PARTIE 2 - COMPRENDRE : LOIS ET MODÈLES

Chapitre 5 : Cinématique et dynamique newtoniennes (p. 129)

Compétences exigibles :

- ✓ Choisir un référentiel d'étude.
- ✓ Définir et reconnaître des mouvements (rectiligne uniforme, rectiligne uniformément varié, circulaire uniforme, circulaire non uniforme) et donner dans chaque cas les caractéristiques du vecteur accélération.
- ✓ Définir la quantité de mouvement $\vec{p}$ d'un point matériel.
- ✓ Connaître et exploiter les trois lois de Newton.
- ✓ *Mettre en œuvre un protocole expérimental pour étudier un mouvement.**
- ✓ *Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour interpréter un mode de propulsion par réaction à l'aide d'un bilan qualitatif de quantité de mouvement.**

(*) Savoir-faire expérimentaux.

La **cinématique** est l'étude du mouvement indépendamment des causes qui le provoquent tandis que la **dynamique** est la branche de la mécanique qui étudie le lien entre le mouvement et les actions mécaniques qui sont les causes du mouvement.

I- Quels outils pour décrire le mouvement ? (p. 136)

TP n°8 : Étude cinématique de mouvements

1. Système étudié et référentiel d'étude

On étudie ici des **systèmes** dont les dimensions sont faibles par rapport à leurs déplacements et on les considère comme **ponctuels**, on les représente par un point correspondant au **centre de gravité**.

Le mouvement d'un objet est défini par :

1) le **référentiel d'étude**,
2) la **trajectoire** de l'objet,
3) son **vecteur vitesse** en chaque instant,
4) son **vecteur accélération** en chaque instant.

Chaque terme est défini par la suite.

Le **référentiel** est un **endroit de référence par rapport auquel on étudie le mouvement** d'un mobile. Il est défini par un **repère d'espace** constitué d'un point de référence (origine) et de trois directions de l'espace. On y ajoute un **repère de temps**.

Exemples de référentiel d'étude :

→ Référentiel **terrestre** : l'origine du repère est liée à la Terre. Il sert à l'étude de mouvements se produisant à la surface de la Terre.

→ Référentiel **géocentrique** : l'origine du repère est le centre de la Terre et les trois directions sont celles correspondant à des étoiles que l'on peut considérer comme fixes dans le ciel pour les temps d'étude. Il sert à l'étude des objets en orbite autour de la Terre.

→ Référentiel **héliocentrique** : il est semblable au référentiel terrestre, mais son origine est le centre du Soleil. Il sert à l'étude du mouvement des planètes ou des comètes du système solaire.

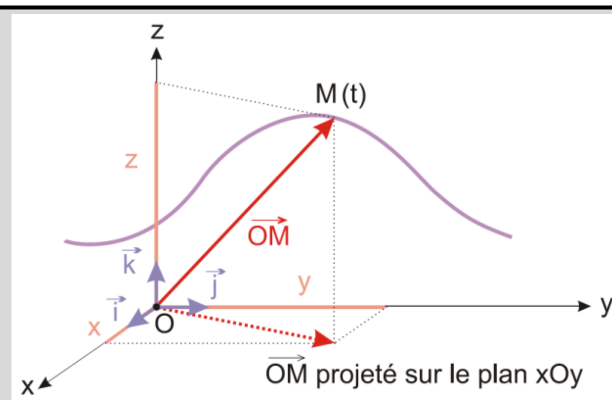
Remarque : *on peut définir des référentiels d'étude pour étudier le mouvement d'objets en orbite autour de planètes du système solaire, comme par exemple les lunes de Jupiter.*

2. Le vecteur position (p. 136)

La position d'un mobile M dans un repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ est donnée par son **vecteur-position $\overrightarrow{OM}$** :

$$\overrightarrow{OM}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix} \iff \overrightarrow{OM}(t) = x(t)\,\vec{i} + y(t)\,\vec{j} + z(t)\,\vec{k}$$

L'**ensemble des points** occupés successivement par le mobile M au cours du temps est appelé **trajectoire.**
En effet, lorsqu'un mobile se déplace sur sa trajectoire, sa **position change au cours du temps**. À chaque position $\overrightarrow{OM}$ est donc associée une date t.



Remarque : Parfois, on simplifie les notations en écrivant x, y et z sans indiquer qu'ils dépendent du temps.

3. Le vecteur vitesse (p. 136)

Le **vecteur vitesse** $\vec{v}$ caractérise la **variation du vecteur position** $\overrightarrow{OM}$ **en fonction du temps**.

Vitesse moyenne :

La **vitesse moyenne** est la distance totale parcourue divisée par le temps total écoulé. Cette grandeur ne tient pas compte d'éventuelles variations de vitesse au cours du mouvement.
À un instant t_i, le vecteur vitesse moyenne $\vec{v_i}$ est défini par :

$$\vec{v_i} = \frac{\overrightarrow{OM}_{i+1} - \overrightarrow{OM}_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} = \frac{\Delta\overrightarrow{OM}}{\Delta t} \text{ soit } \vec{v_i}\begin{pmatrix}\frac{\Delta x(t)}{\Delta t}\\ \frac{\Delta y(t)}{\Delta t}\\ \frac{\Delta z(t)}{\Delta t}\end{pmatrix}$$

Il est caractérisé par :
- sa **direction**, la tangente à la trajectoire au point $M(t_i)$,
- par son **sens**, celui du mouvement à l'instant t
- et par sa **valeur** ou **norme** v, exprimée en mètre par seconde (**$m.s^{-1}$**).

Vitesse instantanée :

La **vitesse instantanée** $\overrightarrow{v(t)}$ est la valeur de la vitesse moyenne $\vec{v_i}$ pour un intervalle de temps Δt quasiment nul. On a alors :

$$\overrightarrow{v(t)} = \lim_{\Delta t \to 0} v_i = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\overrightarrow{OM}}{\Delta t} \quad \text{d'où} \quad \overrightarrow{v(t)} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$$

Dans un repère orthonormé $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, le vecteur vitesse instantanée peut donc s'écrire :

$$\overrightarrow{v(t)} = v_x\,\vec{i} + v_y\,\vec{j} + v_z\,\vec{k} = \frac{dx(t)}{dt}\,\vec{i} + \frac{dy(t)}{dt}\,\vec{j} + \frac{dz(t)}{dt}\,\vec{k} = \dot{x}\,\vec{i} + \dot{y}\,\vec{j} + \dot{z}\,\vec{k}$$

La valeur d'une vitesse à un instant donnée est : $\|\vec{v}\| = v(t) = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$

Important :

➔ La notation $\frac{df}{dt}$ équivaut à f '(t), **dérivée** de f par rapport au temps.
En mathématique, on note toujours f ' sans préciser que l'on dérive par rapport à x.
En physique, on dérive par rapport à différentes grandeurs, le temps t, la distance x, le volume V…, il faut donc préciser.

➔ Pour le tracé, voir le **TP n°8** et la fiche méthode **15 A page 600**.

4. Le vecteur accélération (p. 137)

Le **vecteur accélération** $\vec{a}$ caractérise les **variations du vecteur vitesse** $\vec{v}$ **en fonction du temps**.

Accélération moyenne :

À un instant t_i, le vecteur accélération moyenne $\vec{a_i}$ est défini par :

$$\vec{a_i} = \frac{\vec{v}_{i+1} - \vec{v}_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} = \frac{\Delta\vec{v}_i}{\Delta t}$$

Il est caractérisé par :
- sa **direction** et son **sens**, qui sont identiques à ceux du vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}_i$,
- et par sa **valeur** ou **norme** $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, exprimée en **$m.s^{-2}$**.

Accélération instantanée :

L'**accélération instantanée** $\overrightarrow{a(t)}$ est la valeur de l'accélération moyenne $\vec{a_i}$ pour un intervalle de temps Δt quasiment nul. On a alors :

$$\overrightarrow{a(t)} = \lim_{\Delta t \to 0} a_i = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{v}_i}{\Delta t} \quad \text{d'où} \quad \overrightarrow{\mathbf{a(t)}} = \frac{\mathbf{d\vec{v}}}{\mathbf{dt}}$$

Dans un repére orthonormè $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, le vecteur accélération instantanée peut donc s'écrire :

$$\overrightarrow{a(t)} = a_x\,\vec{i} + a_y\,\vec{j} + a_z\,\vec{k} = \frac{dv_x(t)}{dt}\,\vec{i} + \frac{dv_y(t)}{dt}\,\vec{j} + \frac{dv_z(t)}{dt}\,\vec{k} = \frac{d^2x(t)}{dt^2}\,\vec{i} + \frac{d^2y(t)}{dt^2}\,\vec{j} + \frac{d^2z(t)}{dt^2}\,\vec{k} = \ddot{x}\,\vec{i} + \ddot{y}\,\vec{j} + \ddot{z}\,\vec{k}$$

La valeur d'une accélération à un instant donnée est : $\|\vec{a}\| = a(t) = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$

Important :

➔ La notation $\frac{d^2f}{dt^2} = \frac{d}{dt}\left(\frac{df}{dt}\right)$ ce qui équivaut à f ''(t), **dérivée seconde** de f par rapport au temps.

➔ Pour le tracé, voir le **TP n°8** et la fiche méthode **15 B page 601**.

5. Le vecteur quantité de mouvement (p. 138)

Le vecteur **quantité de mouvement**, en général noté $\vec{p}$, d'un objet est égal au **produit** de la **masse** du système par le **vecteur vitesse** : $\vec{p} = m \times \vec{v}$

avec m : masse en kilogramme (kg), v : vecteur vitesse en $m.s^{-1}$, et p en $kg.m.s^{-1}$.

Ce vecteur permet de tenir compte de l'effet de la masse lors de la mise ne mouvement d'un corps.

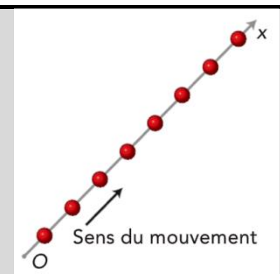
Remarque :

Le vecteur quantité de mouvement et le vecteur vitesse ont toujours **même sens** et **même direction**.

Exercices n°(1) p. 143, n°(6), 7, 8, (9), 10 p. 146 et n°(11), 12, (13) p. 147

II- Comment reconnaître un mouvement ? (p. 138)

1. Les mouvements rectilignes uniformes (p. 138)



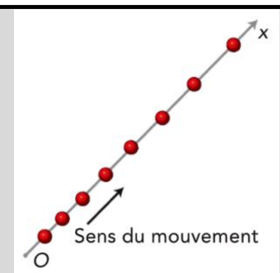
Un mouvement est **rectiligne uniforme** si le **vecteur vitesse est constant** : $\vec{v} = \overrightarrow{cte}$. Le vecteur vitesse $\vec{v}$ garde la même direction, le même sens et la même valeur au cours du temps.

Le **vecteur accélération $\vec{a}$** est un **vecteur nul**.

Remarque :

Pour un mouvement rectiligne uniforme la trajectoire est une droite et la vitesse est constante.

2. Les mouvements rectilignes uniformément variés (p. 139)



Un **mouvement** est **rectiligne uniformément varié (accéléré ou décéléré)** si le **vecteur accélération $\vec{a}$** est **constant** : $\vec{a} = \overrightarrow{cte}$. Le vecteur accélération $\vec{a}$ conserve la même direction, le même sens et la même valeur au cours du temps.

Remarque :

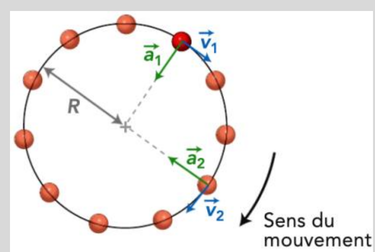
- ➔ Le mouvement est **accéléré** si les vecteurs **$\vec{a}$ et $\vec{v}$** sont de **même sens** et **ralenti** s'ils sont en **sens inverses**.
- ➔ Pour un mouvement rectiligne uniformément variés la trajectoire est une droite et la valeur de la vitesse est une fonction linéaire du temps.

3. Les mouvements circulaires uniformes (p. 139)

Un mouvement est **circulaire uniforme** si la **trajectoire est un cercle** et si la **norme des vecteurs vitesse et accélération sont constantes**.

Attention, le vecteur vitesse n'est pas constant car la **direction du vecteur vitesse change** au cours du temps, il est **tangent à la trajectoire**.

L'accélération n'est pas nulle : elle est toujours dirigée vers le centre du cercle (elle est **centripète**). On montre que : $\mathbf{a = \frac{v^2}{R}}$, R étant le rayon de la trajectoire.



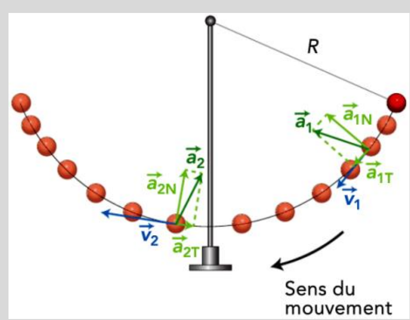
4. Les mouvements circulaires non uniformes (p. 139)

Un mouvement est **circulaire non uniforme** si la **trajectoire est un cercle** et si la **norme des vecteurs vitesse et accélération n'est pas constante**.

Le vecteur vitesse est toujours tangent à la trajectoire, mais le vecteur accélération n'est plus dirigé vers le centre de la trajectoire.

On décompose le vecteur accélération $\vec{a}$ en deux composantes :

- ➔ la composante normale $\overrightarrow{a_N}$ qui est **centripète**. Sa norme vaut $\mathbf{a_N = \frac{v^2}{R}}$
- ➔ la composante tangentielle $\overrightarrow{a_T}$ qui est **tangente** à la trajectoire. Sa norme vaut $\mathbf{a_T = \frac{dv}{dt}}$, v étant la norme du vecteur vitesse instantanée.



Exercices n°(2) p. 143, n°(14), 15 p. 147, n°16 p. 148, n°23, (24) p. 148 et n°16 p. 148

III- Quelles sont les lois de Newton ? (p. 140)

TP n°9 : La deuxième loi de Newton — **Ana, Réal, Val**

1. Référentiels galiléens (p. 140)

Par définition, un **référentiel galiléen** est un référentiel dans lequel le principe d'inertie, appelé aussi première loi de Newton, est vérifié.

Remarque :

➔ Les référentiels **terrestre**, **géocentrique** et **héliocentrique** peuvent être considérés comme galiléens si la durée de t'étude est faible par rapport au mouvement de l'origine du référentiel.

2. Première loi de Newton ou principe d'inertie (p. 140)

Dans un **référentiel galiléen**, si un système n'est soumis **à aucune force extérieure** ou si **les forces extérieures appliquées à ce système se compensent**, alors le système est soit **immobile** soit animé d'un **mouvement rectiligne uniforme**, et réciproquement (si un corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme, alors les forces qui s'exercent sur lui se compensent).

Cette première loi de Newton est équivalente à la représentation suivante :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0} \iff \overrightarrow{v_G} = \overrightarrow{cte}$$

Remarque :

➔ Un solide soumis à **aucune force** est dit « **isolé** », un solide soumis à un **ensemble de forces qui se compensent** est dit « **pseudo-isolé** ».

3. Deuxième loi de Newton ou principe fondamental de la dynamique (p. 140)

Dans un **référentiel galiléen**, la somme vectorielle des forces qui s'exercent sur un point matériel est égale à la dérivée, par rapport au temps, du vecteur quantité de mouvement du point matériel :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m \times \vec{v})}{dt}$$

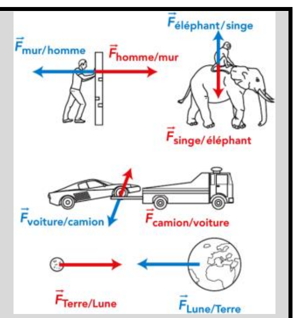
Si la **masse du système est constante**, alors :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m \times \vec{a}$$

Remarque :

➔ Si $\Sigma\ \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0}$ alors $\frac{d\vec{p}}{dt} = 0$ et, par conséquent, $\vec{v}$ reste constant en direction, sens et norme (on retrouve la première loi de Newton).

4. Troisième loi de Newton ou principe des actions réciproques (p. 141)



Quel que soit leur état de repos ou de mouvement, deux corps A et B en interaction exercent l'un sur l'autre des forces de **même valeur**, **même direction** et de **sens opposé** :

$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$$

5. Application à la propulsion par réaction (p. 141)

TP n°10 : Quantité de mouvement et propulsion — **Ana, Réal, Val**

Dans un référentiel galiléen, le **vecteur quantité de mouvement** d'un système **isolé** ou **pseudo-isolé** (les forces se compensent donc $\Sigma\overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0}$) se **conserve** : $\vec{p} = \overrightarrow{cte}$.

La **conservation de la quantité de mouvement** (de la fusée et des gaz expulsés) permet d'expliquer la **propulsion par réaction**.

Exercices n°(3) p. 143, n°17, 18, (19), 20 p. 148, n°25, 26 p. 149, n°27, 28, 29, 30 p. 150 et n°34 p. 152