

Deuxième loi de Newton

Cours de sciences physiques - niveau Terminale

*Pourquoi une voiture lourde met-elle plus de temps à démarrer qu'une voiture légère, et pourquoi sentez-vous un poids de plus dans un ascenseur qui monte ? La réponse tient dans une relation d'une grande simplicité : la **deuxième loi de Newton**, qui relie les forces qui agissent sur un système à la façon dont sa vitesse varie.*

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

Système, référentiel galiléen et principe d'inertie

Pour appliquer les lois de Newton, on commence par définir le **système** étudié (un solide ou un ensemble de solides) et le **référentiel** d'étude. Pour un solide, on suit le **centre de masse G**, point dont le mouvement représente celui de l'ensemble ; les autres points peuvent tourner autour de lui.

Un référentiel est dit **galiléen** si le principe d'inertie y est vérifié : un système soumis à des forces qui se compensent est soit au repos, soit en mouvement rectiligne uniforme. Le référentiel terrestre est considéré comme galiléen pour des expériences de courte durée et de faible extension ; le référentiel géocentrique et le référentiel héliocentrique le sont pour l'étude des satellites et des planètes.

La quantité de mouvement

La **quantité de mouvement** d'un système de masse m dont le centre de masse a pour vitesse $\mathbf{v}$ est le vecteur $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$. Elle s'exprime en $\text{kg}\cdot\text{m/s}$. Plus un système est massif et rapide, plus il est difficile de l'arrêter : un camion de 10 t à 36 km/h a une quantité de mouvement $p = 1,0 \times 10^4 \times 10 = 1,0 \times 10^5 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$, plus de dix fois celle d'une voiture de 1 200 kg roulant à 25 km/h (environ $8,3 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$).

La deuxième loi de Newton

LOI

Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un système est égale à la dérivée par rapport au temps de sa quantité de mouvement :

$$\Sigma \mathbf{F}_{\text{ext}} = d\mathbf{p}/dt.$$

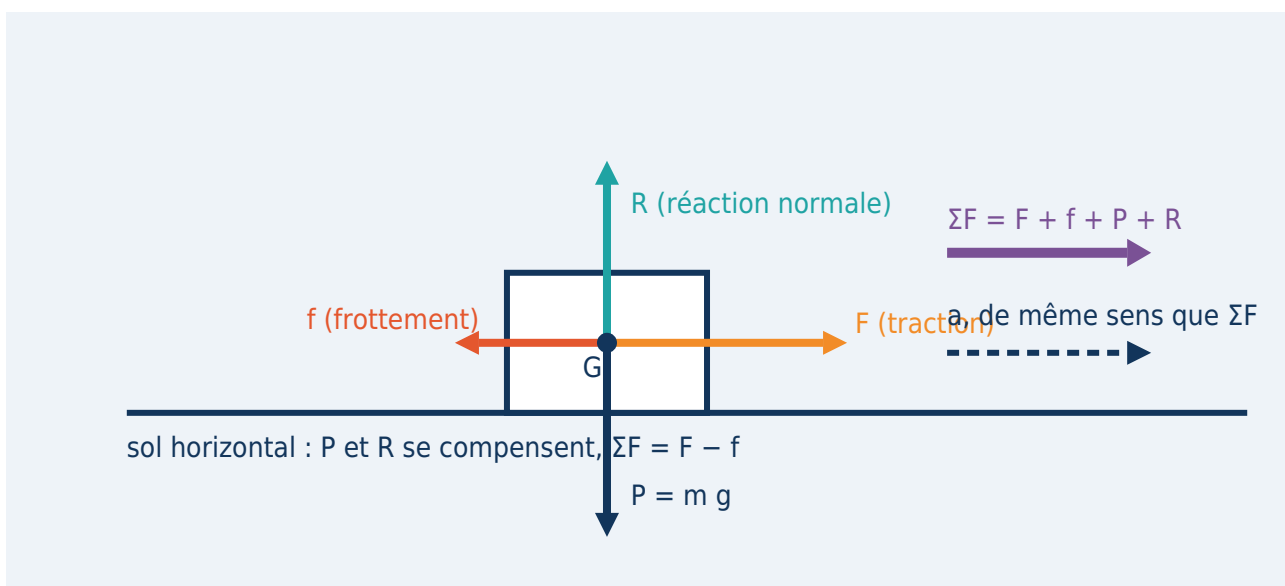
Pour un système de **masse constante**, on a $\frac{dp}{dt} = m \frac{dv}{dt} = m\mathbf{a}$, ce qui donne la forme la plus utilisée :

FORMULE À RETENIR

$$\Sigma \mathbf{F}_{\text{ext}} = m \mathbf{a}$$

ΣF en newtons (N), m en kilogrammes (kg), a en m/s^2 . $1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2$.

Cette relation vectorielle apporte trois informations. Le vecteur accélération a **la même direction et le même sens** que la somme des forces. Sa norme est **proportionnelle** à la somme des forces et **inversement proportionnelle** à la masse. Et si $\Sigma F = 0$, alors $a = 0$: on retrouve le principe d'inertie.



Bilan des forces sur un solide tiré : la somme des forces et l'accélération pointent dans le même sens, ici vers la droite car F est plus grande que f .

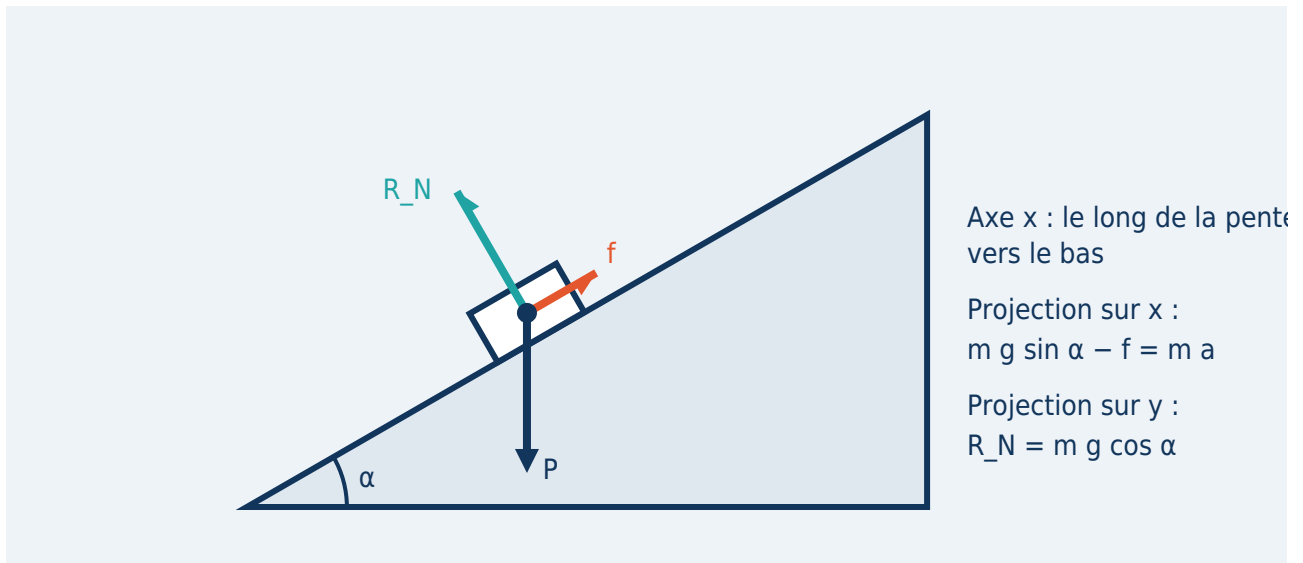
Méthode pour résoudre un problème

1. **Définir le système** et choisir le référentiel galiléen.
2. **Faire le bilan des forces** extérieures : poids, réaction du support, frottements, tension d'un fil, force de poussée...
3. **Écrire la deuxième loi de Newton** sous forme vectorielle : $\Sigma \mathbf{F} = m \mathbf{a}$.
4. **Choisir un repère** adapté (souvent un axe le long du mouvement) et **projeter** la relation sur chaque axe.
5. **Résoudre** pour trouver a , une force, ou une masse ; vérifier les unités et l'ordre de grandeur.

Application au plan incliné

Un solide de masse m glisse sur un plan incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale, avec un frottement f parallèle au plan et opposé au mouvement. Les forces sont le poids $\mathbf{P}$,

la réaction normale R_N perpendiculaire au plan et le frottement f . On prend l'axe x le long de la pente, orienté vers le bas, et l'axe y perpendiculaire au plan.



Sur un plan incliné, on projette la deuxième loi de Newton : le long de la pente (accélération) et perpendiculairement (réaction normale).

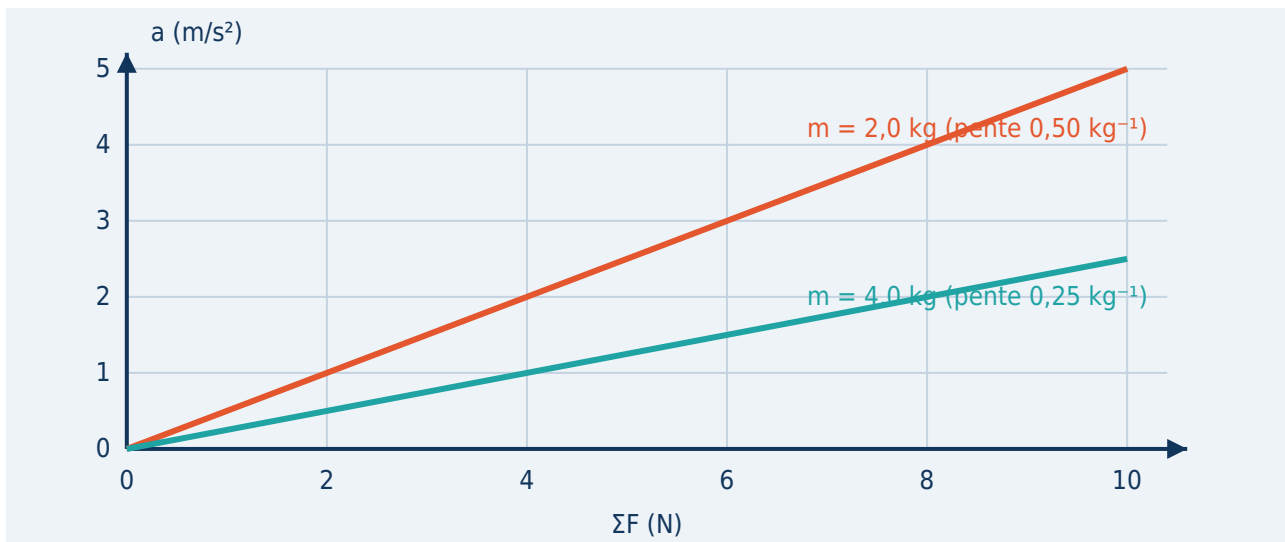
Projection sur x : $m g \sin \alpha - f = m a$, donc **$a = g \sin \alpha - f \div m$** . Projection sur y (pas de mouvement perpendiculaire, $a_y = 0$) : **$R_N = m g \cos \alpha$** . Sans frottement, $a = g \sin \alpha$: l'accélération ne dépend pas de la masse.

APPLICATION NUMÉRIQUE

$m = 2,0 \text{ kg}$, $\alpha = 30^\circ$, $f = 3,0 \text{ N}$, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. $m g \sin \alpha = 2,0 \times 9,8 \times 0,50 = 9,8 \text{ N}$, d'où $a = (9,8 - 3,0) \div 2,0 = \mathbf{3,4 \text{ m/s}^2}$. La réaction normale vaut $R_N = 2,0 \times 9,8 \times \cos 30^\circ \approx \mathbf{17 \text{ N}}$.

Proportionnalité entre force et accélération

Pour un chariot de masse totale M tiré par une force F sans frottement, la relation $a = F \div M$ montre que le graphique $a = f(F)$ est une **droite passant par l'origine**, de pente $1/M$. Plus la masse est grande, plus la pente est faible : à force égale, un système plus massif accélère moins.



À somme des forces égale, l'accélération est deux fois plus petite lorsque la masse est deux fois plus grande.

Variation de quantité de mouvement et force moyenne

Quand la durée Δt d'une interaction est très courte (choc, frappe), on utilise la forme avec la quantité de mouvement : la force moyenne vaut $\mathbf{F}_{\text{moy}} = \Delta \mathbf{p} \div \Delta t = m \Delta \mathbf{v} \div \Delta t$. Une balle de tennis de masse 58 g, initialement immobile, quitte la raquette à 40 m/s après un contact de 5,0 ms : $F_{\text{moy}} = 0,058 \times 40 \div 5,0 \times 10^{-3} \approx 4,6 \times 10^2 \text{ N}$, environ 800 fois le poids de la balle. Prolonger la durée du choc réduit la force : c'est le principe du casque, de la ceinture et de l'airbag.

Mouvement circulaire uniforme et exemple de l'ascenseur

Dans un mouvement circulaire uniforme de rayon R , l'accélération vaut $a = v^2 \div R$ vers le centre : la somme des forces est donc dirigée vers le centre et vaut $\Sigma \mathbf{F} = m \mathbf{v}^2 \div R$. Pour un ascenseur montant avec l'accélération a vers le haut, une personne de masse m subit $R - m g = m a$, soit $\mathbf{R} = m (\mathbf{g} + \mathbf{a})$. Avec $m = 70 \text{ kg}$ et $a = 1,5 \text{ m/s}^2$: $R = 70 \times (9,8 + 1,5) \approx 7,9 \times 10^2 \text{ N}$, plus que son poids de $6,9 \times 10^2 \text{ N}$: la balance indique un « poids apparent » plus grand.

ERREUR FRÉQUENTE

Une force n'est pas nécessaire pour « entretenir » un mouvement rectiligne uniforme : si la vitesse est constante, $\Sigma \mathbf{F} = 0$. Ne confonds pas non plus le **poids** (une force, en N) et la **masse** (en kg), ni la réaction du support et le poids : elles ne sont égales que si le support est horizontal et sans accélération verticale.

L'essentiel à retenir

- $p = m v$ (kg·m/s) ; dans un référentiel galiléen, $\Sigma \mathbf{F}_{\text{ext}} = dp/dt$.
- À masse constante : $\Sigma \mathbf{F}_{\text{ext}} = m \mathbf{a}$, avec a de même direction et même sens que $\Sigma \mathbf{F}$.
- Méthode : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi, projection, résolution.
- Plan incliné : $a = g \sin \alpha - f/m$ et $R_N = m g \cos \alpha$.

- Choc : $F_{\text{moy}} = m \Delta v \div \Delta t$; mouvement circulaire uniforme : $\Sigma F = m v^2/R$ vers le centre.