{A/B} = F_{B/A} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$

**G est appelé constante de gravitation universelle (mesurer par Henry Cavendish en 1698 à l'aide d'une balance à torsion) de valeur :**

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

les forces s'expriment en newton ; les masses en kg ; d en mètre.

Les forces attractives,  $\vec{F}_{A/B}$  et  $\vec{F}_{B/A}$ , sont appelées forces d'interaction gravitationnelle.



**Doc 11** Les forces  $\vec{F}$  et  $\vec{F}'$  sont opposées. Elles ont la même droite d'action, des sens opposés et la même valeur.

## b) Les forces gravitationnelles appliquées aux corps célestes

On généralise ce résultat à des corps à répartition sphérique de masse, c'est-à-dire dont la masse est répartie régulièrement autour de leur centre.

Ainsi la Terre attire la Lune et vice versa. La valeur des forces attractives est :

$$F = G \cdot \frac{m_T \cdot m_L}{r^2}$$

$m_T = 5,98 \cdot 10^{24}$  kg est la masse de la Terre

$m_L = 7,34 \cdot 10^{22}$  kg est la masse de la Lune.

$r = 384000$  km est la distance entre les centres de la Terre et de la Lune.

### 2) Poids et force gravitationnelle

#### a) Rappel : caractéristique du poids

Un objet de masse  $m$  possède un poids noté  $P$  qui peut être assimilé à la valeur de la force d'attraction exercée par la Terre sur l'objet

On a la relation :  $\mathbf{P} = m \times \mathbf{g}$

avec  $P$  en N,  $m$  en kg et  $g$  en  $N \cdot kg^{-1}$ .

Le poids est représenté par un vecteur dont la direction est la verticale et dirigé vers le centre de la Terre

**Le poids d'un corps peut s'identifier à la force gravitationnelle exercée par la Terre sur ce corps.**



#### b) Poids d'un corps et force gravitationnelle

Le poids d'un objet, à l'altitude  $h$ , dû à la planète de rayon  $R$  et de masse  $M$ , s'identifie avec la force d'attraction universelle (si on néglige le petit effet dû à la rotation de la planète) :

- on peut écrire

$$P_h = m \times g = G \frac{M \times m}{(R + h)^2} = m \times G \frac{M}{(R + h)^2}$$

- Alors pour un objet posé sur le sol de la planète  $h = 0$  m et on obtient :

$$P = m \times g = m \times G \frac{M}{R^2}$$

- Cela permet de trouver l'expression de la gravité sur le sol de la planète, qui ne dépend que des caractéristiques de cette planète c'est-à-dire son rayon et sa masse :

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

### III) Pourquoi la Lune ne tombe pas sur la Terre

**Une même force appliquée à un objet peut conduire à des mouvements différents qui dépendent de la vitesse initiale.**

Imaginons que l'on lance une pierre du sommet d'une montagne.

En la lançant horizontalement de plus en plus vite, elle tombera de plus en plus loin.

Poursuivons notre expérience et lançons la balle de plus en plus vite. Elle ira de plus en plus loin. Si sa vitesse est suffisamment grande et en négligeant la résistance de l'air, nous pouvons penser que la trajectoire repassera par son point de départ. La balle ne va plus tomber sur Terre : elle sera satellisée. C'est le cas de la Lune.

**La Lune soumise à l'attraction gravitationnelle de la Terre ne tombe pas car elle possède une vitesse suffisante pour être satellisée.**

**Pour mettre un satellite en orbite circulaire au-dessus de l'atmosphère à une altitude de 100 km, il faut lui communiquer une vitesse de  $7,8 \text{ km.s}^{-1}$**

