11 Mouvement et lois de Newton

TÉ

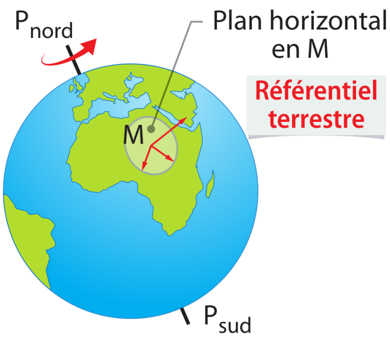
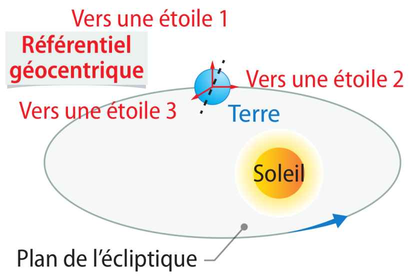
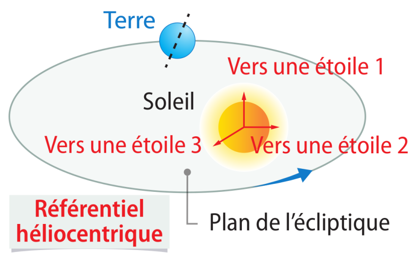
Partie A. Cinématique

1. Objet de l'étude – Référentiel

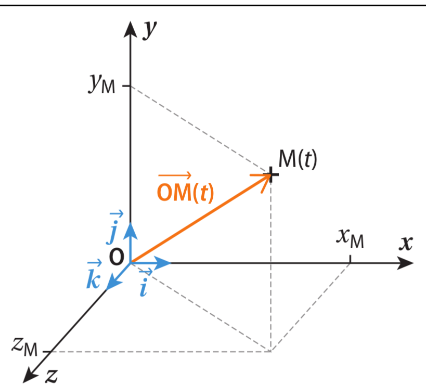
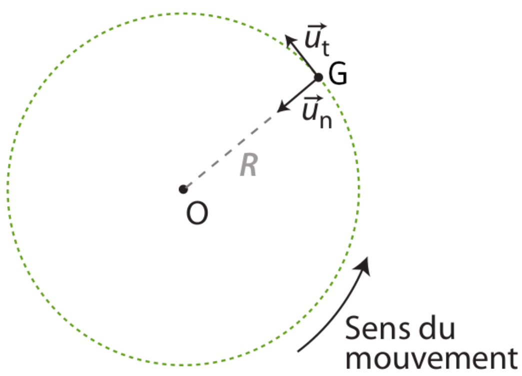
• Le « système » désigne l'objet de l'étude mécanique que l'on effectue. Généralement, le système est modélisé par un point matériel où toute la masse du système est concentrée.

• Le centre de masse G d'un système, où toute la masse du système est concentrée, est l'unique point de ce système où peut toujours s'appliquer le principe d'inertie (cf. §6)

• Le « référentiel » désigne le point de vue adopté pour étudier le système.

Référentiel terrestre	Référentiel géocentrique	Référentiel héliocentrique
	 Pour l'étude du mouvement de la Lune ou des satellites.	 Pour l'étude du mouvement des planètes du système solaire.

• Le « repère » est l'association d'une base orthonormée et d'un point origine. Il permet de repérer la position d'un point dans l'espace.

Repère cartésien Origine au point O, noté $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$	**Repère mobile de Frenet** Origine en G, noté $(G, \vec{u}_n, \vec{u}_t)$ $\vec{u}_n$ vecteur normal à la trajectoire $\vec{u}_t$ vecteur unitaire tangent à la trajectoire
	

2. Vecteur position $\overrightarrow{OG}$

• Le vecteur $\overrightarrow{OG}$ définit la position du système modélisé par le point G. Le point O appartient au référentiel.

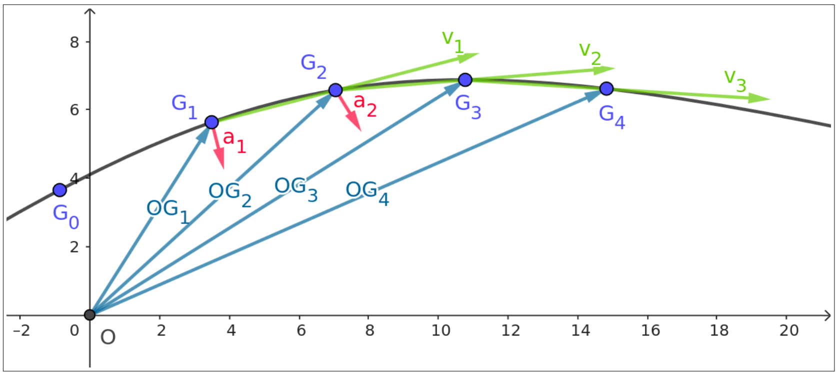
Expression dans un repère cartésien	Expression dans le repère de Frenet
$\overrightarrow{OG}=x\,\vec{i}+y\,\vec{j}$, noté souvent $\begin{pmatrix}x\\y\end{pmatrix}$	$\overrightarrow{OG}=-R\,\vec{u}_n$, noté $\begin{pmatrix}-R\\0\end{pmatrix}$ R = $\|\overrightarrow{OG}\|$, constante pour un mouvement circulaire.

3. Vecteur vitesse $\vec{v}$

• Le vecteur vitesse $\vec{v}$ est la variation du vecteur position au cours du temps.

↳ Approche expérimentale

À l'instant t_i, on approche le vecteur vitesse par $\vec{v}_i=\dfrac{\overrightarrow{OG_{i+1}}-\overrightarrow{OG_i}}{t_{i+1}-t_i}$.



Remarque : La variation $\overrightarrow{OG_{i+1}}-\overrightarrow{OG_i}=\overrightarrow{G_iG_{i+1}}$ est le vecteur déplacement.

↳ Vecteur vitesse :

En utilisant la fonction dérivée (Δt→0) on définit le vecteur vitesse à chaque instant : $\vec{v}=\dfrac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$.

Expression dans un repère cartésien	Expression dans le repère de Frenet
Comme $\vec{i}$ et $\vec{j}$ sont constants : $\vec{v}=\dfrac{d\overrightarrow{OG}}{dt}=\dfrac{dx}{dt}\vec{i}+\dfrac{dy}{dt}\vec{j}$ noté $\begin{pmatrix}v_x=\dfrac{dx}{dt}\\v_y=\dfrac{dy}{dt}\end{pmatrix}$	Comme la vitesse est tangente à la trajectoire, le vecteur $\vec{v}$ est colinéaire à $\vec{u}_t$: $\vec{v}=v\,\vec{u}_t$, noté $\begin{pmatrix}v_n=0\\v_t=v\end{pmatrix}$ Dans le cas d'un mouvement circulaire où R = Cte. On note classiquement $\|\vec{v}\|=v$.

La valeur de la vitesse, ou norme du vecteur vitesse vaut : $\|\vec{v}\|=v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$.

4. Vecteur accélération $\vec{a}$

• Le vecteur accélération $\vec{a}$ est la variation du vecteur vitesse au cours du temps.

↳ Approche expérimentale : à l'instant t_i, on approche le vecteur accélération par $\vec{a}_i=\dfrac{\vec{v}_{i+1}-\vec{v}_i}{t_{i+1}-t_i}$.

↳ Vecteur accélération :

Avec la fonction dérivée (Δt→0) on définit le vecteur accélération à chaque instant : $\vec{a}=\dfrac{d\vec{v}}{dt}=\dfrac{d^2\overrightarrow{OG}}{dt^2}$.

Expression dans un repère cartésien	Expression dans le repère de Frenet
Comme $\vec{i}$ et $\vec{j}$ sont constants : $\vec{a}=\dfrac{d\vec{v}}{dt}=\dfrac{dv_x}{dt}\vec{i}+\dfrac{dv_y}{dt}\vec{j}$ noté $\begin{pmatrix}a_x=\dfrac{dv_x}{dt}=\dfrac{d^2x}{dt^2}\\a_y=\dfrac{dv_y}{dt}=\dfrac{d^2y}{dt^2}\end{pmatrix}$	$\vec{a}=\dfrac{v^2}{R}\vec{u}_n+\dfrac{dv}{dt}\vec{u}_t$ noté $\begin{pmatrix}a_n=\dfrac{v^2}{R}\\a_t=\dfrac{dv}{dt}\end{pmatrix}$ Dans le cas d'un mouvement circulaire où R = Cte.

Remarque sur les notations :

Notations	Variable	Fonction	Dérivée	Dérivée seconde
Mathématiques	x	f(x)	f'(x)	f''(x)
Physique Chimie	t	x	$\frac{dx}{dt}$	$\frac{d^2x}{dt^2}$

5. Caractéristiques du vecteur accélération $\vec{a}$ pour divers mouvements

• Mouvement rectiligne uniforme

$\frac{d\vec{v}}{dt}=\vec{a}=\vec{0}$

• Mouvement rectiligne uniformément accéléré

$\vec{a}\neq\vec{0}$
↳ Direction : portée par la trajectoire
↳ Sens : sens de $\vec{v}$
↳ Valeur : $\|\vec{a}\|=a$ = constante ($m{\cdot}s^{-2}$)

• Mouvement circulaire uniforme

Comme $\frac{dv}{dt}=0$, $\vec{a}=\frac{v^2}{R}\vec{u}_n$.
↳ Direction : portée par les rayons du cercle
↳ Sens : vers le centre de la trajectoire
↳ Valeur : $\|\vec{a}\|=a=\frac{v^2}{R}=cte$.

Partie B. Lois de Newton

6. Première loi de Newton – Principe d'inertie

• Lorsque la somme des forces qui s'exercent sur un système est le vecteur nul, le mouvement ne change pas, et réciproquement.

$$\Sigma\vec{F}=\vec{0}\Leftrightarrow\vec{v}_G=\overrightarrow{cte}$$

↳ Un système qui subit une résultante des forces nulles peut être :
isolé : il ne subit aucune force.
pseudo-isolé : les forces qu'il subit se compensent.

↳ Dans un référentiel donné, le vecteur vitesse est constant lorsque le système est immobile, ou en mouvement rectiligne uniforme.

• Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel le principe d'inertie est vérifié.

7. Deuxième loi de Newton – Principe fondamental de la dynamique

• Dans un référentiel galiléen, la somme des forces $\Sigma\vec{F}$ appliquées à un système de masse m constante, est égale au produit de sa masse par l'accélération $\vec{a}_G$ de son centre de masse.

$$\Sigma\vec{F}=m\vec{a}_G$$

8. Troisième loi de Newton – Principe des actions réciproques

• Si un objet A exerce sur un objet B une force $\overrightarrow{F_{A\to B}}$, alors l'objet B exerce sur A une force $\overrightarrow{F_{B\to A}}$ telle que :

$$\overrightarrow{F_{A\to B}}+\overrightarrow{F_{B\to A}}=\vec{0}$$