

CHAPITRE 14 : FORCES ET MOUVEMENT

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers

Mars 2021

THÈME 2 - CHAPITRE 14 :

FORCES ET MOUVEMENT

I. Étudier un système

1. Définir le système
2. Choix du référentiel d'étude
3. Inventaire des forces extérieures appliquées au système
4. Faire un schéma

II. Décrire le mouvement d'un système

1. Vecteur vitesse instantanée
2. Vecteur accélération

III. Prévoir et comprendre le mouvement d'un système

1. Première loi de Newton ou principe d'inertie
2. Deuxième loi de Newton ou théorème du centre d'inertie
3. Troisième loi de Newton ou principe des actions réciproques

I. Étudier un système

1. Définir le système

- Il s'agit de préciser ce que l'on étudie : quel point matériel, quel ensemble de points, quel objet ou quel groupe d'objet.
- Il s'agit souvent d'un solide indéformable.
- On étudie très souvent le mouvement d'un point particulier : le centre d'inertie G du solide, encore appelé **centre de masse**.
- Le centre de masse est situé à la position moyenne de la répartition de masse du corps considéré.
- Si le corps possède un élément de symétrie, y compris dans la répartition de sa masse, le centre de masse est contenu dans cet élément de symétrie.
- Si le corps est symétrique et homogène, le centre de masse est situé au centre du corps.

2. Choix du référentiel d'étude

- Le mouvement d'un corps dépend du corps de référence par rapport auquel on étudie ce mouvement (point de vue de l'observateur).
- Il convient alors de définir : une origine, un ou plusieurs axes et une origine des temps (horloge).
- Un référentiel est donc un repère d'espace accompagné d'un repère de temps.

I. Étudier un système

3. Inventaire des forces extérieures appliquées au système

- Il convient de lister toutes les actions mécaniques extérieures appliquées au système d'étude et, dans la mesure du possible, d'identifier les 4 caractéristiques qui les décrit : point d'application, direction, sens, intensité en newtons (N).
- Toutefois, certaines de ces caractéristiques ne sont pas accessibles directement et le but de l'exercice consistera sûrement à les déterminer.

4. Faire un schéma

- Représenter clairement la situation en schématisant le système, son environnement.
- À priori, sans souci d'échelle, représenter les différentes forces extérieures appliquées au système.
- Cette étape est primordiale, même au brouillon, afin de se représenter la situation physique de manière synthétique et claire.

II. Décrire le mouvement d'un système

1. Vecteur vitesse instantanée

- ➡ voir activité PP252-253 traitée en T.P.
- ➡ Pour construire le vecteur vitesse au point d'indice 5 par exemple, on suivra les étapes suivantes :
 - Déterminer la valeur de la vitesse instantanée au point 5 : $v_5 = \frac{M_4M_6}{2\tau}$
 - Tracer la parallèle au segment $[M_4M_6]$ et passant par M_5 qui représente la direction du vecteur vitesse (tangente à la trajectoire).
 - Choisir une échelle de représentation pour les vitesses.
 - Construire le vecteur vitesse dans le sens du mouvement.

II. Décrire le mouvement d'un système

1. Vecteur vitesse instantanée

$$\Rightarrow \vec{v}_5 = \frac{\overrightarrow{M_4 M_6}}{2\tau} = \frac{\overrightarrow{M_4 O} + \overrightarrow{OM_6}}{2\tau} = \frac{\overrightarrow{OM_6} - \overrightarrow{OM_4}}{2\tau} = \frac{\Delta \overrightarrow{OM}}{\Delta t}$$

- $\vec{v}_5$ représente donc la variation du vecteur position.
- Si la durée Δt est très petite, on obtiendra alors, sans approximation, le vecteur vitesse instantanée :

$$\Rightarrow \vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \overrightarrow{OM}}{\Delta t} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$$

II. Décrire le mouvement d'un système

1. Vecteur vitesse instantané

Vecteur vitesse instantanée

Dans un référentiel d'origine O, le vecteur vitesse d'un point mobile M à une date t est donné par la dérivée du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ par rapport au temps.

$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$$

II. Décrire le mouvement d'un système

1. Vecteur vitesse instantané

- Coordonnées du vecteur position : $\overrightarrow{OM(t)} = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix}$
- Coordonnées du vecteur vitesse : $\overrightarrow{v(t)} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} = \begin{pmatrix} \frac{dx}{dt} \\ \frac{dy}{dt} \\ \frac{dz}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix}$
- Les coordonnées du vecteur vitesse s'expriment en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
- $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$

II. Décrire le mouvement d'un système

2. Vecteur accélération

- ➡ Si un solide subit une accélération, cela veut dire que son vecteur vitesse varie : il peut varier en norme, en direction, ou les deux à la fois !
- ➡ Le vecteur accélération nous renseigne sur les variations du vecteur vitesse.

Vecteur accélération

Dans un référentiel d'origine O, le vecteur accélération d'un point mobile M à une date t est donné par la dérivée du vecteur vitesse $\vec{v}$ par rapport au temps.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\overrightarrow{OM}}{dt^2} \text{ où } a = \|\vec{a}\| \text{ s'exprime en } \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

II. Décrire le mouvement d'un système

2. Vecteur accélération

- Coordonnées du vecteur vitesse : $\vec{v}(t) = \frac{d\vec{OM}}{dt} = \begin{pmatrix} \frac{dx}{dt} \\ \frac{dy}{dt} \\ \frac{dz}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix}$
- Coordonnées de l'accélération : $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \begin{pmatrix} \frac{dv_x}{dt} \\ \frac{dv_y}{dt} \\ \frac{dv_z}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix}$
- Les coordonnées du vecteur accélération s'expriment en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
- $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2}$

II. Décrire le mouvement d'un système

2. Vecteur accélération

- ➡ Pour construire le vecteur accélération au point d'indice 5 :
 - Commencer par construire les vecteurs vitesse aux points 4 et 6.
 - Construire le vecteur $\overrightarrow{\Delta v_5} = \vec{v}_6 - \vec{v}_4$
 - Mesurer la longueur du vecteur $\overrightarrow{\Delta v_5}$ et convertir en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour en déterminer la norme à l'aide de l'échelle de vitesse choisie.
 - Calculer la norme du vecteur accélération : $a_5 = \frac{\Delta v_5}{2\tau}$ en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
 - Choisir une échelle d'accélération.
 - Tracer la parallèle au vecteur $\overrightarrow{\Delta v_5}$ passant par M_5 donnant la direction du vecteur accélération.
 - Tracer, au point M_5 le vecteur accélération $\vec{a_5}$ dans la même direction et le même sens que $\overrightarrow{\Delta v_5}$.

III. Prévoir et comprendre le mouvement d'un système

1. Première loi de Newton ou principe d'inertie

Énoncé du principe d'inertie :

Dans un référentiel galiléen, si un solide est soumis à des forces qui se compensent (système isolé ou pseudo-isolé), alors son centre d'inertie est soit au repos ($\vec{v}_G = \vec{0}$), soit animé d'un mouvement de translation rectiligne uniforme ($\vec{v}_G = \text{cste}$). La réciproque est vraie.

➡ Remarques :

- Peuvent être considérés comme galiléens les référentiels suivants : référentiel héliocentrique (e.g. étude du mouvement des planètes), référentiel géocentrique (e.g. étude du mouvement des satellites), référentiel terrestre (e.g. mouvements de courte durée).
- Tout référentiel fixe ou en mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport à un référentiel galiléen est aussi galiléen.

III. Prévoir et comprendre le mouvement d'un système

2. Deuxième loi de Newton ou théorème du centre d'inertie

Deuxième loi de Newton ou théorème du centre d'inertie

Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures qui s'exercent sur un système **de masse constante** est égale au produit de sa masse par le vecteur accélération de son centre d'inertie :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m \cdot \overrightarrow{a_G}$$

III. Prévoir et comprendre le mouvement d'un système

3. Troisième loi de Newton ou principe des actions réciproques

Troisième loi de Newton ou principe des actions réciproques

Soient A et B deux corps et soient $\overrightarrow{F_{A/B}}$ la force exercée par le corps A sur le corps B et $\overrightarrow{F_{B/A}}$ la force exercée par le corps B sur le corps A.

Quel que soit l'état de mouvement de A par rapport à B, on a toujours l'égalité vectorielle suivante : $\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$. Ces deux forces ont même direction, même intensité mais des sens opposés.

EXERCICES POUR DÉBUTER

EXERCICES PP259-271 n°28, 30, 32, 37

EXERCICES POUR S'ENTRAÎNER

EXERCICES PP259-271 n°41 et 43