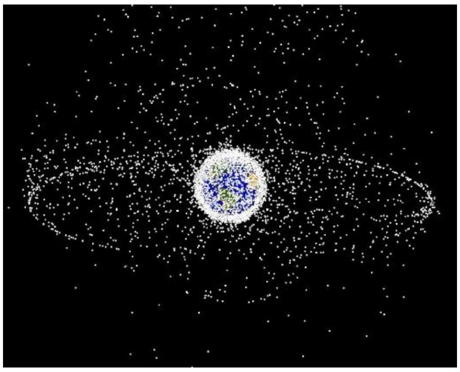
Chapitre 04 : la gravitation universelle



Les planètes du système solaire tournent autour du Soleil, la Lune tourne autour de la Terre sous l'effet de la force gravitationnelle.

L'Homme explore le système solaire grâce à des sondes ou des satellites, maintenus en orbites eux aussi sous l'effet d'une force gravitationnelle, c'est un phénomène universel.

Illustration :
satellites artificiels en orbite autour de la Terre

1. Attraction gravitationnelle

1.1. Interaction gravitationnelle entre deux corps

En 1687, Newton décrit dans l'une de ses œuvres majeures, *Les principes mathématiques de la philosophie naturelle*, les mouvements des planètes et des satellites.

Il affirme tous les corps ayant une masse sont en interaction (action réciproque): c'est l'interaction gravitationnelle, aussi appelée **gravitation universelle**, interaction à distance et exclusivement attractive.

1.2. Loi de gravitation universelle

Newton énonce la **loi de gravitation universelle entre deux corps ponctuels**, c'est-à-dire des corps dont les dimensions sont petites par rapport à la distance qui les sépare.

Cette loi de la gravitation universelle décrit l'interaction attractive entre deux corps ponctuels, proportionnelle à leur masse, et la décroissance de leur interaction lorsque les deux objets s'éloignent.

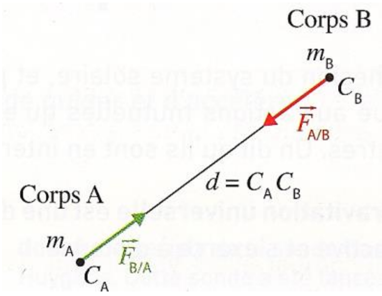
L'interaction gravitationnelle entre deux corps ponctuels A et B, de masses respectives m_A et m_B, séparés d'une distance d, est modélisée par une force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}$ dont les caractéristiques sont les suivantes :

- **direction** : la direction de la droite AB ;
- **sens** : vers le centre attracteur ;
- **intensité** (norme) :

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

Unité SI
$F_{A/B}$ et $F_{B/A}$ en newton (N)
m_A et m_B en kilogramme (kg)
d en mètre (m)

La constante G est la constante universelle de gravitation :
$G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N.m².kg⁻²



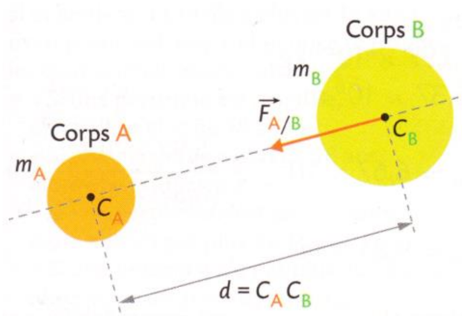
On représente une force qui s'exerce sur un objet par une flèche partant du **point d'application** de cette force.
Cette flèche traduit la direction et le sens de l'action ainsi que son intensité et s'appelle un vecteur (ici un vecteur lié : flèche + point d'application).

Par exemple, les vecteurs des forces $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ représentent les deux forces d'attraction gravitationnelle s'exerçant entre les corps A et B. Ils ont même droite support, même longueur et sont de sens opposés.

1.3. La force gravitationnelle appliquée aux astres

Cette loi peut se **généraliser à des corps à symétrie sphérique de masse**, c'est-à-dire dont la masse est répartie régulièrement autour de leur centre.
C'est le cas (en première approximation) de la Terre, la Lune, des astres en général.

Sur les schémas, les forces sont alors représentées par une flèche dont l'origine est au centre de l'astre qui subit la force.



Représentation de la force $\vec{F}_{A/B}$ exercée par le corps A sur le corps B

La valeur de la force gravitationnelle exercée par un corps A sur un corps B est d'autant plus élevée que les corps sont massifs et proches.

Exemple
En considérant la Terre et la Lune comme des corps à répartition sphérique de masse, on peut appliquer la loi de la gravitation pour calculer la force exercée par la Terre sur la Lune (et inversement) :

$$F_{Terre/Lune} = G \times \frac{m_{Terre} \times m_{Lune}}{d^2}$$
$$F_{Terre/Lune} = (6{,}67 \times 10^{-11}) \times \frac{(5{,}97 \times 10^{24}) \times (7{,}35 \times 10^{22})}{(3{,}83 \times 10^{8})^2} = 2{,}00 \times 10^{20}\ \mathrm{N}$$

avec la distance moyenne entre les centres de la Terre et de la Lune : $d = 3{,}83 \times 10^5\ \mathrm{km}$*, et les masses de la Terre :* $m_{Terre} = 5{,}97 \times 10^{24}\ \mathrm{kg}$*, et de la Lune* $m_{Lune} = 7{,}35 \times 10^{22}\ \mathrm{kg}$*.*

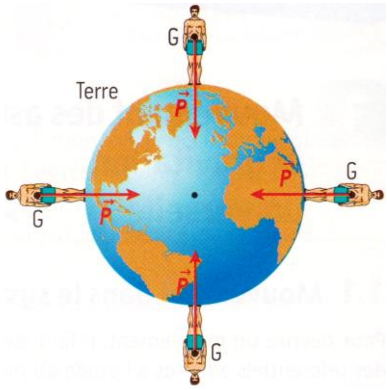
La valeur de la force exercée par la Terre exercée par la Terre sur la Lune est égale à $2{,}00 \times 10^{20}\ \mathrm{N}$ *soit environ mille milliards de fois le poids de la tour Eiffel.*

2. Force de pesanteur (ou poids)

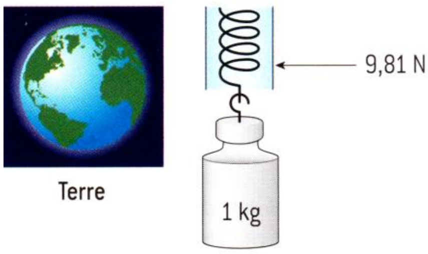
2.1. Le poids d'un corps sur la Terre

Le poids d'un objet $\vec{P}$ est la force qui traduit la manifestation de la gravitation au voisinage de la Terre sur l'objet.
Cette force, appliquée au centre de gravité de l'objet, est dirigée selon la verticale du lieu vers le bas.

Le poids d'un objet placé au voisinage de la Terre est la **modélisation de l'action mécanique** qu'exerce la Terre sur lui.



Poids d'un Homme sur la Terre



Poids d'un corps sur Terre

Il ne faut pas confondre le poids d'un objet et sa masse. Le poids désigne la force d'attraction de la Terre sur cet objet. Il se mesure à l'aide d'un **dynamomètre** à l'extrémité duquel on accroche l'objet.

Sa valeur dépend du lieu où se trouve l'objet, alors que la masse reste identique quel que soit l'endroit où l'objet se situe dans l'espace.

En un lieu donné, la valeur du poids P et la masse m d'un objet sont deux grandeurs proportionnelles. La relation de proportionnalité se traduit par :

$$P = m_{corps} \times g_{astre}$$

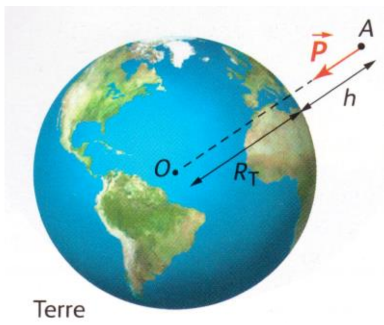
avec P, le poids en newton (N), m_{corps} la masse en kilogramme (kg) et g_{astre} l'intensité de du champ de pesanteur en newton par kilogramme ($\mathrm{N.kg^{-1}}$).

Intensité du champ de pesanteur
Tout astre, du fait de sa masse, exerce une attraction sur tout objet proche. L'importance de cette capacité d'attraction est appelée **intensité du champ de pesanteur**.
Sur Terre, sa valeur est d'environ $9{,}81\ \mathrm{N.kg^{-1}}$ à Paris.

2.2. Le poids et la force d'attraction gravitationnelle

En première approximation, on peut identifier le poids d'un corps à la force d'attraction gravitationnelle exercée par l'astre sur ce corps.

Le poids d'un corps $\vec{P}$ sur Terre est alors une force orientée vers le centre de la Terre.



Représentation du poids $\vec{P}$ d'un corps de masse m situé à la distance $d = R_T + h$ du centre de la Terre

La valeur du poids d'un corps sur la Terre est égale à:

$$P = g_{Terre} \times m_{corps} = F_{Terre/corps} = G \times \frac{m_{Terre}}{d^2} \times m_{corps}$$

$$\boldsymbol{P = G \times \frac{m_{Terre}}{(R_T + h)^2} \times m_{corps}}$$

où :

- d représente la distance entre le centre de la Terre et le centre du corps étudié ;
- R_T représente le rayon de la Terre à la verticale du corps étudié ;
- h l'altitude du corps étudié.

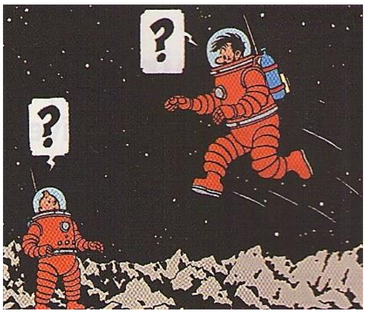
Remarque :
Comme la masse ne varie pas avec le lieu, le poids diminue avec la distance au centre de la Terre.

2.3. Le poids d'un corps sur la Lune

La valeur du poids d'un corps de masse m_{corps} situé au voisinage de la Lune est, de la même manière, assimilé à la valeur de la force gravitationnelle que la Lune exerce sur le corps.

Les masses et rayons de la Terre et de la Lune étant différents, le poids terrestre et le poids lunaire d'un même corps sont différents.
Avec les valeurs pour la masse de la Lune : $m_{Lune} = 7{,}35 \times 10^{22}$ kg, et pour le rayon de la Lune : $R_{lune} = 1{,}74 \times 10^6$ m, on obtient pour un corps à la surface de la Lune :

$$F_{\frac{Lune}{corps}} = G \times \frac{m_{Lune}}{R_{Lune}^2} \times m_{corps} = 1{,}62 \times m_{corps}$$



L'intensité du champ de pesanteur est six fois moins importante sur la Lune que sur la Terre.
Par conséquent la valeur du poids d'un corps sur la Lune est environ six fois plus faible que celle du poids du même corps sur la Terre.

Tintin et le capitaine Haddock dans On a marché sur la Lune