1 De l’action mécanique à la force

Action mécanique

Lorsqu’un **système extérieur** agit sur un **système étudié**, il y a une **action mécanique** du premier qui s’exerce sur le second.

Les actions mécaniques peuvent avoir différents effets sur le système étudié (FIG. 1) : le **mettre en mouvement** A, **modifier** sa trajectoire et/ou sa vitesse B, ou encore le **déformer** C.

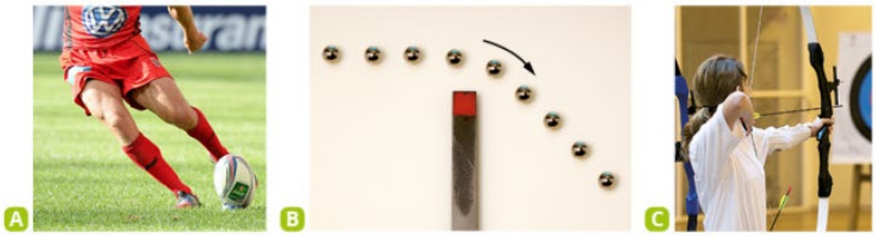


FIG. 1 Trois effets différents d’actions mécaniques.
A Mise en mouvement d’un ballon de rugby.
B Bille déviée par un aimant.
C Arc déformé par le tireur.

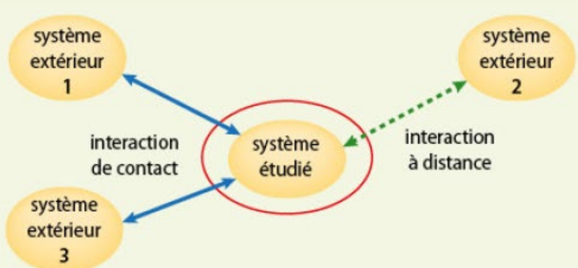
Action à distance et action de contact

Si les systèmes étudié et extérieur se touchent, on parle d’**action** mécanique **de contact** (FIG. 1 A C).
Si le système extérieur agit sur le système étudié sans le toucher, on parle d’**action** mécanique **à distance** (FIG. 1 B).

Diagramme objets-interactions

Le système étudié peut subir les actions de plusieurs systèmes extérieurs, il est alors important de faire le bilan de toutes les actions mécaniques agissant sur lui.

Le **diagramme objets-interactions** permet de dresser schématiquement le bilan des actions mécaniques qui s’exercent sur le système étudié.



Modélisation d’une action mécanique par une force

Pour pouvoir étudier une action mécanique, on la modélise par une **force** représentée par un **vecteur** $\vec{F}_{\text{Système extérieur/Système étudié}}$.

Les caractéristiques d’un vecteur $\vec{F}_{\text{Syst.ext./Syst.étu.}}$ sont :
- l’origine, le point représentant le système étudié ;
- la **direction**, celle de l’action mécanique ;
- le **sens**, celui de l’action mécanique ;
- la **norme** (ou longueur) est proportionnelle à la valeur (ou intensité) de la force, exprimée en newton (N) (FIG. 2).

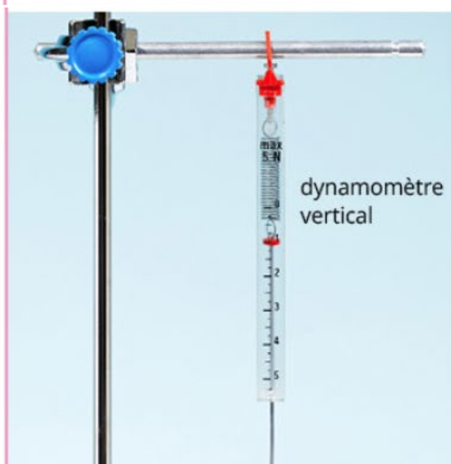


FIG. 2 La valeur de la force se mesure avec un dynamomètre.

EXEMPLE L’action mécanique d’une raquette sur une balle de tennis est modélisée par une force d’intensité 1 000 N. Le vecteur a une norme (ou longueur) égale au double de l’échelle (FIG. 3).

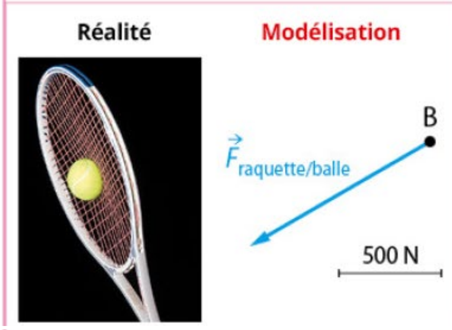


FIG. 3 Action mécanique d’un système modélisée par une force qui est représentée par un vecteur.

2 Exemples de forces

La force d'interaction gravitationnelle

En 1687, Newton publie dans son ouvrage *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, les prémices de ce qui allait devenir la loi de la gravitation universelle.

Tous les corps massiques de l'Univers s'attirent mutuellement, d'où le terme d'universelle. Cette attraction due à leur masse, est modélisée par la force d'interaction gravitationnelle.

Deux systèmes A et B, de masses respectives m_A et m_B, séparés d'une distance d, exercent l'un sur l'autre des actions mécaniques attractives modélisées par des forces, appelées **forces d'interaction gravitationnelle**, de même intensité, de même direction, mais de sens opposés.

L'expression vectorielle de ces forces $\vec{F}$ est :

expressions vectorielles des forces modélisant l'interaction entre A et B (valeur de F en **N**)

masses de A et B (en **kg**)

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

constante de gravitation universelle ($G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ **N · m² · kg⁻²**)

distance entre les centres de A et B (en **m**)

vecteur unitaire porté par la droite (AB), orienté de B vers A

Ces forces d'interaction sont à l'origine des mouvements des planètes autour du Soleil et des mouvements des satellites autour des planètes **(FIG. 4)**.

EXEMPLE La Terre de masse $m_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg et la Lune de masse $m_L = 7{,}35 \times 10^{22}$ kg sont à une distance $d = 3{,}84 \times 10^5$ km. Après conversion de d en mètre, on calcule l'intensité de la force d'interaction gravitationnelle F :

$$F_{Terre/Lune} = F_{Lune/Terre} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{5{,}97 \times 10^{24} \times 7{,}35 \times 10^{22}}{(3{,}84 \times 10^5 \times 10^3)^2} = 1{,}98 \times 10^{20}\ \text{N}$$

La représentation, sans souci d'échelle, des vecteurs forces est donnée ci-contre **(FIG. 4)**.

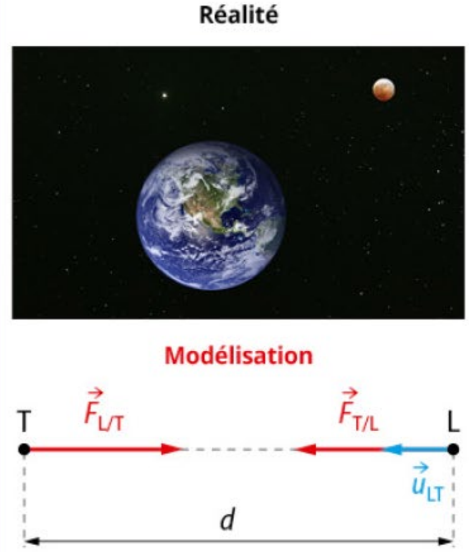


FIG. 4 Interaction gravitationnelle entre la Terre T et la Lune L.

Le poids

Un système étudié de masse m se trouvant à la surface (ou à proximité) d'un astre de masse m_A et de rayon R subit l'attraction de cet astre.

Le **poids** d'un système est la force qui modélise l'action à distance de l'astre attracteur à proximité **(FIG. 5)**. L'expression vectorielle du poids $\vec{P}$ est :

masse du système (en **kg**)

expression vectorielle du poids d'un système (valeur de P en **N**)

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

champ de pesanteur $\vec{g}$ (valeur de l'intensité de pesanteur g en **N · kg⁻¹**)

Or : $$\vec{F}_{A/S} = G \cdot \frac{m_A \cdot m}{R^2} \cdot \vec{u}_{SA} = m \cdot \left(\frac{G \cdot m_A}{R^2}\right) \cdot \vec{u}_{SA}$$

Le poids $\vec{P}$ est dirigé suivant le vecteur unitaire $\vec{u}_{SA}$ porté par la droite (SA) et orienté de S vers A. Les caractéristiques du vecteur $\vec{P}$ du système S sont **(FIG. 5)** :
- la direction, qui est la droite reliant le système au centre de l'astre, donc la **verticale du lieu** ;
- le sens, qui est **vers le centre** de l'astre ;
- la longueur, qui est proportionnelle à la valeur du poids $P = m \cdot g$.

FIG. 5 Poids $\vec{P}$ d'un système S modélisant l'attraction à proximité de la Terre.

Attention

Il ne faut pas confondre **masse** m et **intensité du poids** P qui sont deux **grandeurs proportionnelles**, mais pas égales. Le coefficient de proportionnalité correspond à l'intensité de pesanteur g à la surface de l'astre.

L'**intensité de pesanteur** dépend de la masse de l'astre et de son rayon (FIG. 6) :

constante de gravitation universelle ($G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ **N · m² · kg⁻²**)

$$g = \frac{G \cdot m_A}{R^2}$$

intensité de pesanteur g (en **N · kg⁻¹**) ; m_A : masse de l'astre (en **kg**) ; R : rayon de l'astre (en **m**)

EXEMPLE À la surface de la Terre, $R_T = 6\,371$ km et $m_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.
L'intensité de pesanteur g_T vaut en moyenne :

$$g_T = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(6\,371 \times 10^3)^2} = 9{,}81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

À la surface de la Lune, $R_L = 1\,737$ km et $m_L = 7{,}35 \times 10^{22}$ kg.
L'intensité de pesanteur g_L vaut en moyenne :

$$g_L = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 7{,}35 \times 10^{22}}{(1\,737 \times 10^3)^2} = 1{,}62 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

L'intensité de pesanteur sur la Lune est donc six fois plus faible que sur la Terre, il en est alors de même pour l'intensité du poids.

FIG. 6 Influence de la masse de l'astre attracteur sur la valeur de l'intensité de la pesanteur moyenne g.

Force exercée par un support

On appelle **réaction $\vec{R}$ du support** (FIG. 7) la force qui modélise l'action du support sur le système d'étude. Les caractéristiques de la réaction $\vec{R}$ sont :
– la **direction** qui est **perpendiculaire au support** ;
– le **sens** qui est **du support vers le système étudié** ;
– la **norme** qui est proportionnelle à la valeur de la réaction R.

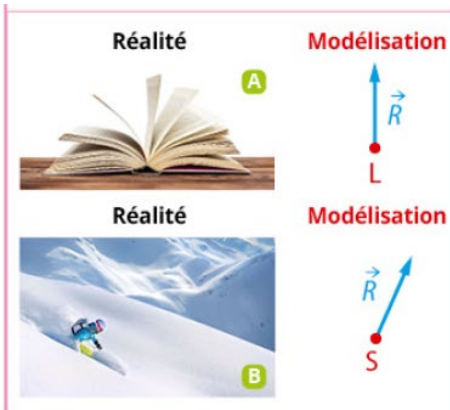


FIG. 7 Réactions $\vec{R}$ d'un support.
A La table exerce une action sur le livre L.
B Une pente enneigée exerce une action sur le skieur S.

Force exercée par un fil

On appelle **tension $\vec{T}$ du fil** (FIG. 8) la force qui modélise l'action du fil sur le système d'étude. Les caractéristiques de la tension $\vec{T}$ sont :
– la **direction** qui est **celle du fil** ;
– le **sens** qui est **du système étudié vers le fil** ;
– la **norme** qui est proportionnelle à la valeur de la tension T.

FIG. 8 Tension $\vec{T}$ du fil modélisant l'action du fil sur une boule B qui y est accrochée.

3 Principe des actions réciproques

Troisième loi de Newton

3ᵉ loi de Newton : lorsqu'un système A exerce une action mécanique sur un système B, alors le système B exerce une action mécanique réciproque sur le système A. Ces actions sont modélisées par des forces telles que :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

Ces forces ont **même direction**, **même valeur**, mais sont de **sens opposés**.

EXEMPLE Ce principe (3ᵉ loi de Newton) explique la propulsion des fusées. La fusée exerce une action mécanique sur les gaz en les expulsant vers le bas. Les gaz exercent alors une action mécanique sur la fusée vers le haut. Ces actions mécaniques sont modélisées par les forces $\vec{F}_{fusée/gaz}$ et $\vec{F}_{gaz/fusée}$ qui sont de sens opposés. Le système étudié étant la fusée, c'est la force $\vec{F}_{gaz/fusée}$ qui est à l'origine du décollage de la fusée (FIG. 9).

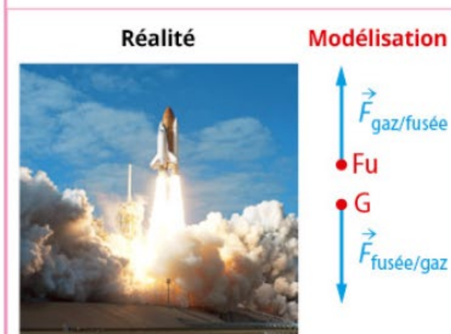


FIG. 9 Principe de la propulsion.

L'ESSENTIEL À RETENIR

Le vocabulaire à retenir

Les relations à connaître et savoir utiliser

1 De l'action mécanique à la force

- Une **action mécanique** correspond à l'action d'un **système extérieur** sur le **système étudié**, elle peut être **de contact** ou s'exercer **à distance**.
- On modélise une action mécanique par une **force** représentée par un **vecteur** $\vec{F}_{\text{Système extérieur/Système étudié}}$ qui a ces caractéristiques :

– l'origine, le point représentant le système ;
– la **direction**, celle de l'action mécanique ;
– le **sens**, celui de l'action mécanique ;
– la **norme** (ou longueur) est proportionnelle à la valeur (ou intensité) de la force, exprimée en newton (N).

2 Exemples de forces

- **La force d'interaction gravitationnelle $\vec{F}$**

expressions vectorielles des forces modélisant l'interaction entre A et B (valeur de F en **N**)

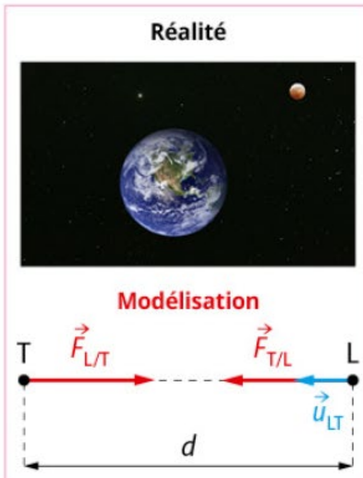
masses de A et B (en **kg**)

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

constante de gravitation universelle ($G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ **N · m² · kg⁻²**)

distance entre les centres de A et B (en **m**)

vecteur unitaire porté par la droite (AB), orienté de B vers A



- **Le poids $\vec{P}$**

expression vectorielle du poids d'un système (valeur de P en **N**)

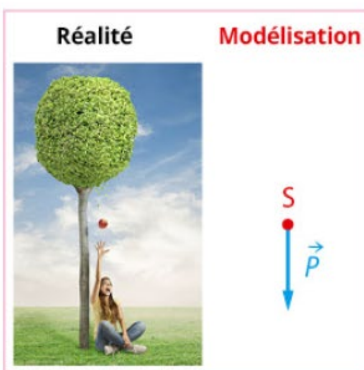
masse du système (en **kg**)

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

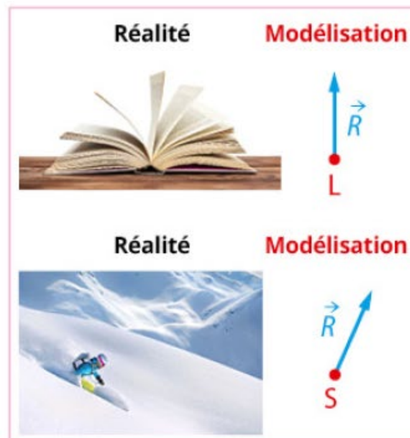
champ de pesanteur $\vec{g}$ (valeur de l'intensité de pesanteur g en **N · kg⁻¹**)

$$\vec{F}_{A/S} = G \cdot \frac{m_A \cdot m}{R^2} \cdot \vec{u}_{SA} = m \cdot \left(\frac{G \cdot m_A}{R^2}\right) \cdot \vec{u}_{SA}$$

À la surface de la Terre, l'intensité de pesanteur g_T vaut en moyenne 9,81 N · kg⁻¹.



- **La force $\vec{R}$ exercée par un support**



- **La force $\vec{T}$ exercée par un fil**

Attention

Il ne faut pas confondre **masse** m et **intensité du poids** P qui sont deux **grandeurs proportionnelles**, mais pas égales. Le coefficient de proportionnalité correspond à l'intensité de pesanteur g à la surface de l'astre.

3 Principe des actions réciproques

- **Troisième loi de Newton**

Deux systèmes A et B exercent l'un sur l'autre des actions mécaniques réciproques modélisées par des forces telles que :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

Ces forces ont **même direction**, **même valeur**, mais sont de **sens opposés**.