Chapitre II : Les actions mécaniques et les forces

1. Actions mécaniques

1.1. Effets d'une action mécanique

Une **action mécanique** est une interaction exercée par un corps (acteur) sur un autre corps (receveur). Elle peut agir sur le mouvement ou provoquer une déformation.

Exemples d'actions mécaniques :

1. Le joueur frappe le ballon :
Le pied exerce une action de contact qui met le ballon en mouvement ou modifie sa vitesse.



---

2. Le footballeur dirige le ballon :
Son pied peut changer la direction et le sens du mouvement du ballon.



---

3. La grue soulève une charge :
Le câble exerce une force de traction qui permet de soulever ou de maintenir la charge.



---

4. Le saut à la perche :
La perche se courbe sous l'action de l'athlète. Elle subit une déformation puis restitue de l'énergie en se redressant.



1.2. Conclusion

Une action mécanique peut :
- **mettre en mouvement** ou arrêter un corps ;
- **modifier le mouvement** d'un corps (sa vitesse, sa direction ou son sens) ;
- **déformer** un corps (de manière temporaire ou permanente).

2. La force

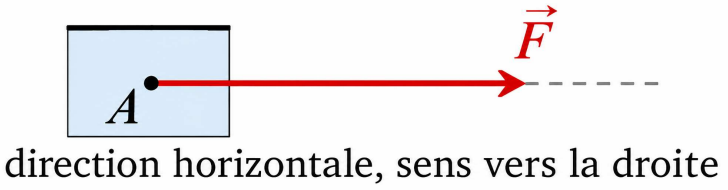
2.1. Notion de force

Pour réaliser une étude quantitative, on modélise une action mécanique par une grandeur vectorielle appelée **force**, notée $\vec{F}$.

Les effets possibles d'une force sont ceux d'une action mécanique : mise en mouvement, modification du mouvement et déformation.

2.2. Le vecteur force

Une force est une grandeur vectorielle définie par **quatre caractéristiques** :
- **Point d'application** : point où l'on considère que la force agit sur le corps ;
- **Droite d'action (direction)** : droite qui porte le vecteur force ;
- **Sens** : orientation du vecteur sur cette droite ;
- **Intensité** : valeur positive $F = \|\vec{F}\|$, exprimée en **newtons (N)**, mesurable avec un dynamomètre.



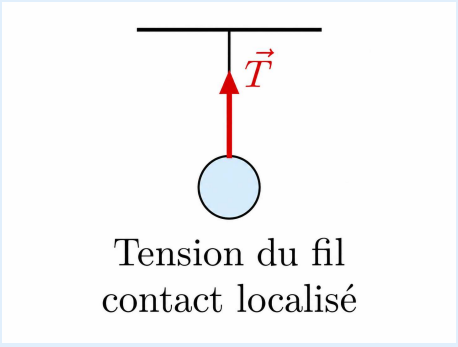
Représentation à l'échelle : si 1 cm ↔ 2 N, une force de 6 N se représente par une flèche de 3 cm.

2.3. Classe d'une force

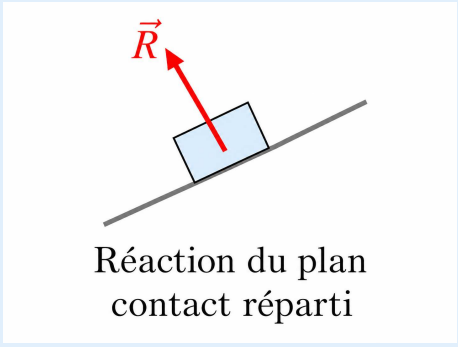
Force de contact : La force s'exerce lorsque le corps acteur touche le corps receveur.

— Contact sur un point ou une petite surface : **force de contact localisée** ;

— Contact sur une surface étendue : **force de contact répartie**, modélisée par une résultante unique.



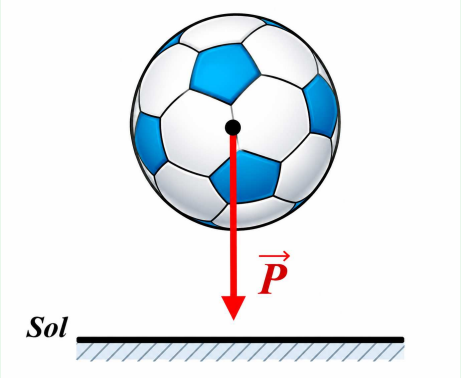
Contact localisé



Contact réparti

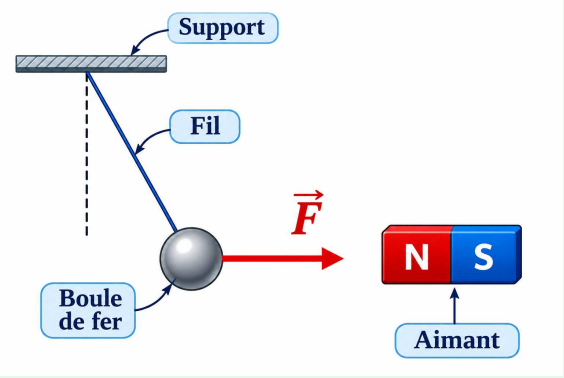
Force à distance : Une interaction mécanique sans contact direct entre les deux corps.
Exemples : Attraction gravitationnelle, forces magnétiques et électriques.

1. Le poids d'un corps



Le **poids** est une force à distance exercée par la Terre sur le corps.
Elle est représentée par le vecteur $\vec{P}$ appliqué au centre de gravité G, de direction verticale et de sens vers le bas.

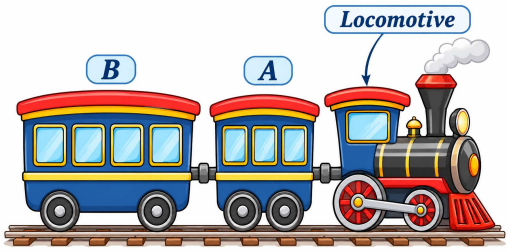
2. Attraction magnétique



Un **aimant** attire une boule de fer sans nécessairement la toucher.
La force magnétique $\vec{F}$ exercée par l'aimant sur la boule est dirigée vers l'aimant.

Force intérieure / extérieure : après avoir choisi un système étudié :
— **Intérieure** : exercée par une partie du système sur une autre partie de ce même système ;
— **Extérieure** : exercée sur le système par un corps qui n'appartient pas au système.

Exemple du train :



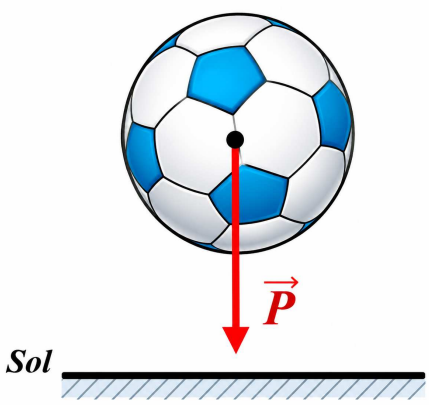
Système étudié {train entier}
— l'interaction entre la locomotive et le wagon A est **intérieure**.
— l'interaction entre le wagon A et le wagon A est **intérieure**.
— L'action de la Terre sur le train est extérieure.

Système {wagon A} :
— la traction de la locomotive le wagon A est **extérieure**, car la locomotive ne fait pas partie du système choisi.
— la traction du wagon B sur le wagon A est **extérieure**, car le wagon B ne fait pas partie du système choisi.

3. Étude de quelques forces usuelles

3.1. Le poids d'un corps

Le **poids** d'un corps est la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur celui-ci. C'est une force **à distance**, notée $\vec{P}$.
— Point d'application : centre de gravité G ;
— Droite d'action : verticale passant par G ;
— Sens : vers le bas (centre de la Terre) ;
— Intensité : $\boxed{P = mg}$, avec m en kilogrammes, $g \simeq 9{,}8\,\mathrm{N\,kg^{-1}}$, P en newtons.



Un corps de $m = 2\,\mathrm{kg}$ a pour poids $P = 2 \times 9{,}8 = \boxed{19{,}6\,\mathrm{N}}$ à proximité du sol.

3.2. La réaction d'un plan

Un plan en contact avec un corps exerce une **réaction** $\vec{R}$, résultante des forces de contact réparties sur la surface commune.

Contact sans frottement :

La réaction du plan est normale à la surface de contact :

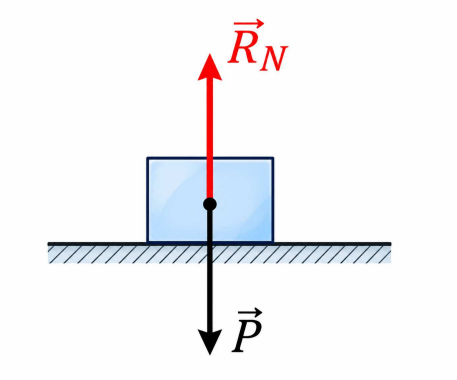
$$\boxed{\vec{R} = \vec{R}_N}$$

Pour un corps en équilibre sur un plan horizontal, soumis uniquement à son poids et à la réaction du plan, on a :

$$\vec{P} + \vec{R}_N = \vec{0}$$

D'où :

$$\boxed{R_N = P = mg}$$



Réaction d'un plan sans frottement

Contact avec frottement :

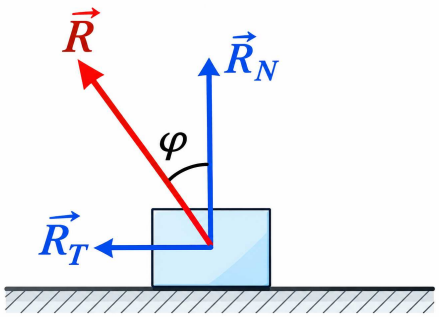
La réaction est la somme de deux composantes :

— Une composante normale $\vec{R}_N$

— Une composante tangentielle $\vec{R}_T$, dite **force de frottement**.

$$\boxed{\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{R}_T} \qquad \boxed{R = \sqrt{R_N^2 + R_T^2}}$$

$\vec{R}_N$ est perpendiculaire au plan ; $\vec{R}_T$ est parallèle au plan et s'oppose au glissement ou à sa tendance.



Réaction d'un plan avec frottement

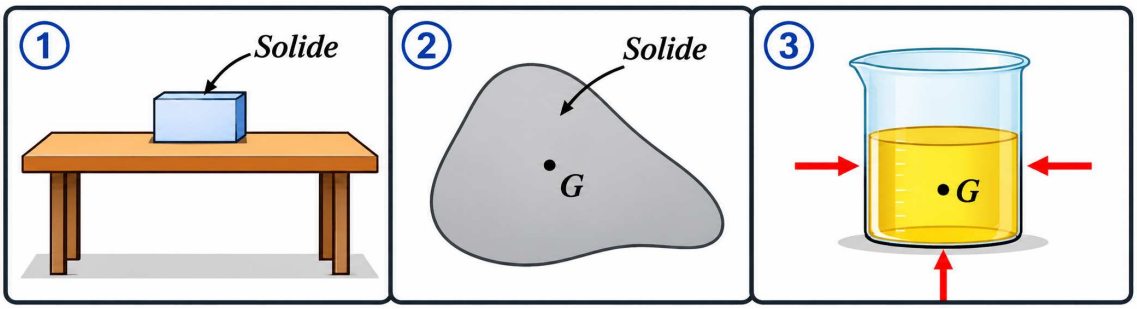
Angle de frottement : φ est l'angle formé par $\vec{R}$ et $\vec{R}_N$. Le coefficient de frottement associé est

$$\boxed{k = \tan\varphi = \frac{R_T}{R_N}}$$

avec $R_N > 0$.
k est positif et sans unité.

4. Force pressante et pression

4.1. Force pressante



Observations du document :

1. Un solide posé sur une table appuie sur la surface de contact ;
2. L'air contenu dans un ballon presse ses parois ;
3. Le liquide contenu dans un bécher presse ses parois et son fond.

La **force pressante** $\vec{F}$ est la force résultante qu'un solide, un liquide ou un gaz exerce **normalement à une surface** en contact.

4.2. La pression

La **pression** sur une surface est la force pressante normale exercée par unité d'aire :

$$\boxed{p = \frac{F}{S}}$$

— F : intensité de la force pressante, en newtons (N) ;
— S : aire de la surface pressée, en mètres carrés (m^2) ;
— p : pression, en pascals (Pa), avec $1\,Pa = 1\,N\,m^{-2}$.

Une force pressante $F = 120\,N$ uniformément répartie sur $S = 0{,}03\,m^2$ produit une pression :

$$P = 120/0{,}03 = 4000\,Pa.$$

4.3. Unités de la pression

Atmosphère	Centimètre de Hg	Bar
$1\,atm = 101\,325\,Pa$	$76\,cmHg \simeq 1\,atm$	$1\,bar = 10^5\,Pa$

— La pression d'un gaz dans un récipient peut être mesurée avec un **manomètre**.
— La pression atmosphérique est mesurée avec un **baromètre**.

4.4. Pression atmosphérique

— La **pression atmosphérique** P_a est due à l'air qui nous entoure.
— Elle varie notamment avec **l'altitude** et les conditions météorologiques.
— Elle diminue généralement lorsque l'altitude augmente.
Sa valeur de référence au niveau de la mer est :$P_a = 1\,atm = 1{,}01325 \times 10^5\,Pa$

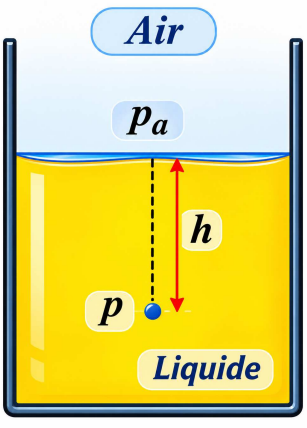
4.5. Pression en un point d'un liquide

Dans un liquide homogène au repos, dont la surface libre est à la pression p_a, la pression à la profondeur h vérifie :

$$\boxed{p = p_a + \rho g h}$$

ρ : masse volumique du liquide ($kg \cdot m^{-3}$) ;
g : intensité de pesanteur ($N \cdot kg^{-1}$) ;
h : profondeur (m) ;
p et p_a en pascals.

Dans l'eau ($\rho \simeq 1000\,kg\,m^{-3}$), à $h = 2\,m$ sous la surface :
$p = 101325 + 1000 \times 9{,}8 \times 2 = \boxed{120925\,Pa}$.



Pression dans un liquide au repos

5. Comment projeter une force dans un repère orthonormé ?

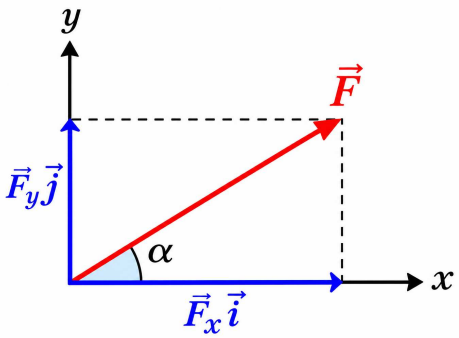
5.1. Écriture du vecteur force

Dans un repère orthonormé $(O, \vec{i}, \vec{j})$, un vecteur force se décompose en :

$$\boxed{\vec{F} = F_x\vec{i} + F_y\vec{j}}$$

$$\boxed{F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}}$$

F_x et F_y désignent les **composantes algébriques** suivant les axes Ox et Oy.
Elles peuvent être positives, négatives ou nulles.



Décomposition d'une force suivant deux axes orthogonaux.

Si α est mesuré à partir de l'axe Ox positif, dans le sens trigonométrique :

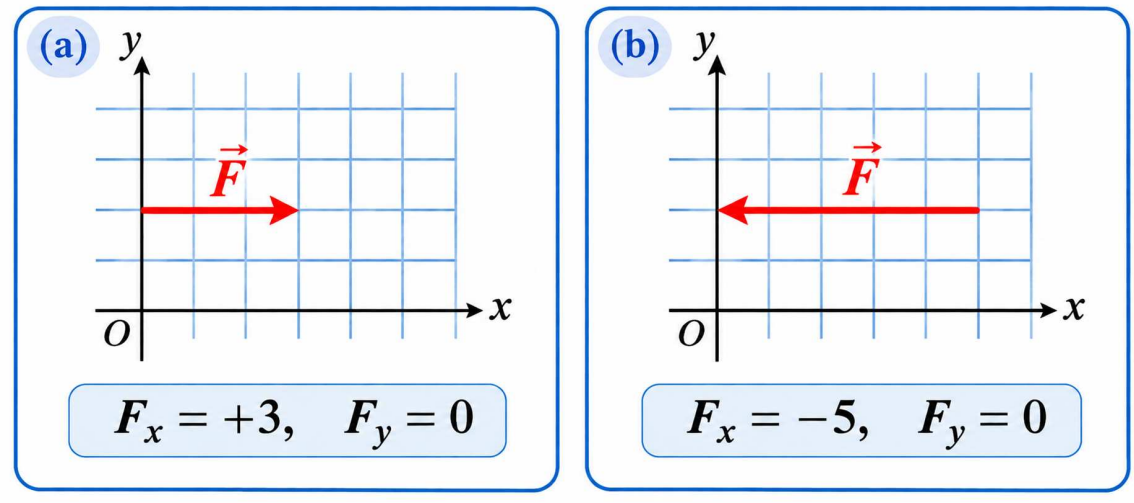
$$\boxed{F_x = F\cos\alpha}$$

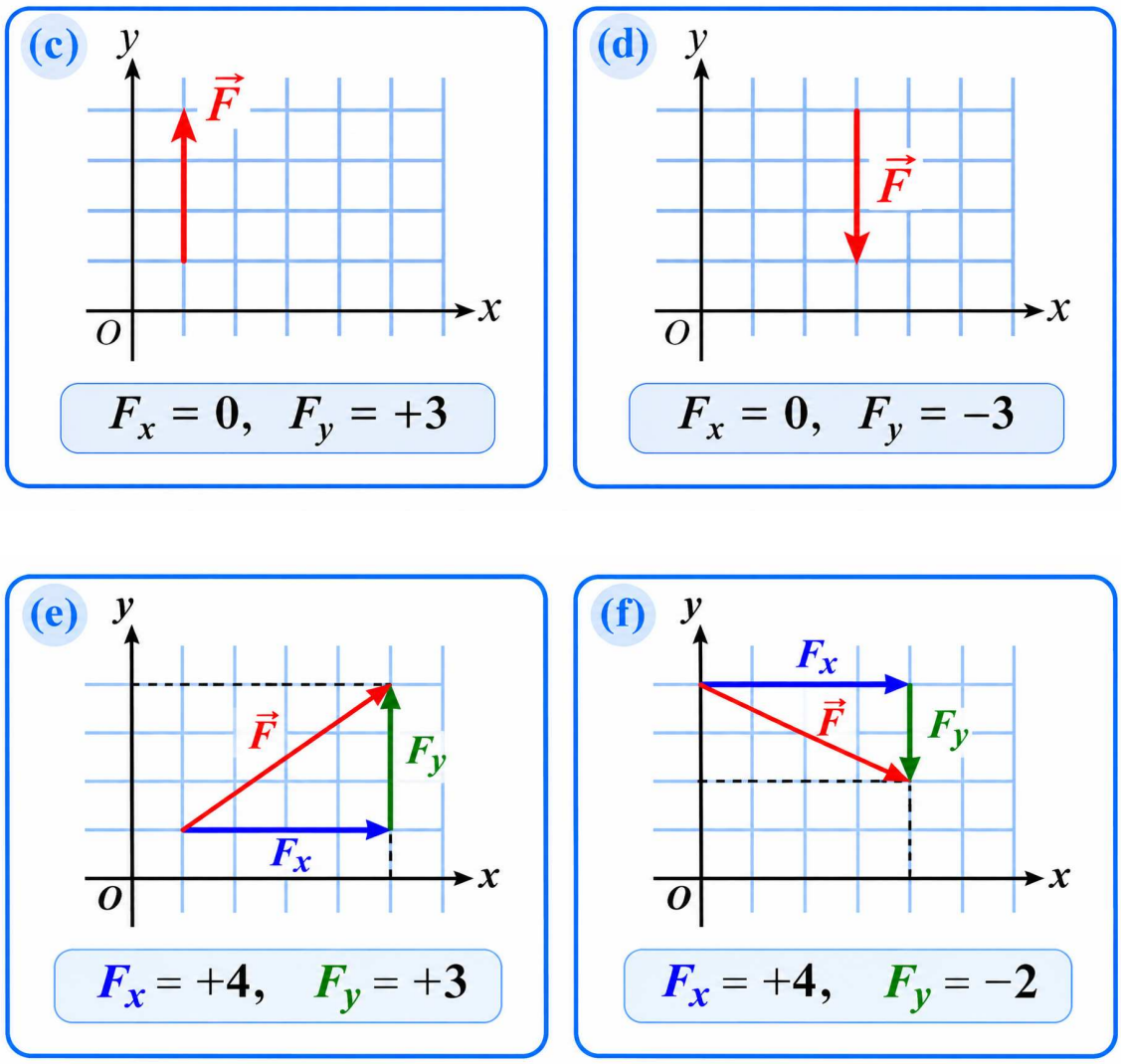
$$\boxed{F_y = F\sin\alpha}$$

5.2. Quelques exemples simples

Sur chaque graphique ci-dessous, **un carreau correspond à une unité de force** pour chaque composante.

— Pour un axe, une projection dans le même sens que l'axe est positive ;
— Dans le sens opposé, elle est négative.
— Les valeurs correspondent aux déplacements de la pointe de la flèche par rapport à son origine.





5.3. Généralisation au cas de plusieurs forces

Règles de projection :

1. On projette **chaque vecteur séparément** sur les axes choisis, avec le signe correspondant au sens de sa composante.
2. La projection de la **somme** des vecteurs est égale à la **somme de leurs projections** :

$$\boxed{\left(\sum \vec{F}\right)_x = \sum F_x}, \qquad \boxed{\left(\sum \vec{F}\right)_y = \sum F_y}.$$

Exemple du solide sur un plan horizontal :

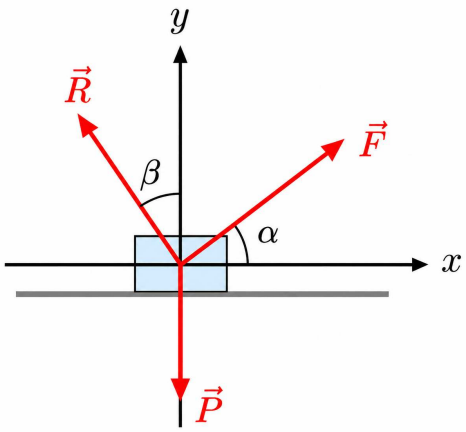
Trois forces s'exercent sur le corps :

— Son poids $\vec{P}$,

— Une force $\vec{F}$ dirigée vers la droite et vers le haut,

— La réaction $\vec{R}$ dirigée vers la gauche et vers le haut.

Poids $\vec{P}$	**Force** $\vec{F}$	**Réaction** $\vec{R}$
$P_x = 0$	$F_x = F\cos\alpha$	$R_x = -R\sin\beta$
$P_y = -P$	$F_y = F\sin\alpha$	$R_y = R\cos\beta$



Somme des projections :

$$\boxed{\sum F_x = F\cos\alpha - R\sin\beta}, \qquad \boxed{\sum F_y = F\sin\alpha + R\cos\beta - P}.$$