

Mouvements et forces

TERMINALE

1 Système et centre de masse

Définition

Le **centre de masse** G d'un système est le point où l'on peut considérer que toute la masse est concentrée. C'est lui, et lui seul, dont on étudie le mouvement.

Propriété

- Pour un solide **homogène** possédant un centre de symétrie, G est confondu avec ce centre.
- Sinon, G se situe **du côté des masses les plus grandes**, d'autant plus près d'elles qu'elles sont importantes.
- G n'est pas nécessairement un point de matière : le centre de masse d'un anneau est en son centre, dans le vide.



la masse triple est
trois fois plus proche :
 $3m \times d = m \times 3d$

2 Le référentiel galiléen

Définition

Un référentiel est **galiléen** lorsque le **principe d'inertie** y est vérifié : tout système isolé ou pseudo-isolé y est immobile ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

Propriété

Référentiel	Défini par	Galiléen pour
Terrestre	le sol	les mouvements courts et locaux
Géocentrique	centre de la Terre, étoiles	le mouvement des satellites
Héliocentrique	centre du Soleil, étoiles	le mouvement des planètes

Aucun référentiel n'est *rigoureusement* galiléen : le référentiel terrestre tourne avec la Terre. L'approximation est excellente pour une chute de quelques secondes, mais elle échoue pour un mouvement de grande durée ou de grande extension — la rotation du plan d'oscillation du pendule de Foucault en est la preuve expérimentale.

3 La deuxième loi de Newton

Définition

Dans un référentiel galiléen, la somme des forces extérieures appliquées à un système de masse m constante est reliée à l'accélération de son centre de masse par :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \vec{a}_G$$

Les forces sont en newtons (N), m en kilogrammes, a_G en m/s^2 .

Propriété

Cette relation **vectorielle** se lit dans les deux sens :

- les forces étant connues, elle donne $\vec{a}_G$, donc le mouvement ;
- le mouvement étant connu, elle donne la *somme* des forces.

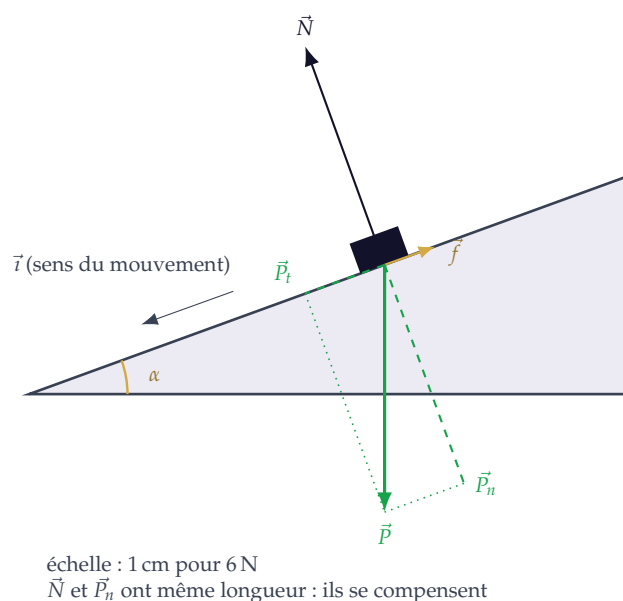
Elle se projette ensuite sur les axes d'un repère bien choisi, ce qui donne autant d'équations scalaires que d'axes.

Propriété

Cas particulier : l'équilibre. Si $\vec{a}_G = \vec{0}$, alors $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$: le centre de masse est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme. La réciproque est vraie. C'est le **principe d'inertie**, contenu dans la deuxième loi.

$\vec{a}_G$ a toujours **même direction et même sens** que la somme des forces — jamais que la vitesse. Une voiture qui freine avance vers l'avant, mais son accélération pointe vers l'arrière.

4 Des forces vers le mouvement



Méthode — Un solide qui glisse sur un plan incliné

Un bloc de masse $m = 2,0 \text{ kg}$ glisse le long d'un plan incliné d'angle $\alpha = 20^\circ$. On prend $g = 9,81 \text{ N/kg}$ et l'on note $f = 4,0 \text{ N}$ la force de frottement, opposée au mouvement.

1. Système et référentiel : le bloc, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

2. Bilan des forces : le poids $\vec{P}$ (vertical, vers le bas), la réaction normale $\vec{N}$ (perpendiculaire au plan) et le frottement $\vec{f}$ (le long du plan, vers le haut).

3. Deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{N} + \vec{f} = m \vec{a}_G$.

4. Projection sur l'axe $\vec{t}$ choisi le long du plan, dans le sens de la descente. On a $P_t = mg \sin \alpha$, $N_x = 0$ et $f_x = -f$:

$$mg \sin \alpha - f = m a_G \quad \Longleftrightarrow \quad a_G = g \sin \alpha - \frac{f}{m}$$

$$a_G = 9,81 \times \sin 20^\circ - \frac{4,0}{2,0} = 3,36 - 2,0 = 1,4 \text{ m/s}^2$$

5. Projection sur la perpendiculaire au plan, où a_G est nulle :

$$N - mg \cos \alpha = 0 \quad \Longrightarrow \quad N = 2,0 \times 9,81 \times \cos 20^\circ = 18 \text{ N}$$

6. Contrôle : sans frottement, on aurait $a_G = g \sin \alpha = 3,4 \text{ m/s}^2$. Le frottement divise l'accélération par plus de deux — cohérent. ✓

Le résultat $a_G = g \sin \alpha - f/m$ ne dépend pas de la masse tant qu'il n'y a pas de frottement : tous les corps glissent alors de la même façon, comme en chute libre. C'est le point de départ du chapitre 8.

5 Du mouvement vers les forces

Méthode — Une voiture en virage

Une voiture de masse $m = 1,2 \times 10^3 \text{ kg}$ décrit un virage circulaire de rayon $R = 50 \text{ m}$ à la vitesse constante $v = 15 \text{ m/s}$ (soit 54 km/h).

1. Le mouvement est **circulaire uniforme** : d'après le repère de Frenet (chapitre 6), l'accélération est purement normale.

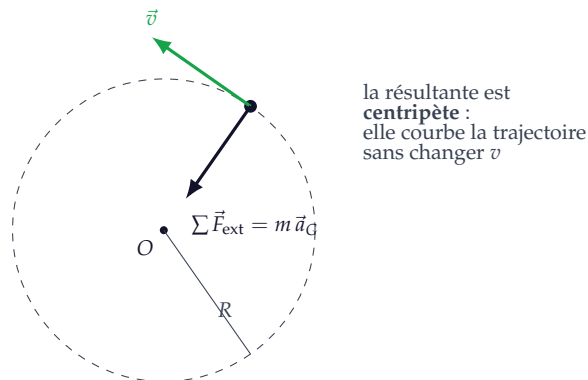
$$a_G = \frac{v^2}{R} = \frac{15^2}{50} = 4,5 \text{ m/s}^2 \quad \text{dirigée vers le centre}$$

2. La deuxième loi de Newton donne alors la somme des forces :

$$\left\| \sum \vec{F}_{\text{ext}} \right\| = m a_G = 1,2 \times 10^3 \times 4,5 = 5,4 \times 10^3 \text{ N}$$

Cette résultante est **centripète**, comme $\vec{a}_G$.

3. Interprétation physique : le poids et la réaction verticale de la route se compensent. La résultante non nulle ne peut donc provenir que des **frottements latéraux des pneus** sur la chaussée. Si la route est verglacée et ne peut pas fournir $5,4 \times 10^3 \text{ N}$, la voiture continue tout droit — elle ne « part » pas vers l'extérieur, elle cesse simplement d'être déviée.



Méthode — Le poids apparent dans un ascenseur

Une personne de masse $m = 70 \text{ kg}$ se tient sur un pèse-personne dans un ascenseur qui démarre *vers le haut* avec une accélération $a_G = 1,2 \text{ m/s}^2$.

1. Les forces sont le poids $\vec{P}$ (vers le bas) et la réaction du plateau $\vec{N}$ (vers le haut), qui est précisément ce qu'affiche la balance.

2. Projection sur un axe vertical ascendant :

$$N - mg = m a_G \quad \Rightarrow \quad N = m (g + a_G)$$

$$N = 70 \times (9,81 + 1,2) = 7,7 \times 10^2 \text{ N}$$

3. Comparaison : au repos, la balance indiquerait $P = 70 \times 9,81 = 687 \text{ N}$. Le passager se sent 12 % **plus lourd** pendant la phase de démarrage.

4. À vitesse constante, $a_G = 0$ et $N = P$: on ne sent plus rien. C'est bien l'*accélération* qui se ressent, jamais la vitesse.

À retenir

- $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m \vec{a}_G$, dans un référentiel **galiléen**, pour un système de masse constante.
- La relation est **vectorielle** : on la projette sur des axes choisis *selon le mouvement* (un axe le long du déplacement).
- Le **centre de masse** se place du côté des masses les plus grandes.
- **Équilibre** $\Leftrightarrow \vec{a}_G = \vec{0} \Leftrightarrow \Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$: immobile ou rectiligne uniforme.
- Plan incliné : $a_G = g \sin \alpha - \frac{f}{m}$ et $N = mg \cos \alpha$.
- Circulaire uniforme : la résultante est **centripète**, de norme $m \frac{v^2}{R}$.
- **Piège** : $\vec{a}_G$ est colinéaire à la *somme des forces*, pas à la vitesse. Une force perpendiculaire à $\vec{v}$ courbe la trajectoire sans accélérer le mobile.