

Chapitre 2 : Forces

I) Interactions

A) Action mécanique

Une action mécanique désigne toute cause susceptible de déformer un objet, de le mettre en mouvement, et/ou de modifier son mouvement (vitesse, sens et direction).

Une action mécanique met en relation :

- l'**acteur** : objet qui exerce l'action mécanique ;
- le **receveur** : objet qui subit l'action mécanique.

Une action mécanique peut-être :

- **localisée**, si elle s'exerce sur une petite zone d'un objet ;
- **répartie**, si elle s'exerce sur toute la surface ou sur tout le volume d'un objet.

Deux objets sont en interaction si ces deux objets exercent une action mécanique l'un sur l'autre.

On distingue deux types d'interactions :

- les **interactions de contact** : lorsqu'il y a un contact entre les objets qui exercent une action mécanique entre eux ;
- les **interactions à distance** : lorsqu'il n'y a aucun contact entre les objets qui exercent une action mécanique entre eux.

Exemple :

Quand je tire dans un ballon, mon pied (l'acteur) et le ballon (le receveur) sont en interaction de contact car il faut forcément que je touche le ballon pour le propulser.

L'interaction entre la Lune et la Terre est une interaction à distance.

B) Diagramme objet-interaction

Pour représenter les différentes interactions d'un système d'étude, il est fréquent d'utiliser un **diagramme objet-interaction** où apparaissent :

- le **nom des objets** (qu'ils soient acteurs ou receveurs) dans des cadres ou des bulles ;
- les **interactions de contact** schématisées à l'aide d'une flèche à deux pointes en trait plein ;
- les **interactions à distance** schématisées à l'aide d'une flèche à deux pointes en pointillés.

Exemple :

Voici le diagramme objet-interaction d'un élève assis sur une chaise, en train d'écrire sur la table et subissant l'attraction terrestre :

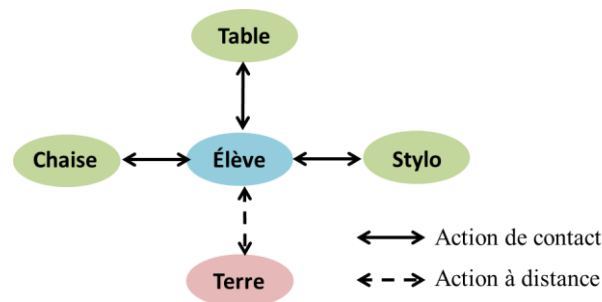


Figure PA2.1 : Exemple d'un diagramme objet-interaction d'un élève en classe.

II) Forces

Une force est une modélisation d'une action mécanique.

Une force est un vecteur caractérisé par :

- **un point d'application** (la plupart du temps, c'est le centre de masse du système ou bien le point matériel) ;
- **une direction** (droite suivant laquelle s'exerce la force) ;
- **un sens** (orientation de la force) ;
- **une valeur** dont l'unité est le newton (N).

Une force est représentée par un **segment fléché** (de longueur proportionnelle à sa valeur) et se note $\vec{F}_{\text{acteur/receveur}}$.

Une force se mesure à l'aide d'un **dynamomètre**.

Exemple :

Prenons l'exemple d'un parachutiste (représenté par un point matériel) qui saute dans le vide :

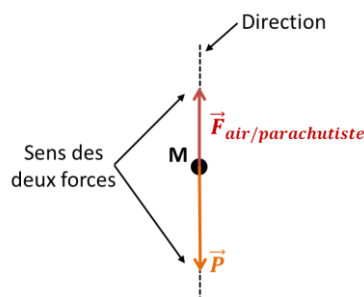


Figure PA2.2 : Forces exercées sur un parachutiste qui saute dans le vide.

Le parachutiste est soumis à deux forces : son poids et les frottements de l'air. Ces deux forces ont la même direction (la verticale) mais sont de sens opposé (\vec{P} est dirigé vers le bas alors que $\vec{F}_{\text{air/parachutiste}}$ est dirigé vers le haut). La valeur du poids est supérieure à celle des frottements de l'air car son vecteur est plus long.

III) Actions réciproques

Principe des actions réciproques (3^{ème} loi de Newton) :

Si deux systèmes sont en interaction, alors ils exercent l'un sur l'autre des **forces opposées**. Ces forces ont :

- une même direction ;
- des sens opposés ;
- une même valeur.

Ce principe s'applique aussi bien pour les actions de contact que pour les actions à distance, que les systèmes soient au repos ou en mouvement.

IV) Exemples de force

A) Gravitation universelle

La loi de la gravitation universelle a été découverte par **Isaac Newton**.

La **gravitation universelle** est une des interactions de l'Univers. **Elle est attractive et s'exerce à distance entre les différents corps.**

L'interaction gravitationnelle entre deux corps A et B, de masses respectives m_A et m_B , séparés d'une distance d , est modélisée par des forces d'attraction gravitationnelle $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ dont l'intensité est :

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

↑ Constante de gravitation universelle
 $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

Les deux forces $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ ont :

- **la même direction** : droite passant par A et B ;
- **des sens opposés** : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$;
- **la même valeur** ;
- **des points d'application différents**.

L'interaction gravitationnelle est plus importante quand :

- la masse des corps est élevée ;
- la distance entre les corps est courte.

Exemple :

Calculer la force d'interaction gravitationnelle entre le Soleil et la Terre, sachant que $m_{\text{Soleil}} = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$, $m_{\text{Terre}} = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$ et $d_{\text{Soleil-Terre}} = 150 \times 10^9 \text{ m}$.

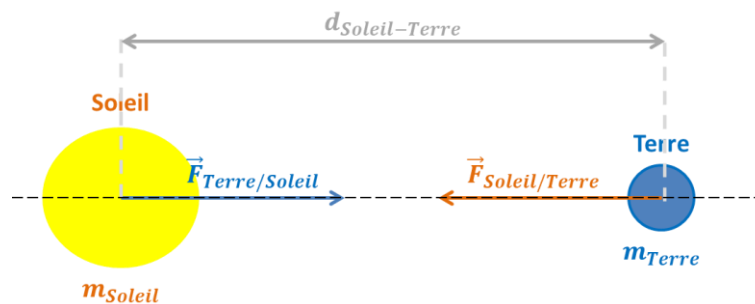


Figure PA2.3 : Représentation des forces d'attraction gravitationnelle entre le Soleil et la Terre.

$$\begin{aligned}
 F_{\text{Terre-Soleil}} = F_{\text{Soleil-Terre}} &= G \times \frac{m_{\text{Soleil}} \times m_{\text{Terre}}}{d_{\text{Soleil-Terre}}^2} \\
 &= 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,99 \times 10^{30} \times 5,98 \times 10^{24}}{(150 \times 10^9)^2} = 3,53 \times 10^{22} \text{ N}
 \end{aligned}$$

B) Poids

Le poids, aussi appelé force de pesanteur, est la force de gravitation exercée par un corps céleste (planètes, comètes...) sur un corps situé à une distance proche de sa surface.

En d'autres termes : $\vec{P} = \vec{F}_{\text{corps céleste}/\text{système}}$

Exemple :

Les êtres humains vivent à la surface de la Terre à cause de la force de pesanteur exercée par la Terre. Ici, $\vec{P} = \vec{F}_{\text{Terre}/\text{humain}}$

De même, si je suis à la surface d'une comète, je suis soumis à une force de pesanteur exercée par cette comète. Ici, $\vec{P} = \vec{F}_{\text{comète}/\text{moi}}$

Le Poids \vec{P} est caractérisé par :

- son **point d'application** : le centre du système ;
- sa **direction** : la verticale du lieu considéré ;
- son **sens** : vers le centre du corps céleste ;
- sa **valeur**.

La valeur du poids P se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$\begin{array}{c}
 \text{kg} \\
 \downarrow \\
 \text{N} \longrightarrow P = m \times g \longleftarrow \text{Intensité de pesanteur} \\
 \text{N/kg}
 \end{array}$$

Plus la masse d'un corps est importante, plus le poids est élevé.

L'intensité de pesanteur (g) représente la capacité d'attraction d'un corps céleste.

g dépend de :

- la **masse du corps céleste** (plus le corps céleste a une masse élevée, plus g est important) ;
- la **distance entre l'objet et le corps céleste** (plus l'objet est éloigné du centre du corps céleste, plus g est faible).

Exemple :

Calculer le poids sur la Terre et sur la Lune d' une personne dont la masse vaut 75 kg. Sur Terre, g vaut environ 9,8 N/kg. Sur la lune, g vaut environ 1,6 N/kg.

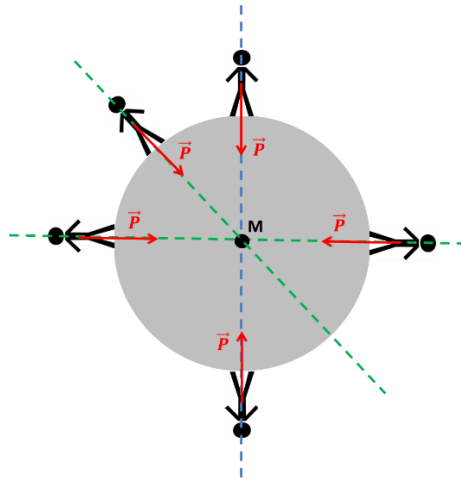


Figure PA2.4 : Attraction d'un système à la surface d'un corps céleste.

Qu'importe la position du bonhomme à la surface d'un corps céleste, il y a une attraction gravitationnelle. La direction et le sens du poids dépendent de la position du bonhomme.

$$P_{Terre} = m \times g_{Terre} = 75 \times 9,8 = 735 \text{ N}$$

$$P_{Lune} = m \times g_{Lune} = 75 \times 1,6 = 120 \text{ N}$$

Le poids étant une force gravitationnelle, l'intensité de pesanteur g et la constante de gravitation universelle G sont liées par cette formule :

$$g = G \times \frac{m_{\text{astre}}}{(R_{\text{astre}} + h)^2}$$

Constante de gravitation universelle
 $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
 Masse de l'astre en kg
 Intensité de pesanteur en N/kg
 Rayon de l'astre en m
 Altitude de l'objet en m

C) Réaction d'un support

La force de contact $\vec{F}_{\text{support}/\text{système}}$, exercée par un support sur le système, est appelée **réaction \vec{R} du support**.

Si le système est immobile ou en mouvement sans frottements, alors la réaction \vec{R} du support :

- a une direction perpendiculaire au support ;
- est orientée du support vers le système.

Exemple :

Lorsqu' une balle est posée sur une table, elle est soumise à l' attraction terrestre dont la force est symbolisée par \vec{P}_{balle} .

La table exerce une force opposée \vec{R} et de même intensité que le poids de la balle. En effet, si cette force n' existait pas ou était trop faible, la table ne pourrait pas supporter le poids de la balle et s' écroulerait. De même, si cette force était trop élevée, la table donnerait une impulsion à la balle.

Ici, $\vec{P}_{\text{balle}} = -\vec{R}$.

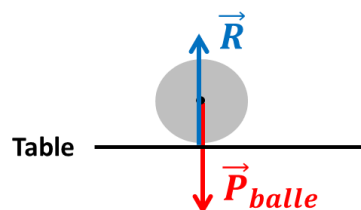


Figure PA2.5 : Forces exercées sur une balle immobile et posée sur une table.

D) Tension d'un fil

La force de contact $\vec{F}_{\text{fil}/\text{système}}$, exercée par un fil sur le système, est appelée **tension \vec{T} du fil**.

La tension \vec{T} du fil :

- a la même direction que le fil ;
- est orientée du point d'accroche du système vers le fil.

Exemple :

Voici une balle suspendue par un fil. L'ensemble est immobile.

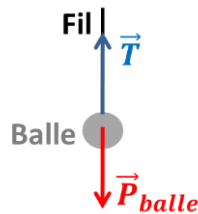


Figure PA2.6 : Forces exercées sur une balle suspendue par un fil.

Lorsqu'une balle est suspendue par un fil, elle est soumise à l'attraction terrestre dont la force est symbolisée par \vec{P}_{balle} .

Le fil exerce une force opposée \vec{T} et de même intensité que le poids de la balle. En effet, si cette force n'existait pas ou était trop faible, le fil ne pourrait pas supporter le poids de la balle et se casserait. De même, si cette force était trop élevée, le fil se rétracterait.

Comme le système est à l'équilibre, $\vec{P}_{\text{balle}} = -\vec{T}$.