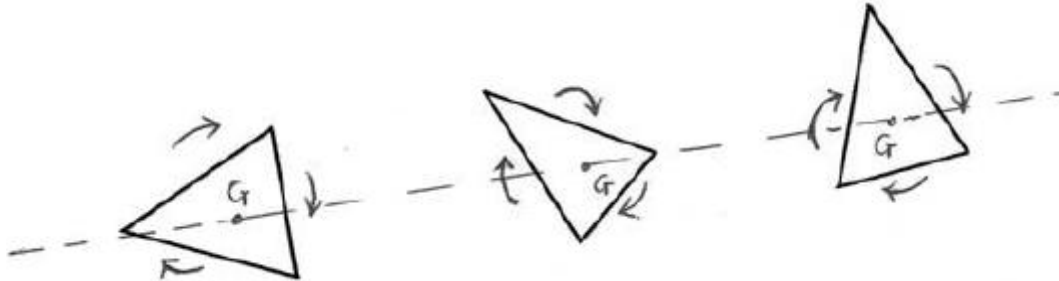


Cinématique et lois de Newton

I. Description du mouvement d'un point

1. Centre d'inertie

Le mouvement d'un solide à étudier est généralement réduit à celui de son centre d'inertie (point G ou point par lequel il convient de fournir le moins d'effort pour mettre l'objet en rotation).



Remarque : le centre d'inertie (propriété physique) d'un solide simple est généralement assimilé à son centre de gravité (propriété mathématique).

2. Système mécanique

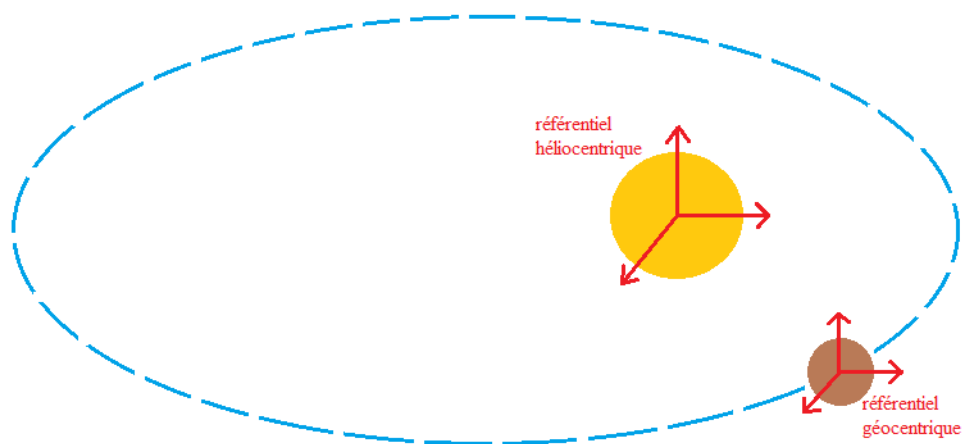
Un système mécanique est un solide ou un ensemble de solides dont on étudie le mouvement.

Exemple : une balle de tennis constitue un système mécanique.

3. Référentiel

Un référentiel est un solide par rapport auquel on décrit le mouvement d'un système mécanique. Ce solide est muni d'un repère de l'espace et de temps.

- **référentiel terrestre** : origine du repère un point du sol, axes 3 étoiles lointaines fixes au cours du mouvement
- **référentiel géocentrique** : origine du repère centre de la Terre, axes 3 étoiles lointaines fixes au cours du mouvement
- **référentiel héliocentrique** : origine du repère centre du Soleil, axes 3 étoiles lointaines fixes au cours du mouvement
- **référentiel galiléen** : un référentiel est dit galiléen si le principe d'inertie y est vérifié (le référentiel est en mouvement de translation uniforme, et l'on peut appliquer la mécanique classique car le temps est homogène).



4. Vecteur position

Un point M de l'espace est repéré dans l'espace par son vecteur position en coordonnées cartésiennes :

$$\vec{OM} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$

La norme du vecteur \vec{OM} est définie par :

$$\|\vec{OM}\| = \sqrt{(x(t))^2 + (y(t))^2 + (z(t))^2}$$

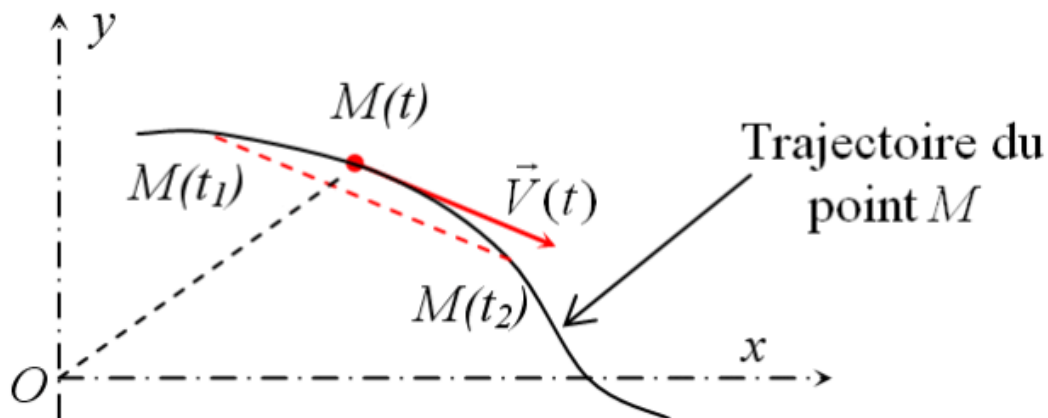
Une longueur s'exprime en mètres (m) avec le système international d'unités.

5. Trajectoire

La trajectoire d'un objet permet de visualiser l'ensemble des points par lesquels l'objet est passé (ou va passer) lors de son mouvement.

Une trajectoire est rectiligne lorsque l'objet se déplace en ligne droite et circulaire lorsque l'objet se déplace en cercle. Elle est parabolique lorsqu'elle forme une parabole, et plus généralement curviligne lorsqu'elle est quelconque.

6. Vecteur vitesse



La vitesse instantanée d'un point M est définie comme la variation infinitésimale de la position par rapport au temps :

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

Le vecteur vitesse peut être repéré dans l'espace en coordonnées cartésiennes :

$$\vec{v} = \frac{dx(t)}{dt}\vec{i} + \frac{dy(t)}{dt}\vec{j} + \frac{dz(t)}{dt}\vec{k}$$

Le vecteur vitesse instantanée a les caractéristiques suivantes :

- direction : tangente à la trajectoire au point M à l'instant t
- sens : celui du mouvement à l'instant t
- valeur : la vitesse instantanée : $v = \|\vec{v}\|$

Une vitesse s'exprime en mètres par seconde ($m \cdot s^{-1}$) avec le système international d'unités.

7. Vecteur vitesse et référentiel

Le vecteur vitesse d'un système change lorsqu'on passe d'un référentiel (R) à un référentiel (R').

On peut toutefois déterminer cette vitesse lorsqu'on connaît le vecteur vitesse dans le référentiel d'origine (R), ainsi que la vitesse du référentiel (R) par rapport au référentiel (R').

La loi de composition des vitesses donne alors la relation suivante :

$$\vec{v}(M)_{R'} = \vec{v}(M)_R + \vec{v}(R)_R$$

8. Vecteur accélération

Le vecteur accélération est défini comme la variation infinitésimale de la vitesse instantanée par rapport au temps :

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Le vecteur accélération peut être repéré dans l'espace en coordonnées cartésiennes :

$$\vec{a} = \frac{dv_x(t)}{dt} \vec{i} + \frac{dv_y(t)}{dt} \vec{j} + \frac{dv_z(t)}{dt} \vec{k}$$

Le vecteur accélération a les caractéristiques suivantes :

- sens : vers l'intérieur de la concavité de la courbe à l'instant t
- valeur : $a = \|\vec{a}\|$

Une accélération s'exprime en mètres par seconde carrée ($m.s^{-2}$) avec le système international d'unités.

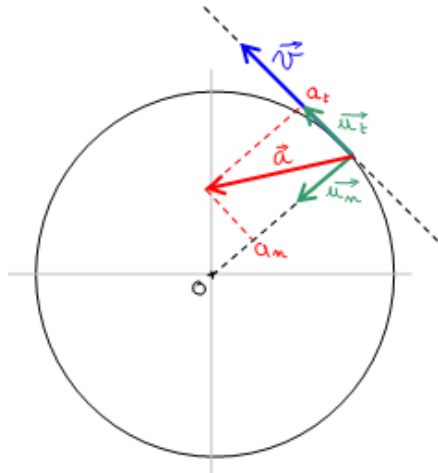
II. Les différents types de mouvement

1. Mouvement rectiligne

Un mouvement est rectiligne lorsque la trajectoire des points M au cours du temps est une droite. On utilise généralement les coordonnées cartésiennes pour étudier les mouvements rectilignes.

2. Mouvement circulaire

Un mouvement est circulaire lorsque la trajectoire des points M au cours du temps est un cercle. Pour l'étude d'un mouvement circulaire de rayon R , on peut utiliser une base de Frenet (\vec{u}_t, \vec{u}_n) :



$$\vec{v} = v(t) \vec{u}_t \quad \text{et} \quad \vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{u}_t + \frac{v^2}{R} \vec{u}_n$$

Remarque : on trouve aussi que les vecteurs unitaires \vec{u}_t et \vec{u}_n s'écrivent \vec{T} et \vec{N}

3. Mouvement curviligne

Lorsque la trajectoire n'est pas une droite ou un cercle le mouvement est dit curviligne.

4. Evolution de la vitesse

- v augmente, le mouvement est accéléré
- v constante, le mouvement est uniforme.
- v diminue, le mouvement est décéléré.

III. Les forces usuelles

1. Le poids

- direction : verticale

- sens : vers le bas

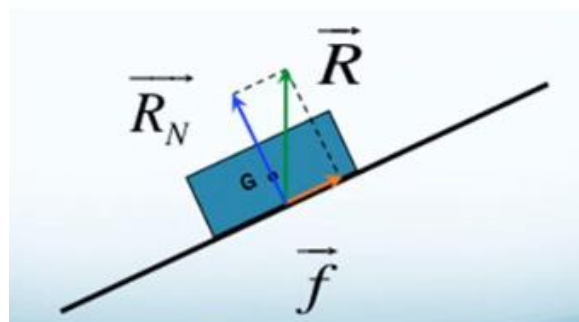
- norme : $P=mg$

avec $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ à la surface de la Terre.

2. La réaction au support et forces de frottement

La réaction au support a 2 composantes :

- \vec{R}_N la réaction normale au support qui est toujours perpendiculaire à la surface du support et de sens opposé à l'enfoncement du solide dans le support.
- \vec{f} la force de frottement tangente à la trajectoire et de sens opposé au mouvement



3. Autres forces

Il existe d'autres forces telles que la force électrostatique ou la force gravitationnelle (voir votre cours de première) :

- la force gravitationnelle entre deux objets de masses m_A et m_B : $\vec{F}_{A/B} = -G \times \frac{m_A \times m_B}{d_{AB}^2} \times \vec{u}_{AB}$
- la force électrostatique entre deux objets de charges q_A et q_B : $\vec{F}_{A/B} = k \times \frac{|q_A \times q_B|}{d_{AB}^2} \times \vec{u}_{AB}$

IV. Les lois de Newton

1. la première loi de Newton

Dans un référentiel galiléen, le centre de masse d'un système isolé ou pseudo-isolé est soit au repos, soit en mouvement rectiligne uniforme.

Rappel :

- Un système isolé n'est soumis à aucune force extérieure.
- Un système pseudo-isolé est soumis à des forces extérieures qui se compensent (c'est-à-dire dont la somme vectorielle est nulle).

2. Deuxième loi de Newton

Selon la deuxième loi de Newton, dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces qui s'exercent sur un système de masse m constante est égale au produit de sa masse par le vecteur accélération de son centre de masse :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \times \vec{a}(t) = m \times \frac{d\vec{v}(t)}{dt}$$

Remarque : Si la somme vectorielle des forces exercées sur un système est nulle $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$, le vecteur accélération de son centre de masse est nul $\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt} = \vec{0}$ et son vecteur vitesse est constant $\vec{v}(t) = \vec{Cste}$, donc le centre de masse du système est en mouvement rectiligne uniforme ou au repos dans un référentiel galiléen : on retrouve la première loi de Newton.

3. Troisième loi de Newton

Quel que soit leur état (mouvement ou repos), deux objets A et B en interaction exercent l'un sur l'autre des forces telles que la force exercée par A sur B est opposée à la force exercée par B sur A :

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

Remarque : Les deux premières lois de Newton sont valables uniquement dans un référentiel galiléen, alors que la troisième loi de Newton est valable quel que soit le référentiel.