

COURS DE PHYSIQUE

Année scolaire 2026-2027 | Classe : Terminale D et TI

PHYSIQUE

Chapitre 3 : Interaction gravitationnelle

Leçon 3 : Force de gravitation – Loi d'attraction universelle

Compétences visées

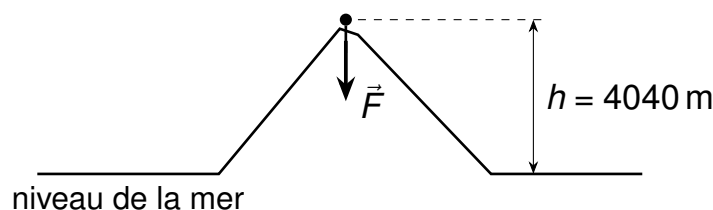
Chapitre 3 : utiliser la loi d'attraction universelle et la notion de champ de gravitation pour expliquer et prévoir l'action de la Terre et des astres sur les corps.

Leçon 3 : appliquer la loi d'attraction universelle pour caractériser et calculer les forces de gravitation entre deux corps, et expliquer la variation du poids d'un corps avec l'altitude.

1. Situation de vie

Contexte

Chaque année, des athlètes participent à la « Course de l'espoir » sur le mont Cameroun, dont le sommet culmine à environ 4040 m d'altitude. Un coureur de 70 kg affirme : « Au sommet, la Terre m'attire beaucoup moins : je suis nettement plus léger, c'est ce qui m'aide à finir la course ! »



Données : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$; masse de la Terre $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$; rayon terrestre $R_T = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$.

Tâche : dis, en justifiant par un calcul, si l'affirmation du coureur est fondée.

2. Prérequis

- **Caractéristiques d'une force** : point d'application, direction (droite d'action), sens, intensité (en newtons, N).
- **Principe des actions réciproques** : si un corps A exerce sur un corps B une force $\vec{F}_{A/B}$, alors B exerce sur A une force $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$.
- **Poids d'un corps** : $\vec{P} = m \vec{g}$, de direction verticale, vers le bas, d'intensité $P = mg$ ($g \approx 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ au sol).

- **Vecteur unitaire** : $\vec{u}_{AB} = \frac{\vec{AB}}{AB}$; somme de deux vecteurs (règle du parallélogramme, théorème de Pythagore) ; puissances de 10.

3. Activités

Activité 1 : ordres de grandeur de la force de gravitation

Newton a énoncé en 1687 que deux corps quelconques s'attirent avec une force d'intensité $F = G \frac{m_A m_B}{d^2}$ (d : distance entre leurs centres).

- Calcule la force d'attraction entre deux élèves de masses 60 kg et 80 kg distants de 1,0 m. Compare-la au poids de l'un d'eux. Conclus.
- Calcule la force d'attraction entre la Terre et la Lune ($M_L = 7,35 \times 10^{22}$ kg, distance $d_{TL} = 3,84 \times 10^8$ m). Que peut-on dire de la force exercée par la Lune sur la Terre ?
- Comment varie F si la distance d double ?

Exploitation

- $F = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{60 \times 80}{1,0^2} = 3,2 \times 10^{-7}$ N ; poids de l'élève de 60 kg : $P = 60 \times 9,8 = 588$ N, soit environ 2×10^9 fois plus. Entre objets usuels, la force de gravitation est **négligeable**.
- $F_{T/L} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 7,35 \times 10^{22}}{(3,84 \times 10^8)^2} = 1,98 \times 10^{20}$ N. D'après le principe des actions réciproques, la Lune exerce sur la Terre une force de même intensité, de même droite d'action, de sens opposé. À l'échelle des astres, la gravitation est **prépondérante**.
- F est inversement proportionnelle à d^2 : si d double, F est divisée par 4.

Activité 2 : poids et attraction terrestre

- Calcule la force d'attraction exercée par la Terre sur un corps de masse $m = 1$ kg posé à sa surface. Compare au poids de ce corps. Conclus.
- Déduis-en une expression de la masse de la Terre en fonction de $g_0 = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$, R_T et G , puis calcule-la.
- Exprime la force d'attraction F_h exercée par la Terre sur ce corps à l'altitude h en fonction de F_0 (valeur au sol), R_T et h .

Exploitation

- La Terre a une répartition de masse à symétrie sphérique : elle agit comme si toute sa masse était en son centre. $F_0 = G \frac{M_T m}{R_T^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 1}{(6,37 \times 10^6)^2} = 9,81$ N, pratiquement égal au poids $P = 1 \times 9,8 = 9,8$ N. Le poids d'un corps est (en négligeant la rotation de la Terre) la force de gravitation exercée par la Terre.

$$b) \quad mg_0 = G \frac{M_T m}{R_T^2} \Rightarrow M_T = \frac{g_0 R_T^2}{G} = \frac{9,8 \times (6,37 \times 10^6)^2}{6,67 \times 10^{-11}} = 5,96 \times 10^{24} \text{ kg.}$$

$$c) \quad F_h = G \frac{M_T m}{(R_T + h)^2} \text{ et } F_0 = G \frac{M_T m}{R_T^2} \Rightarrow F_h = F_0 \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2} : \text{ la force diminue quand l'altitude augmente.}$$

4. Résumé du cours

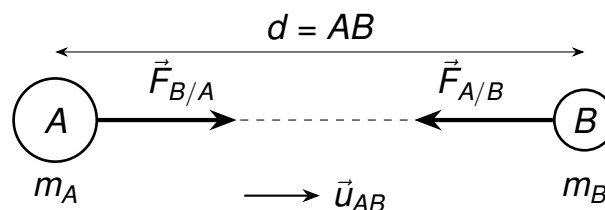
4.1 L'interaction gravitationnelle

Deux corps, du seul fait de leur masse, exercent l'un sur l'autre des forces **attractives** à distance : c'est l'**interaction gravitationnelle**. Elle est universelle (elle concerne tous les corps), toujours attractive, et elle s'exerce même dans le vide.

4.2 Loi d'attraction universelle (loi de Newton)

Deux corps ponctuels A et B , de masses m_A et m_B , séparés par une distance $d = AB$, exercent l'un sur l'autre des forces attractives, portées par la droite (AB) , de même intensité :

$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A m_B}{d^2} \quad \text{et} \quad \vec{F}_{A/B} = -G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}_{AB} = -\vec{F}_{B/A}.$$



- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ est la **constante de gravitation universelle** ; m_A , m_B en kg ; d en m ; F en N. $\vec{u}_{AB}$ est le vecteur unitaire orienté de A vers B .
- **Caractéristiques de $\vec{F}_{A/B}$** : point d'application B ; direction : droite (AB) ; sens : de B vers A (attraction) ; intensité $G \frac{m_A m_B}{d^2}$.
- La loi s'applique aussi aux **corps à répartition de masse à symétrie sphérique** (astres, boules homogènes) : d est alors la distance entre leurs centres.
- F est proportionnelle au produit des masses et inversement proportionnelle au carré de la distance.

4.3 Principe de superposition

Lorsqu'un corps M est soumis à l'attraction de plusieurs corps $A_1, A_2, \dots$, la force gravitationnelle totale est la **somme vectorielle** des forces exercées par chacun : $\vec{F} = \vec{F}_{A_1/M} + \vec{F}_{A_2/M} + \dots$

4.4 Poids d'un corps et altitude

- En négligeant les effets de la rotation de la Terre, le poids d'un corps de masse m est la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre :

$$P_0 = G \frac{M_T m}{R_T^2} \text{ (au sol) ; } \quad P_h = G \frac{M_T m}{(R_T + h)^2} = P_0 \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2} \text{ (à l'altitude } h\text{).}$$

- Le poids diminue quand l'altitude augmente ; la masse, elle, ne varie pas.
- À la surface : $g_0 = G \frac{M_T}{R_T^2}$, ce qui permet de « peser » la Terre : $M_T = \frac{g_0 R_T^2}{G} \approx 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$.

4.5 Ordres de grandeur

Entre objets de la vie courante, la force de gravitation est extrêmement faible (de l'ordre de 10^{-7} N) et négligeable devant les autres forces. Elle devient prépondérante dès qu'au moins un des corps a une masse énorme (Terre, Lune, Soleil) : elle explique la chute des corps, le mouvement des planètes et des satellites et les marées.

5. Retour à la situation de vie

Au niveau de la mer : $F_0 = G \frac{M_T m}{R_T^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 70}{(6,37 \times 10^6)^2} = 686,9 \text{ N}$.

Au sommet ($h = 4040 \text{ m}$) : $F_h = F_0 \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2} = 686,9 \times \left(\frac{6,370 \times 10^6}{6,374 \times 10^6} \right)^2 = 686,1 \text{ N}$.

Variation : $F_0 - F_h \approx 0,87 \text{ N}$, soit une diminution relative $\frac{F_0 - F_h}{F_0} \approx 0,13\%$, l'équivalent du poids d'une masse d'environ 90 g.

Conclusion : l'attraction terrestre diminue effectivement avec l'altitude, mais au sommet du mont Cameroun, elle ne baisse que de 0,13 %. Cette diminution est négligeable : l'affirmation du coureur n'est **pas fondée**. Ce qui lui permet de finir la course, c'est son entraînement, pas une perte de poids (la raréfaction de l'air en altitude rend même l'effort plus difficile).