

Fiche de cours Mouvement d'un système

L'essentiel du chapitre en deux pages

définitions · lois · méthodes · à savoir par cœur

1 DÉCRIRE LE MOUVEMENT D'UN SYSTÈME

Définition. Le **système** étudié est modélisé par un point, en général son centre ; son mouvement n'a de sens que dans un **référentiel** choisi (terrestre, géocentrique, héliocentrique), où la **trajectoire** est l'ensemble de ses positions successives. Sur une **chronophotographie**, les positions $M_0, M_1, \dots$ sont enregistrées à intervalles de temps égaux τ : M_i correspond à la date $t_i = i\tau$.

Définition. Le **vecteur vitesse** $\vec{v}_i$ à la date t_i est **tangent** à la trajectoire en M_i , orienté dans le **sens du mouvement**, et sa valeur (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) se calcule à partir des positions voisines :

$$v_i \approx \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{2\tau} \quad (\text{valeur « centrée », la plus précise}) \quad \text{ou} \quad v_i \approx \frac{M_iM_{i+1}}{\tau}.$$

Méthode — représenter un vecteur vitesse. tracer la flèche à partir de M_i , avec une **échelle des vitesses** annoncée ($1 \text{ cm} \leftrightarrow 0,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ par exemple) ; convertir d'abord les longueurs de la figure en distances réelles.

2 LE VECTEUR VARIATION DE VITESSE

Définition. Entre deux dates voisines t et t' , le **vecteur variation de vitesse** est

$$\Delta\vec{v} = \vec{v}(t') - \vec{v}(t), \quad \text{par exemple} \quad \Delta\vec{v}_i = \vec{v}_{i+1} - \vec{v}_{i-1} \quad (\Delta t = 2\tau) \quad \text{ou} \quad \Delta\vec{v}_i = \vec{v}_{i+1} - \vec{v}_i \quad (\Delta t = \tau).$$

Méthode — construire $\Delta\vec{v}$. reporter les deux vecteurs vitesse à partir d'un même point ; $\Delta\vec{v}$ est le vecteur qui joint l'extrémité de $\vec{v}(t)$ à l'extrémité de $\vec{v}(t')$. Sa valeur Δv se mesure ensuite avec l'échelle des vitesses.

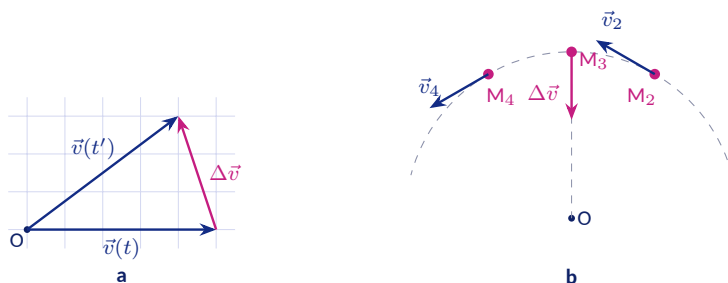


Figure 1 — a. Construction de $\Delta\vec{v}$. b. Mouvement circulaire uniforme : $\vec{v}_2$ et $\vec{v}_4$ ont la même valeur, et le vecteur $\Delta\vec{v} = \vec{v}_4 - \vec{v}_2$, construit en M_3 , est dirigé vers le centre O.

3 DEUXIÈME LOI DE NEWTON : LA RELATION APPROCHÉE

Théorème. Pour un système de masse m constante, entre deux dates voisines séparées de Δt :

$$\boxed{\sum \vec{F} \approx m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}} \quad \text{soit} \quad \Delta\vec{v} \approx \frac{\sum \vec{F}}{m} \Delta t \quad (F \text{ en N}, m \text{ en kg}, v \text{ en m}\cdot\text{s}^{-1}, t \text{ en s}).$$

Propriété. L'approximation est d'autant meilleure que Δt est petit. Le vecteur $\Delta\vec{v}$ a **la même direction et le même sens** que la somme des forces. On lit la relation dans les deux sens : des forces connues donnent $\Delta\vec{v}$, une construction de $\Delta\vec{v}$ donne les caractéristiques de $\sum \vec{F}$.

Propriété — principe d'inertie. $\sum \vec{F} = \vec{0} \iff \Delta\vec{v} = \vec{0}$: le vecteur vitesse est constant, le mouvement est rectiligne uniforme (ou le système est au repos). À somme des forces égale, Δv est d'autant plus *petite* que la masse est *grande* : la masse mesure l'**inertie** du système.

4 LES MOUVEMENTS DE RÉFÉRENCE

■ FORMULAIRE — Reconnaître la situation

- **Rectiligne uniforme** : $\vec{v}$ constant, $\Delta\vec{v} = \vec{0}$, donc $\sum \vec{F} = \vec{0}$ (forces qui se compensent).
- **Rectiligne accéléré** : $\Delta\vec{v}$ de même sens que le mouvement ; **ralenti** : $\Delta\vec{v}$ de sens contraire. $\sum \vec{F}$ est colinéaire au mouvement.
- **Chute libre** (seul le poids agit) : $\sum \vec{F} = \vec{P} = m\vec{g}$, donc $\Delta\vec{v} = \vec{g}\Delta t$ est vertical vers le bas, de valeur $g\Delta t$, **indépendante de la masse** ($g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$). C'est encore vrai pour un **mouvement parabolique** (projectile lancé obliquement) : $\Delta\vec{v}$ reste vertical vers le bas alors que $\vec{v}$ change de direction.
- **Circulaire uniforme** : la valeur de la vitesse est constante mais le vecteur vitesse tourne ; $\Delta\vec{v}$, donc $\sum \vec{F}$, est dirigé **vers le centre** (figure 1b) : la force est **centripète**.

Méthode — avec Python. à partir des listes de coordonnées : $v_x[i] = (x[i+1]-x[i-1])/(2*\text{tau})$ (idem v_y), puis Δv_x et Δv_y par différence, enfin $\Delta v = \sqrt{\Delta v_x^2 + \Delta v_y^2}$.

5 SAVOIR-FAIRE DU CHAPITRE

► SAVOIR-FAIRE

- Calculer une vitesse sur une chronophotographie (échelles) et la représenter par une flèche.
- Construire $\Delta\vec{v}$ entre deux dates voisines et déterminer sa valeur.
- Dédire de $\Delta\vec{v}$ la direction, le sens et la valeur de $\sum \vec{F}$, ou l'inverse à partir d'un inventaire des forces.
- Reconnaître un mouvement uniforme, accéléré, ralenti, une chute libre, un mouvement circulaire uniforme.
- Justifier le rôle de la masse (inertie) pour deux systèmes soumis aux mêmes forces.

6 EXEMPLES TYPES

★ EXEMPLE — lancer vertical : prévoir la vitesse

Un caillou est lancé verticalement vers le haut à $v_0 = 12,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; il est en chute libre ($g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$). Alors $\Delta\vec{v} = \vec{g}\Delta t$ est dirigé vers le bas : pendant $\Delta t = 0,20 \text{ s}$, $\Delta v = 9,8 \times 0,20 = 1,96 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, donc la vitesse vaut $12,0 - 1,96 = 10,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; le caillou s'arrête au bout de $12,0/9,8 = 1,2 \text{ s}$. Une bille de 25 g lancée ainsi suit le *même* mouvement : $\Delta\vec{v}$ ne dépend pas de m .

★ EXEMPLE — freinage : remonter aux forces

Une voiture de $m = 1\,250 \text{ kg}$ roule en ligne droite : $v_1 = 25,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ puis $v_2 = 21,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ après $\Delta t = 0,50 \text{ s}$. Les deux vecteurs vitesse ont même direction et même sens, donc $\Delta\vec{v}$ est *opposé* au mouvement et $\Delta v = 4,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ainsi $\sum F = m\Delta v/\Delta t = 1250 \times 4,0/0,50 = 1,0 \times 10^4 \text{ N}$, force horizontale dirigée vers l'arrière, du même ordre que le poids $P = mg = 1,2 \times 10^4 \text{ N}$. Chargée à 1 500 kg et freinant avec la même force, elle ne perdrait que $\Delta v = 3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$: elle s'arrête moins vite.

★ EXEMPLE — manège : mouvement circulaire uniforme

Une nacelle de masse $m = 240 \text{ kg}$ décrit un cercle de rayon $R = 5,0 \text{ m}$ et repasse au même point toutes les $T = 12 \text{ s}$: $v = \frac{2\pi R}{T} = 2,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. On compare $\vec{v}_2$ et $\vec{v}_4$, séparées de $\Delta t = 2,0 \text{ s}$; les positions étant espacées de 30° , les deux vecteurs font un angle de 60° : le triangle de construction est équilatéral, $\Delta v = v = 2,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, dirigé vers O. D'où $\sum F = 240 \times 2,6/2,0 = 3,1 \times 10^2 \text{ N}$, force centripète exercée par le bras du manège.

✗ PIÈGES

- Confondre $\Delta\vec{v}$ et $\vec{v}$: $\Delta\vec{v}$ n'est pas tangent à la trajectoire ; sa direction est celle de $\sum \vec{F}$.
- Écrire $\Delta v = v_{i+1} - v_{i-1}$ (différence des *valeurs*) dans un mouvement courbe : on soustrait les *vecteurs*. En mouvement circulaire uniforme, les valeurs sont égales mais $\Delta\vec{v} \neq \vec{0}$.
- Diviser par τ au lieu de $\Delta t = 2\tau$ quand $\Delta\vec{v}_i = \vec{v}_{i+1} - \vec{v}_{i-1}$, ou oublier l'échelle des longueurs.
- Croire qu'un corps lourd tombe plus vite : en chute libre, $\Delta\vec{v} = \vec{g}\Delta t$ ne dépend pas de la masse.