

I. De l'action mécanique à la force

Une **action mécanique** exercée par l'extérieur sur le système étudié permet de :

- mettre en mouvement ;
- modifier un mouvement, une vitesse et/ou une direction ;
- déformer un objet (définitivement ou non) ;
- maintenir un équilibre.



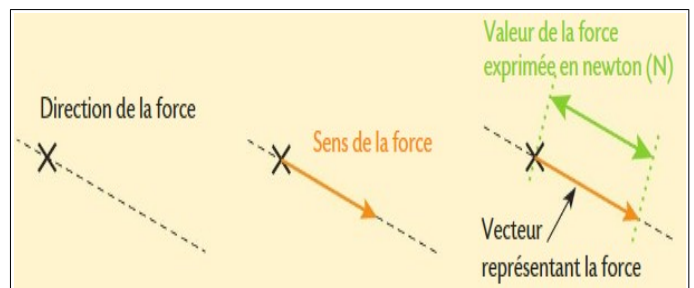
Une **force** modélise une action mécanique exercée par un objet sur un autre.

On distingue deux types de forces :

- les **forces de contact**, qui s'exercent dès lors qu'il y a contact entre les deux objets ;
- les **forces à distance**, qui s'exercent sans contact entre deux objets en interaction.

Une force est représentée par un vecteur force qui possède quatre caractéristiques :

1. un **point d'application** (centre de gravité du solide pour les actions à distance ou point de contact pour les actions de contact) ;
2. une **direction** (droite d'action de la force) ;
3. un **sens** ;
4. une **norme** (proportionnelle à la valeur de la force et exprimée en newton de symbole N)



II. Exemples de forces

II.a) Le poids

À la surface d'une planète, un système de masse m est soumis à l'attraction de cet astre.

Cette action à distance est modélisée par une force appelée **poids** représentée par un vecteur noté \vec{P} dont l'expression **vectorielle** est : $\vec{P} = m \times \vec{g}$.

Les caractéristiques de cette force sont :

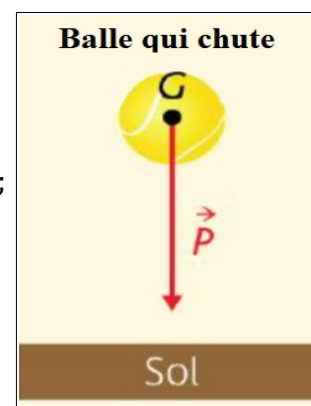
- **point d'application** : centre de masse G de l'objet
- **direction** : la verticale du lieu (droite qui relie le système au centre de l'astre) ;
- **sens** : vers le bas (vers le centre de l'astre) ;
- **valeur** :

$$P = m \times g$$

P : norme du poids (N)

m : masse (kg)

g : intensité de pesanteur ($N \cdot kg^{-1}$)

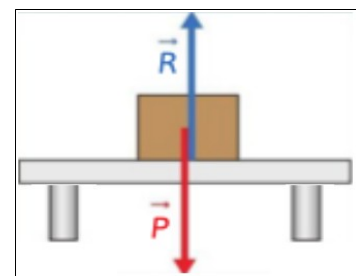


II.b) Force exercée par un support

a) solide à l'équilibre

Un livre posé sur un support, comme une table, ne tombe pas ou ne traverse pas la table car celle-ci exerce une force de contact sur le livre qui s'oppose à son enfoncement.

La force qui modélise l'action de contact exercée par le support sur le système étudié $\vec{F}_{\text{support/système}}$ est aussi appelée **réaction du support** notée \vec{R} .



Les caractéristiques de cette force sont :

- **point d'application** : milieu de la surface de contact entre le support et le système étudié.
- **direction** : perpendiculaire au support (si on néglige les frottements liés au support) ;
- **sens** : du support vers le système étudié ;
- **norme** : dépend de la situation étudiée.

b) solide en mouvement

Exerçons une force supplémentaire sur le solide, celui-ci est soumis à 3 forces : son poids, la réaction du support et la force motrice.

Sans frottements (fig. A), la réaction du support reste perpendiculaire à la table, \vec{P} et \vec{R} se compensent toujours ($\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$).

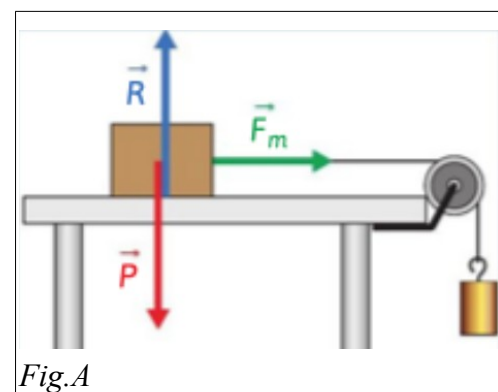


Fig.A

S'il y a des frottements (fig.B), on les représente par un vecteur \vec{f} appelé **force de frottement**, de même direction que le mouvement mais de sens opposé.

Dans ce cas, la réaction \vec{R} n'est plus perpendiculaire à la table.

On peut écrire que $\vec{R} = \vec{N} + \vec{f}$ ou

- Avec \vec{R} : réaction du support,
- \vec{N} : composante normale de la réaction
- \vec{f} : force de frottement

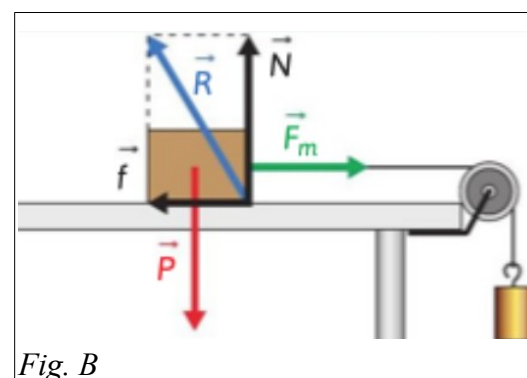


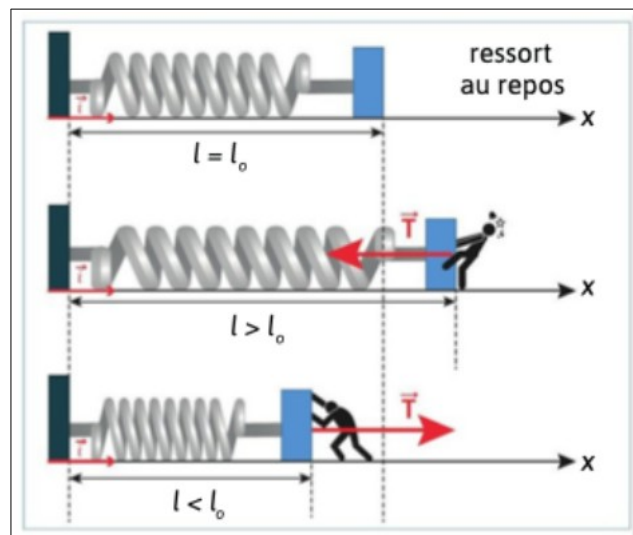
Fig. B

II.c) Force élastique

La **force élastique** est la force de rappel qui tend à ramener dans sa position naturelle un ressort comprimé ou étiré.

Cette force est proportionnelle à la compression ou à l'allongement du ressort.

- **point d'application** : extrémité du ressort ;
- **direction** : axe du ressort ;
- **sens** : sens opposé à la déformation subie
- **norme** : pour un ressort dont la longueur varie de x ($x = |l - l_0|$), cette force vaut : $T = k \times x$.
où k est la constante de raideur du ressort en N.m^{-1} .



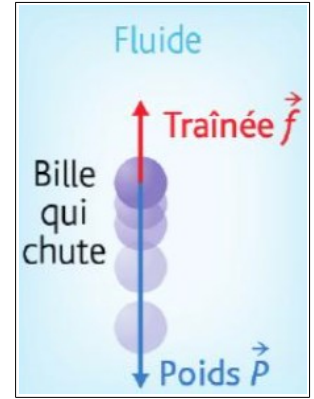
II.d) Force de frottement fluide

La **force de frottement fluide**, appelée aussi **traînée**, est la force qui s'oppose au déplacement d'un solide dans un fluide (l'air ou l'eau par exemple).

L'intensité (en N) de cette force s'exprime par la relation :

$$f = \frac{1}{2} \times C_x \times \rho \times S \times v^2$$

avec C_x : coefficient de traînée sans unité
 ρ : masse volumique du fluide
 S : surface frontale du solide en m^2
 v : vitesse du solide en $m \cdot s^{-1}$



III. Principe d'inertie (rappel)

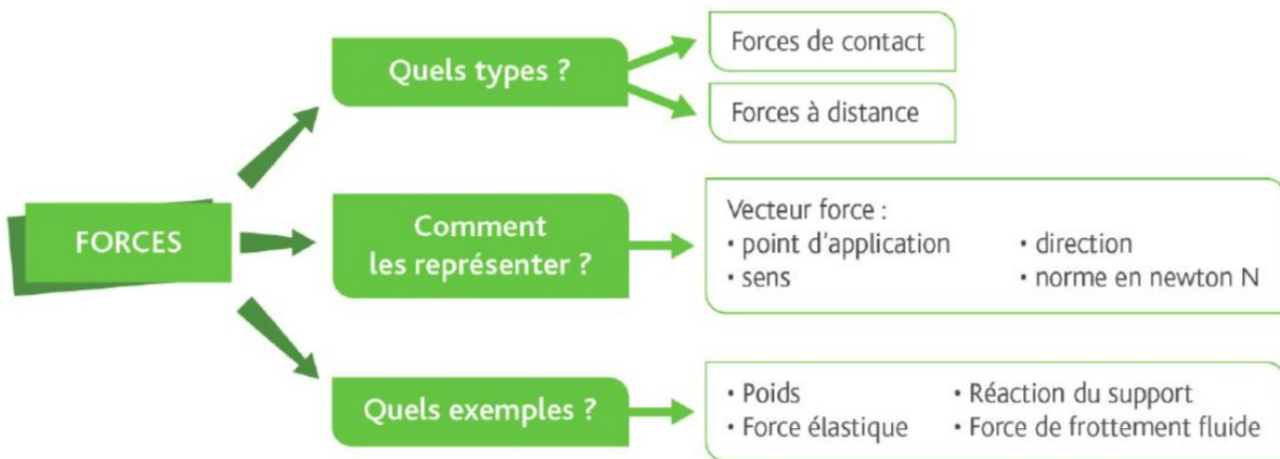
→ Si un objet est soumis à un ensemble de forces qui se compensent, alors il est immobile ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

→ **Réciproque** : si un objet est immobile ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme, alors il est soumis à un ensemble de forces qui se compensent.

La somme vectorielle des forces ($\vec{\Sigma}_F$) qui s'exercent sur un objet est un vecteur force $\vec{F}_{rés}$ appelée **résultante des forces**.

Lorsque toutes les forces se compensent, on a alors $\vec{\Sigma}_F = \vec{F}_{rés} = \vec{0}$.

Résumé :



Principe d'inertie :



IV. Travail d'une force

IV.a) Définition

Le **travail** d'une force appliquée à un solide qui se déplace correspond à l'énergie que cette force apporte ou prélève à ce solide durant son déplacement.

Considérons une force \vec{F} appliquée à un solide qui se déplace d'un point A vers un point B.

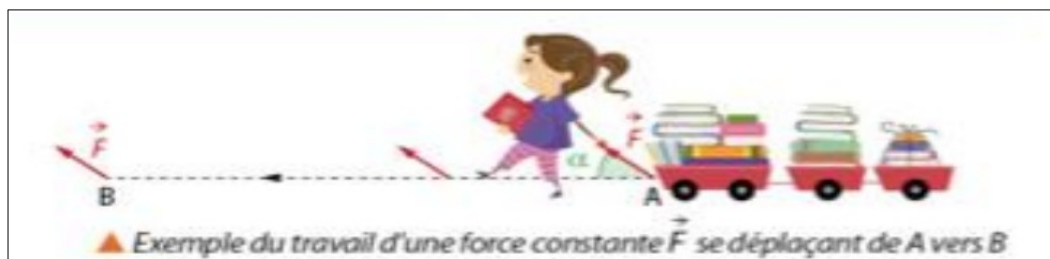
Le travail de la force \vec{F} sur le déplacement AB noté $W_{AB}(\vec{F})$ est égal à :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos(\vec{F}, \vec{AB})$$

ou

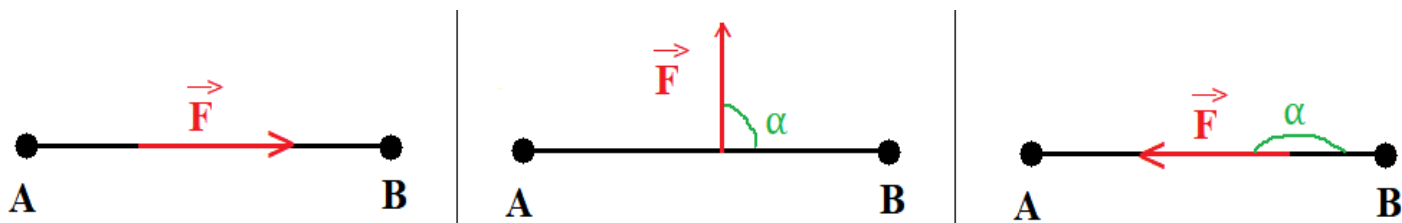
$$W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos\alpha$$

avec $W_{AB}(\vec{F})$ en joule (J)
 F en newton (N)
 AB en mètre (m)
 α : angle entre le vecteur force \vec{F}
et le vecteur déplacement \vec{AB}



L'effet d'une force sur le mouvement d'un solide est différent selon l'orientation de cette force par rapport au vecteur déplacement \vec{AB} (angle α).

Voici quelques cas particuliers :



$\alpha = 0^\circ \rightarrow \cos \alpha = 1$	$W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB$	La force est parallèle au déplacement et dans le sens du mouvement. Le travail est positif : il est dit moteur .
$\alpha = 90^\circ \rightarrow \cos \alpha = 0$	$W_{AB}(\vec{F}) = 0$	La force est perpendiculaire au déplacement. Le travail est nul .
$\alpha = 180^\circ \rightarrow \cos \alpha = -1$	$W_{AB}(\vec{F}) = -F \times AB$	La force est parallèle au déplacement et de sens opposé au sens du mouvement. Le travail est négatif : il est dit résistant .

IV.b) Travail du poids

Dans un champ de pesanteur uniforme \vec{g} , le poids d'un solide de masse m est une force constante.

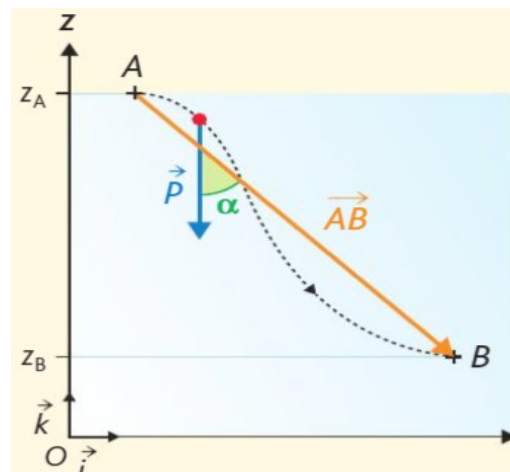
Lorsque ce solide se déplace d'un point A vers un point B, le travail du poids est donné par la relation :

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = m \times g \times \cos \alpha$$

Or, $\cos \alpha = \frac{z_A - z_B}{AB}$ d'où : $W(\vec{P}) = m \times g \times (z_A - z_B)$

avec : m en kilogramme (kg)

$z_A - z_B$: différence d'altitude entre A et B en mètres (m).



Remarque

- Lorsque le solide s'élève d'une hauteur h , le travail du poids est résistant et on a $W(\vec{P}) = -m \times g \times h < 0$.
- Lorsque le solide descend d'une hauteur h , le travail du poids est moteur et on a $W(\vec{P}) = m \times g \times h > 0$.

IV.c) Travail des forces de frottement

Considérons un solide se déplaçant selon un mouvement rectiligne de A vers B.

Il est soumis à une force de frottement \vec{f} de sens opposé au vecteur déplacement \vec{AB} .

$$\text{On a : } W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB}$$

$$\text{Donc } W_{AB}(\vec{f}) = f \times AB \times \cos(180)$$

$$\text{Ce qui revient à } W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB < 0, \text{ il s'agit d'un travail résistant.}$$

Ce solide perd de l'énergie cinétique cédée au sol sous forme d'énergie thermique.

Une force de frottement est toujours opposée au déplacement et son travail toujours résistant.

IV.d) Puissance moyenne

La puissance moyenne P (en W) associée à une force \vec{F} qui s'exerce sur un déplacement AB de durée Δt s'exprime par :

$$P = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{\Delta t}$$

Avec : $W_{AB}(\vec{F})$ en joule (J)

Δt en seconde (s)

En résumé :

$$W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos \alpha$$

J N m
 \downarrow \downarrow \downarrow
 $W_{AB}(\vec{F})$ F AB $\times \cos \alpha$
 Angle entre \vec{F} et \vec{AB}

- Si $W_{AB}(\vec{F}) > 0$: travail moteur
- Si $W_{AB}(\vec{F}) = 0$: travail nul
- Si $W_{AB}(\vec{F}) < 0$: travail résistant

Quel travail ?

Travail du poids :

$$W(\vec{p}) = m \times g \times (z_A - z_B)$$

avec m en kg, g en $N \cdot kg^{-1}$ et $z_A - z_B$ différence d'altitude entre A et B en m

Travail d'une force de frottement de sens opposé à \vec{AB} :

$$W(\vec{f}) = -f \times AB < 0 \text{ : travail résistant}$$

FORCE \vec{F} SUR UN DÉPLACEMENT \vec{AB}

Quelle puissance moyenne ?

$$W \rightarrow P = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{\Delta t}$$

Durée du déplacement (s)