

Fiche de cours Deuxième loi de Newton

L'essentiel du chapitre en deux pages

définitions · lois · méthodes · à savoir par cœur

1 SYSTÈME, CENTRE DE MASSE, RÉFÉRENTIEL

Définition. Le **système** est le corps dont on étudie le mouvement; il est repéré par son **centre de masse** G , point où l'on peut considérer que toute sa masse est concentrée. Pour un corps homogène de forme simple, G est son centre géométrique.

Définition. Un **référentiel galiléen** est un référentiel dans lequel les lois de Newton s'appliquent. En pratique, on les suppose galiléens pour la durée de l'étude :

- référentiel **terrestre** (lié au sol) : mouvements courts devant une journée;
- référentiel **géocentrique** (centre de la Terre, axes vers des étoiles lointaines) : satellites, Lune;
- référentiel **héliocentrique** (centre du Soleil) : planètes, sondes interplanétaires.

2 FORCES EXTÉRIEURES USUELLES

■ FORMULAIRE — Les forces à connaître

- **Poids** : $\vec{P} = m \vec{g}$, vertical vers le bas, appliqué en G , $P = mg$ en N avec $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- **Réaction du support** : $\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{f}$, où $\vec{R}_N$ est perpendiculaire au support et $\vec{f}$ la force de **frottement**, parallèle au support et opposée au mouvement (nulle si le contact est parfait).
- **Tension d'un fil** $\vec{T}$: dirigée selon le fil, du système vers le point d'attache. **Tension d'un ressort** (hors programme) : $T = k |\Delta \ell|$.
- **Poussée d'Archimède** : $\Pi = \rho_{\text{fluide}} V g$, verticale vers le haut (V : volume immergé).
- **Force électrique** : $\vec{F} = q \vec{E}$. **Force d'interaction gravitationnelle** : $F = G \frac{m_A m_B}{d^2}$ (G : constante de gravitation universelle).

3 LA DEUXIÈME LOI DE NEWTON

Théorème — deuxième loi de Newton. Dans un référentiel galiléen, pour un système de masse m constante et de centre de masse G :

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

La somme des forces extérieures et le vecteur accélération sont donc toujours **colinéaires et de même sens**; pour une même somme des forces, $\vec{a}_G$ est d'autant plus petit que la masse est grande (**inertie**).

Théorème — principe d'inertie, première loi. Dans un référentiel galiléen, $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ si et seulement si G est immobile ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme. Un système soumis à des forces qui se compensent est dit à l'**équilibre** (au sens de la translation).

Remarque. Une force ne « produit » pas une vitesse mais une *variation* de vitesse : un mobile peut avancer sans aucune force (mouvement rectiligne uniforme) et une force peut le freiner.

4 MÉTHODE DE RÉOLUTION

Méthode — appliquer la deuxième loi. toujours dans cet ordre :

- définir le **système** et le **référentiel** (supposé galiléen);
- faire le **bilan des forces extérieures** et les représenter sur un schéma, appliquées en G ;
- écrire $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \vec{a}_G$ (relation vectorielle);
- choisir un repère adapté (un axe selon le mouvement) et **projeter** sur chaque axe;
- résoudre littéralement, puis faire l'application numérique et vérifier l'unité et l'ordre de grandeur.

Propriété — cas classiques. Sur un **plan incliné** d'angle α sans frottement, l'axe pris selon la ligne de plus grande pente donne $a_G = g \sin \alpha$ et $R_N = mg \cos \alpha$: l'accélération ne dépend pas de la masse. Dans un **ascenseur** d'accélération a vers le haut, le support exerce $R_N = m(g + a)$. Pour une chute avec **frottement fluide** $f = k v$ (poussée d'Archimède négligée), l'accélération diminue et la vitesse tend vers une **vitesse limite** telle que $mg = k v_{\text{lim}}$.

5 SAVOIR-FAIRE DU CHAPITRE

► SAVOIR-FAIRE

- Choisir un système et un référentiel galiléen adapté à la durée de l'étude ; situer le centre de masse.
- Établir le bilan des forces extérieures et le représenter par un schéma à l'échelle.
- Appliquer $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \vec{a}_G$ et projeter sur des axes bien choisis pour obtenir une accélération ou une force.
- Traiter les situations types : plan incliné, ascenseur, véhicule qui freine, objet suspendu, chute avec frottements.
- Exploiter la condition d'équilibre $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ et reconnaître un mouvement rectiligne uniforme.

6 EXEMPLES TYPES

★ EXEMPLE — glissade sur un plan incliné

Une luge glisse sans frottement sur une pente d'angle $\alpha = 15^\circ$. Système : la luge ; forces : $\vec{P}$ et $\vec{R}_N$. La deuxième loi projetée sur l'axe de plus grande pente, orienté vers le bas, donne $mg \sin \alpha = m a_G$, soit $a_G = g \sin \alpha = 9,81 \times \sin 15^\circ = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, indépendante de la masse.

★ EXEMPLE — dans l'ascenseur

Une personne de masse $m = 60 \text{ kg}$ est dans un ascenseur qui démarre vers le haut avec $a = 1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Sur l'axe vertical ascendant : $R_N - mg = m a$, d'où $R_N = m(g + a) = 60 \times (9,81 + 1,2) = 6,6 \times 10^2 \text{ N}$: elle se sent plus lourde. À vitesse constante, $R_N = mg = 5,9 \times 10^2 \text{ N}$.

★ EXEMPLE — équilibre d'un objet suspendu

Une lanterne de masse $m = 2,0 \text{ kg}$ pend au bout d'un fil vertical, immobile. Comme $\vec{a}_G = \vec{0}$, $\vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$: le fil exerce une tension verticale vers le haut de valeur $T = mg = 2,0 \times 9,81 = 20 \text{ N}$.

★ EXEMPLE — vitesse limite d'une bille dans un fluide

Une bille de masse $m = 5,0 \times 10^{-3} \text{ kg}$ tombe dans un liquide qui exerce $f = k v$ avec $k = 0,25 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ (poussée d'Archimède négligée). Tant que v croît, a diminue ; lorsque $a = 0$, $mg = k v_{\text{lim}}$, d'où $v_{\text{lim}} = \frac{mg}{k} = \frac{5,0 \times 10^{-3} \times 9,81}{0,25} = 0,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

★ EXEMPLE — freinage d'un véhicule

Une voiture de masse $m = 1,2 \times 10^3 \text{ kg}$ roulant à $v_0 = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ s'arrête en $d = 40 \text{ m}$ avec une décélération constante. La relation $v_0^2 = 2 a d$ donne $a = \frac{20^2}{2 \times 40} = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, donc la force de freinage vaut $F = m a = 6,0 \times 10^3 \text{ N}$, dirigée en sens inverse du mouvement.

✗ PIÈGES

- Faire figurer dans le bilan une force exercée *par* le système, ou une « force du mouvement » : seules comptent les forces extérieures appliquées au système.
- Confondre masse (en kg, invariable) et poids (en N, dépendant de l'astre).
- Croire qu'un mouvement rectiligne uniforme exige une force motrice : dans ce cas les forces se compensent.
- Projeter en oubliant les signes ou en confondant sinus et cosinus : sur un plan incliné d'angle α , le poids a une composante $mg \sin \alpha$ selon la pente et $mg \cos \alpha$ perpendiculairement.