

Mouvement et interactions — Forces

Un livre posé sur une table ne bouge pas. Deux forces s'y exercent pourtant, et elles se compensent exactement. Un parachutiste en chute stabilisée ne bouge pas non plus — par rapport à l'air, sa vitesse ne varie plus — et c'est la même situation. Ce chapitre repose entièrement sur une question qu'il faut se poser avant toute autre : quel est le système, et qu'est-ce qui agit sur lui ?

1 Choisir un système, recenser les forces

DÉFINITION

Le **système** est l'objet dont on étudie le mouvement, choisi explicitement au début de l'exercice. On le **modélise par un point** — souvent son centre — ce qui revient à ignorer sa forme et sa rotation pour ne garder que sa position et sa masse. Tout ce qui n'appartient pas au système est le **milieu extérieur** : seules les forces exercées **par l'extérieur sur le système** sont représentées.

DÉFINITION

Une **force** modélise une **interaction** entre deux corps. On la représente par une flèche, un vecteur, qui porte quatre renseignements : son **point d'application**, sa **direction**, son **sens** et sa **valeur en newton (N)**. Une force se nomme toujours en disant **qui l'exerce sur qui** : on écrit $\vec{F}_{\text{sol/livre}}$, jamais « la force du livre » tout court.

PROPRIÉTÉ

Le **poids** est la force d'attraction exercée par la Terre sur un objet. Il est **vertical**, dirigé **vers le bas**, appliqué au centre de l'objet, et sa valeur est proportionnelle à la masse. L'intensité de pesanteur g vaut environ **9,8 N·kg⁻¹** sur Terre et **1,6 N·kg⁻¹** sur la Lune : la **masse** en kilogrammes ne change pas d'un astre à l'autre, le **poids** en newtons change.

$$P = m \times g$$

LE PIÈGE QUI COÛTE LE PLUS DE POINTS

Confondre la masse et le poids, ou dire qu'un astronaute en orbite « n'a plus de masse ». — La **masse** mesure une quantité de matière, en **kilogrammes** ; elle est la même partout dans l'univers. Le **poids** est une **force**, en **newtons**, et il dépend de l'astre. Un astronaute en orbite conserve toute sa masse et subit encore une attraction terrestre importante : ce qu'il ressent comme l'apesanteur vient de son mouvement de chute, pas d'une disparition de la gravitation.

Le réflexe : Kilogrammes pour la masse, **newton** pour le **poids** — l'unité tranche à elle seule.

2 La force gravitationnelle

RÈGLE

Deux corps de masses m_A et m_B , séparés d'une distance d , s'attirent par une **force gravitationnelle** dont la valeur suit la loi de **Newton**. Elle est proportionnelle à **chacune des deux masses** et **inversement proportionnelle au carré** de la distance. Cette dépendance en d^2 est l'essentiel : doubler la distance ne divise pas la force par deux, mais par **quatre**.

$$F = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2}$$

EXEMPLE

Une sonde s'éloigne d'une planète jusqu'à tripler sa distance au centre. Par quel facteur la force gravitationnelle qu'elle subit est-elle divisée ?

- ① La force varie comme l'inverse du **carré** de la distance : c'est le facteur de distance qu'il faut élever au carré, pas la force.
- ② La distance est multipliée par 3, donc le carré est multiplié par :
 $3 \times 3 = 9$
- ③ La force est donc divisée par 9, et non par 3 — écart considérable dès que la distance change un peu.

La force est divisée par 9

RÈGLE

Principe des **actions réciproques** — troisième loi de **Newton**. Si un corps A exerce une force sur un corps B, alors B exerce sur A une force de **même direction**, de **même valeur** et de **sens opposé**. Ces deux forces s'exercent sur des **corps différents** : elles ne se compensent donc **jamais** entre elles, et il est faux de les faire apparaître sur le même **diagramme**.

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

LE PIÈGE QUI COÛTE LE PLUS DE POINTS

Tracer sur un même diagramme l'action du sol sur l'objet et l'action de l'objet sur le sol, en croyant illustrer les actions réciproques. — Un **diagramme** ne représente **que** les forces subies **par le système**. L'action de l'objet sur le sol est subie par le **sol**, pas par l'objet : elle n'a rien à y faire. L'erreur est d'autant plus tenace qu'elle produit un schéma symétrique, d'apparence rassurante, et qu'elle conduit ensuite à conclure à un **équilibre** pour de mauvaises raisons.

Le réflexe : Une flèche sur le **diagramme** doit se dire « exercée **sur** mon système » — sinon elle sort.

3 Équilibre

PROPRIÉTÉ

Un système est en **équilibre** lorsqu'il reste immobile dans le référentiel d'étude. Dans ce cas, la **somme vectorielle** des forces qu'il subit est **nulle**. Conséquence pratique : deux forces seules en **équilibre** sont nécessairement de **même direction**, de **même valeur** et de **sens opposés** — c'est cette conséquence qui permet de déduire une force inconnue sans aucun calcul compliqué.

CONSTRUIRE UN DIAGRAMME DE FORCES ET L'EXPLOITER

- ① Écrire noir sur blanc le **système** étudié, puis le réduire à un **point**.
- ② Recenser les corps **en contact** avec lui, puis ceux qui agissent **à distance** — la Terre, toujours.
- ③ Tracer une flèche par interaction, partant du point, avec le bon sens et une longueur proportionnelle à la valeur.
- ④ Nommer chaque force en indiquant **qui l'exerce sur qui**, et calculer celles qui sont calculables.
 $1,2 \times 9,8 \approx 11,8$
Un livre de 1,2 kg subit un poids d'environ 11,8 N.
- ⑤ Conclure : si le système est en **équilibre**, la somme des forces est **nulle**, ce qui donne directement la force inconnue.

À VÉRIFIER

- Ai-je **écrit** quel est mon système avant de tracer quoi que ce soit ?
- Chaque flèche représente-t-elle une force exercée **sur** mon système ?
- Ai-je pensé à la force à **distance**, le **poids**, même quand rien ne touche l'objet ?
- Ai-je nommé chaque force en précisant **qui l'exerce sur qui** ?
- Ai-je exprimé la masse en **kg** et le résultat en **newton** ?
- En cas d'**équilibre**, mes flèches sont-elles de **même longueur** et de sens opposés ?

À RETENIR

- Premier geste : **écrire le système**, et le modéliser par un **point**.
- Une force se nomme en disant **qui l'exerce sur qui**, et se mesure en **newton**.
- $P = m \times g$: la masse en **kg** ne change pas d'astre en astre, le **poids** si.
- **Force gravitationnelle** : proportionnelle aux deux masses, en $1/d^2$.
- Distance doublée, force divisée par **quatre** — le carré, jamais la distance seule.
- **Actions réciproques** : forces opposées mais sur des **corps différents**.
- Un **diagramme** ne porte **que** les forces subies par le système.
- **Équilibre** : somme des forces **nulle**, donc flèches de même longueur et opposées.
- Ne jamais oublier la force à distance : le **poids** est toujours là.