

11

Chapitre

Lois de Newton

Cadre de référence de la leçon

- PH4.1.1** Connaître et exploiter les expressions du vecteur vitesse instantanée et du vecteur accélération.
- PH4.1.2** Connaître l'unité de l'accélération.
- PH4.1.3** Connaître les coordonnées du vecteur accélération dans un repère cartésien et dans la base de Frenet.
- PH4.1.4** Exploiter le produit $\vec{a} \cdot \vec{v}$ pour déterminer la nature du mouvement (accélééré ou retardé).
- PH4.1.5** Connaître le référentiel galiléen.
- PH4.1.6** Connaître la deuxième loi de Newton $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \frac{d\vec{v}_G}{dt} = m \vec{a}_G$ et son domaine de validité.
- PH4.1.7** Reconnaître le rôle de la masse dans l'inertie d'un système.
- PH4.1.8** Appliquer la deuxième loi de Newton pour déterminer les grandeurs cinématiques et dynamiques, et les exploiter.
- PH4.1.9** Connaître et utiliser la troisième loi de Newton.
- PH4.1.10** Utiliser les équations aux dimensions.

Travaux pratiques

- TP-PH4.1** Lois de Newton.

Compétence ciblée

- CC4** La mécanique. Analyser, suivre et prévoir l'évolution d'un système mécanique en adoptant un modèle simple. Résoudre une situation-problème liée à un système mécanique en mouvement par une étude dynamique ou énergétique.

1

Repérage d'un point d'un mobile

Cadre de référence : PH4.1.1, PH4.1.3

1) Vecteur position

La position du centre d'inertie G d'un système (S) est repérée à chaque instant par le vecteur position $\vec{OG}$.

Dans un repère cartésien :

$$\vec{OG} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k}$$

Le module du vecteur position est :

$$\|\vec{OG}\| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

2) Vecteur vitesse

Le vecteur vitesse instantanée du centre d'inertie G du solide est égal à la dérivée par rapport au temps du vecteur position :

$$\vec{V}_G = \frac{d\vec{OG}}{dt}$$

$$\vec{V}_G = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k} = V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k}$$

Le module du vecteur vitesse est :

$$\|\vec{V}_G\| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

3) Vecteur accélération

Le vecteur accélération instantanée du centre d'inertie G du solide est égal à la dérivée par rapport au temps du vecteur vitesse :

$$\vec{a}_G = \frac{d\vec{V}_G}{dt} = \frac{d^2\vec{OG}}{dt^2}$$

$$\vec{a}_G = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k} = \frac{dv_x}{dt}\vec{i} + \frac{dv_y}{dt}\vec{j} + \frac{dv_z}{dt}\vec{k} = \frac{d^2x}{dt^2}\vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\vec{k}$$

Le module du vecteur accélération est :

$$\|\vec{a}_G\| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

4) La base locale de Frénet

La base de Frénet est un repère mobile lié au mouvement du point M , son origine est le point M et ses vecteurs unitaires sont :

- $\vec{u}$: tangent à la trajectoire et dirigé dans le sens du mouvement ;
- $\vec{n}$: normal à la trajectoire et dirigé vers l'intérieur de la concavité de la trajectoire.

L'accélération dans la base de Frénet s'écrit :

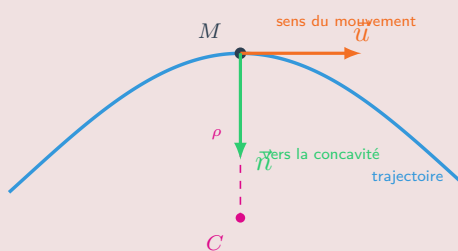
$$\vec{a}_G = a_T\vec{u} + a_N\vec{n}$$

avec

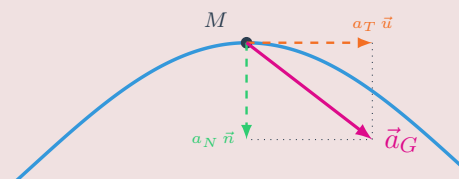
$$a_T = \frac{dV}{dt}, \quad a_N = \frac{V^2}{\rho}$$

où ρ est le rayon de courbure de la trajectoire au point M .

Remarque : dans le cas d'une trajectoire circulaire, on a $\rho = R$.



La base de Frénet $(M, \vec{u}, \vec{n})$: elle se déplace avec le point M



Décomposition $\vec{a}_G = a_T\vec{u} + a_N\vec{n}$

5) Référentiels galiléens

Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel la première loi de Newton (principe d'inertie) est vérifiée.

Si R est un référentiel galiléen, tout référentiel R' en translation rectiligne uniforme par rapport à R est aussi un référentiel galiléen.

2

Les trois lois de Newton

1) Première loi de Newton (principe d'inertie)

Dans un référentiel galiléen, lorsqu'un système est isolé ou pseudo-isolé, alors son centre d'inertie est immobile ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme :

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$$

2) Deuxième loi de Newton (principe fondamental de la dynamique)

Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures exercées sur un système est égale au produit de sa masse par le vecteur accélération :

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

3) Troisième loi de Newton (principe d'action et de réaction)

La force $\vec{F}_{A/B}$ exercée par un système A sur un système B et la force $\vec{F}_{B/A}$ exercée par le système B sur le système A ont la même direction, la même valeur, et des sens opposés :

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$$

3

Mouvement rectiligne uniformément varié

Cadre de référence : PH4.1.8, PH4.1.10

Le mouvement du centre d'inertie G d'un corps solide est rectiligne uniformément varié si la trajectoire de G est rectiligne et le vecteur accélération est constant.

Si le mouvement s'effectue selon l'axe (Ox) , on a :

$$a_x = \text{cte}$$

$$V_x(t) = a_x t + V_{x0}$$

$$x(t) = \frac{1}{2}a_x t^2 + V_{x0}t + x_0$$

Application : le skieur

Partie AB (frottements négligeables) :

$$a_x = g \sin \beta$$

$$x(t) = \frac{g \sin \beta}{2} t^2 + V_0 t + x_A$$

Partie BC (avec frottement) :

$$a_x = -\frac{f}{m}$$

$$x(t) = -\frac{f}{2m} t^2 + V_B t + x_B$$