

Forces et référentiels

Avant de décrire *comment* un objet bouge, il faut savoir **par rapport à quoi** on le regarde, et **ce qui agit** sur lui. Ces deux notions — le **référentiel** et la **force** — ont été rencontrées dès la seconde. Cette fiche les rassemble et complète les notions pour bien aborder la mécanique de terminale.

1. Le référentiel

Un mouvement n'existe jamais « en soi ». Dans un train qui roule, un passager assis est **immobile** pour son voisin, et **en mouvement à $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$** pour la personne restée sur le quai. Les deux ont raison : ils ne regardent pas depuis le même endroit.

Référentiel

Un **référentiel** est un **solide de référence**, considéré fixe, par rapport auquel on décrit le mouvement, muni d'une **horloge** (pour dater les positions).

Décrire un mouvement **sans préciser le référentiel n'a aucun sens** : la trajectoire, la vitesse et même le fait d'être immobile en dépendent.

Exemple. Une valise posée dans le couloir du train : trajectoire réduite à un point dans le référentiel du **train** ; trajectoire rectiligne de plusieurs kilomètres dans le référentiel du **quai**. Même valise, deux descriptions — toutes deux exactes.

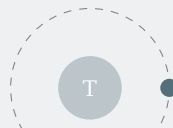
Rappel de première

Trois référentiels sont très utiles. Choisir un référentiel, c'est décider **ce qui est immobile par définition** :

- le référentiel **terrestre** : la **surface de la Terre** est immobile (le sol, la salle, la route, le banc du laboratoire) — pour tous les mouvements *sur* la Terre ;
- le référentiel **géocentrique** : le **centre de la Terre** est immobile, et les axes pointent vers des **étoiles lointaines** ; la Terre y tourne donc sur elle-même — pour la Lune et les satellites ;
- le référentiel **héliocentrique** : le **centre du Soleil** est immobile, axes pointés vers les mêmes étoiles lointaines ; la Terre y décrit son orbite — pour les planètes.



terrestre
sur la Terre



géocentrique
Lune, satellites



héliocentrique
planètes

2. Une force est un vecteur

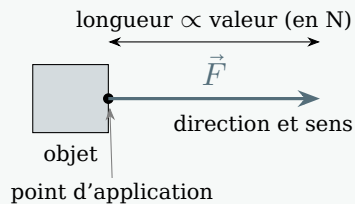
Une **force** modélise une **action mécanique** : pousser, tirer, attirer, retenir. Elle ne se résume pas à un nombre — pousser une caisse vers l'avant ou de travers ne donne pas le même résultat. C'est donc un **vecteur** (fiche M9).

Représentation vectorielle d'une force

Une force est représentée par un **vecteur** $\vec{F}$ défini par :

- son **point d'application** : là où l'action s'exerce ;
- sa **direction** et son **sens** ;
- sa **valeur** (la norme du vecteur), en **newtons** (N).

Sur un schéma, on dessine la flèche **à partir du point d'application**, et sa longueur est **proportionnelle à la valeur** (on précise l'échelle).



Exemple. On tire une caisse horizontalement avec une force de valeur $F = 50$ N. On note $\vec{F}$ le vecteur (avec la flèche) et $F = 50$ N sa valeur (sans flèche) : la flèche distingue le vecteur du nombre.

On classe les forces en deux familles :

- les forces **de contact** : il faut toucher l'objet (réaction d'un support, tension d'un fil, frottements, poussée d'un ressort) ;
- les forces **à distance** : elles agissent sans contact — le **poids** en est l'exemple courant, et la **force électrique** en est un second.

3. Les forces à connaître

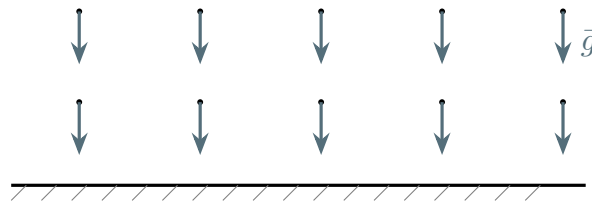
3.1 Le poids

Autour de la Terre règne un **champ de pesanteur**. Rappelons qu'un *champ* est une grandeur existant en **chaque point** de l'espace. Le champ de pesanteur est vectoriel : il est modélisé par un **vecteur** $\vec{g}$ — le même partout, tant qu'on reste dans une région de taille modeste près du sol.

Champ de pesanteur

Le **champ de pesanteur** $\vec{g}$ est un vecteur **vertical**, dirigé **vers le bas**, défini en tout point ; sa norme vaut $g \simeq 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ près de la surface de la Terre.

en chaque point, le *même* vecteur $\vec{g}$: vertical, vers le bas



Le **poids** est alors, tout simplement, la force que ce champ exerce sur un objet — proportionnelle à sa masse.

Poids

Le **poids** $\vec{P}$ d'un objet de masse m est le produit de sa masse par le champ de pesanteur :

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

Comme m est un nombre **positif**, $\vec{P}$ a **la même direction et le même sens** que $\vec{g}$ (vertical, vers le bas) et sa **norme** est multipliée par m (fiche M9) :

$$P = m g$$

avec P en N, m en kg et g en $\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$. Le poids est appliqué au **centre de gravité** de l'objet.

Exemple. Un objet de masse $m = 2,0 \text{ kg}$ a un poids de valeur $P = m g = 2,0 \times 9,81 = 20 \text{ N}$. Sa **masse** (2,0 kg) ne change pas s'il part sur la Lune ; son **poids**, si — car c'est le **champ** $\vec{g}$ qui y est six fois plus faible, pas la masse.

3.2 Le champ électrique

La pesanteur n'est pas le seul champ du programme. Entre deux **plaques métalliques parallèles** reliées à un générateur règne un **champ électrique uniforme** $\vec{E}$ — construit exactement sur le même modèle que $\vec{g}$: en chaque point, le même vecteur.

Champ électrique

Le **champ électrique** $\vec{E}$ entre deux plaques parallèles est un vecteur **perpendiculaire aux plaques**, dirigé de la plaque **positive** vers la plaque **négative**, identique en tout point entre les plaques. Sa norme E s'exprime en $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$.

De même que le champ de pesanteur exerce une force sur une **masse**, le champ électrique exerce une force sur une **charge**.

Force électrique

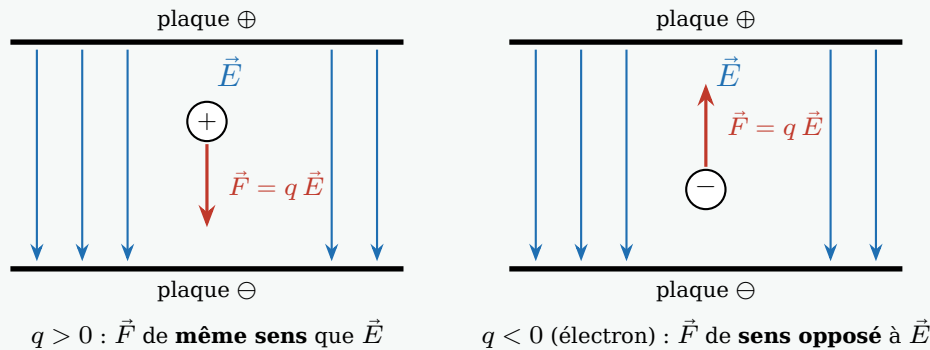
Une particule de **charge** q placée dans un champ électrique $\vec{E}$ subit la force électrique

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

avec F en N, q en C et E en $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$.

Attention au **signe** de q , et c'est là toute la différence avec le poids :

- si $q > 0$, $\vec{F}$ a le **même sens** que $\vec{E}$;
- si $q < 0$ (un électron, par exemple), $\vec{F}$ est **de sens opposé** à $\vec{E}$.



Exemple. Un électron ($q = -e = -1,6 \times 10^{-19}$ C) placé dans un champ $E = 1,0 \times 10^4 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ subit une force $\vec{F} = q \vec{E} = -e \vec{E}$ opposé au champ et de valeur

$$F = |q| E = 1,6 \times 10^{-19} \times 1,0 \times 10^4 = 1,6 \times 10^{-15} \text{ N}$$

L'électron est attiré vers la plaque **positive**.

3.3 La réaction d'un support

Réaction d'un support

Un support qui porte un objet exerce sur lui une force de contact, la **réaction** $\vec{R}$. On la décompose en deux :

- une composante **normale** $\vec{R}_N$, **perpendiculaire** au support : c'est elle qui empêche l'objet de s'enfoncer ;
- une composante **tangentielle** $\vec{f}$, le long du support : ce sont les **frottements**, toujours opposés au glissement (ou à sa tendance).

Sans frottement, la réaction se réduit à sa composante normale : $\vec{R}$ est alors **perpendiculaire au support**.

3.4 La tension d'un fil, la force d'un ressort

Tension d'un fil et force de rappel d'un ressort

La **tension** $\vec{T}$ d'un fil tendu s'exerce **le long du fil**, dirigée **vers le point d'attache** (un fil ne peut que **tirer**, jamais pousser).

Un **ressort** allongé (ou comprimé) de $\Delta\ell$ exerce une force de rappel de valeur

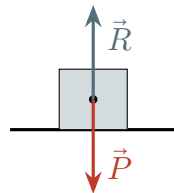
$$F = k |\Delta\ell|$$

avec k la **constante de raideur** en $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ et $\Delta\ell$ l'allongement en m. Elle est dirigée de façon à **ramener le ressort vers sa longueur au repos**.

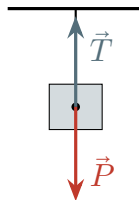
Exemple. Un ressort de raideur $k = 25 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ allongé de $\Delta\ell = 8,0 \text{ cm}$ exerce une force de valeur

$$F = k |\Delta\ell| = 25 \times 0,080 = 2,0 \text{ N},$$

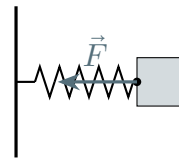
dirigée vers l'intérieur (il **rappelle**).



objet posé



objet suspendu



ressort étiré : il rappelle

3.5 Les frottements fluides

Un objet qui se déplace dans un fluide (air, eau) subit une force de frottement **opposée à son mouvement**, dont la valeur **augmente avec la vitesse**. C'est elle qui limite la vitesse d'un parachutiste ou d'une voiture.

4. Faire un bilan des forces

C'est le geste de base, et il se fait toujours dans le même ordre.

Cap bac — l'indispensable

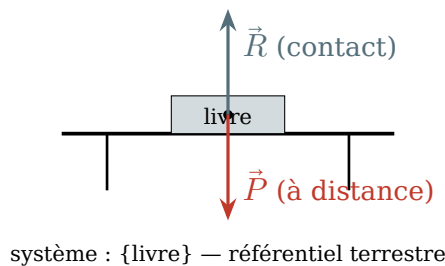
Méthode — le bilan des forces

1. **Définir le système** : l'objet dont on étudie le mouvement (« le système {caisse} »). Tout le reste est *extérieur*.
2. **Préciser le référentiel** d'étude (le plus souvent terrestre).
3. **Inventorier les forces extérieures** qui s'exercent sur le système, en balayant les deux familles :
 - les forces **à distance** : le poids (toujours, sur Terre) ;
 - les forces **de contact** : *qui touche le système* ? Chaque contact donne une force (support, fil, ressort, fluide).

4. **Représenter** chaque force par une flèche partant du point d'application, longueur proportionnelle à la valeur (préciser l'échelle).
5. **Écrire la somme vectorielle** $\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{R} + \dots$ (fiche M9 : on additionne des **vecteurs**, pas des nombres).

Attention : on n'inventorie **que les forces extérieures**. Les forces qu'une partie du système exerce sur une autre partie ne figurent **jamais** au bilan.

Exemple. Un livre est posé sur une table. Système : {livre}. Référentiel : terrestre. Forces extérieures : le **poids** $\vec{P}$ (à distance) et la **réaction** $\vec{R}$ de la table (contact — c'est le seul objet qui touche le livre). Le bilan s'écrit $\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{R}$. Ici les deux se compensent, mais **c'est le bilan qui le dit, pas l'inverse** : on inventorie d'abord, on conclut ensuite.



Pièges fréquents

- **Oublier de préciser le référentiel.** « La vitesse vaut $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ » ne veut rien dire tant qu'on n'a pas dit *par rapport à quoi*.
- **Oublier le signe de q dans $\vec{F} = q \vec{E}$.** Pour une charge **négative**, la force est **opposée** au champ. Le poids, lui, suit toujours $\vec{g}$, car une masse est toujours positive.
- **Confondre poids et masse.** La masse est en **kg** et ne dépend pas du lieu ; le poids est une **force**, en **N**, et vaut mg .
- **Confondre $\vec{F}$ et F .** Le vecteur porte une flèche ; sa valeur n'en porte pas. Écrire $\vec{F} = 50 \text{ N}$ n'a pas de sens (fiche M9).
- **Faire figurer des forces intérieures.** Seules les forces **extérieures** au système entrent dans le bilan.
- **Croire que la réaction est toujours verticale.** Elle n'est perpendiculaire au support que **sans frottement** — et un support incliné n'a rien de vertical.
- **Inventer une « force du mouvement ».** Rien ne « pousse » un objet simplement parce qu'il avance : on n'inscrit au bilan que des forces exercées par un **autre corps** identifiable.

5. Auto-test

Répondez avant de regarder les corrigés.

1. Un passager est assis dans un train qui roule à vitesse constante. Est-il immobile ? Justifier.
2. Quel référentiel choisir pour étudier le mouvement de la Lune autour de la Terre ? Et celui de Mars autour du Soleil ?
3. Calculer le poids d'une personne de masse $m = 65 \text{ kg}$ ($g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$).
4. Un ressort de raideur $k = 25 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ est allongé de $8,0 \text{ cm}$. Quelle est la valeur de la force qu'il exerce ? Dans quel sens ?
5. Faire le bilan des forces s'exerçant sur une lampe suspendue au plafond par un fil (système, référentiel, forces).
6. Un palet glisse **sans frottement** sur une table horizontale. Quelle est la direction de la réaction de la table ?
7. Un électron ($q = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$) est placé dans un champ électrique de norme $E = 5,0 \times 10^3 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ dirigé vers le bas. Calculer la valeur de la force électrique et préciser son sens.

Corrigés

1. **Cela dépend du référentiel.** Dans le référentiel du **train**, il est immobile ; dans le référentiel **terrestre** (le quai), il est en mouvement rectiligne uniforme. Sans référentiel précisé, la question n'a pas de réponse.
2. Pour la Lune autour de la Terre : le référentiel **géocentrique**. Pour Mars autour du Soleil : le référentiel **héliocentrique**.
3. $P = m g = 65 \times 9,81 = 6,4 \times 10^2 \text{ N}$ (soit environ 640 N).
4. $F = k |\Delta \ell| = 25 \times 0,080 = 2,0 \text{ N}$, dirigée de façon à **ramener le ressort vers sa longueur au repos** (donc vers l'intérieur, puisqu'il est allongé).
5. Système : {lampe}. Référentiel : terrestre. Forces extérieures : le **poids** $\vec{P}$ (à distance, vertical vers le bas, appliqué au centre de gravité) et la **tension** $\vec{T}$ du fil (contact, le long du fil, vers le point d'attache, donc vers le haut). Bilan : $\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{T}$.
6. Sans frottement, la réaction se réduit à sa composante **normale** : elle est **perpendiculaire au support**, donc **verticale, vers le haut** (le support est horizontal).
7. $F = |q| E = 1,6 \times 10^{-19} \times 5,0 \times 10^3 = 8,0 \times 10^{-16} \text{ N}$. La charge étant **négative**, $\vec{F}$ est de **sens opposé** à $\vec{E}$: elle est dirigée **vers le haut**.