Objectifs et trame du chapitre (6 séances)

I. Outils pour décrire un mouvement.
II. Les différents types de mouvement.
III. Étude dans le cas d'un mouvement circulaire

Activité numérique n°9.1 : La grande roue parisienne (TP python -Belin) (2 séances)

Capacités visées :

- **Définir le vecteur vitesse comme la dérivée du vecteur position par rapport au temps et le vecteur accélération comme la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps.**
- **Établir les coordonnées cartésiennes des vecteurs vitesse et accélération à partir des coordonnées du vecteur position et/ou du vecteur vitesse.**
- **Citer et exploiter les expressions des coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire.**
- **Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : rectiligne, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré, circulaire, circulaire uniforme.**
- **Réaliser et/ou exploiter une vidéo ou une chronophotographie pour déterminer les coordonnées du vecteur position en fonction du temps et en déduire les coordonnées approchées ou les représentations des vecteurs vitesse et accélération.**
- ***Représenter, à l'aide d'un langage de programmation, des vecteurs accélération d'un point lors d'un mouvement.***

IV. Notions de forces
V. Le centre de masse.
VI. Les lois de Newton.

Activité documentaire n°9.2 : Vol d'un drone (1 séance)

Capacités visées :

- **Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : rectiligne, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré, circulaire, circulaire uniforme.**
- **Justifier qualitativement la position du centre de masse d'un système, cette position étant donnée.**
- **Discuter qualitativement du caractère galiléen d'un référentiel donné pour le mouvement étudié.**
- **Utiliser la deuxième loi de Newton dans des situations variées pour en déduire :**
  - **Le vecteur accélération du centre de masse, les forces appliquées au système étant connues,**
  - **La somme des forces appliquées au système, le mouvement du centre de masse étant connu.**

Synthèse des activités :

Vidéo cours description du mouvement
https://www.youtube.com/watch?v=mRCZu3tWvwo

Vidéo cours Stella : Les lois de Newton
https://www.youtube.com/watch?v=xC0K2n3aPHk

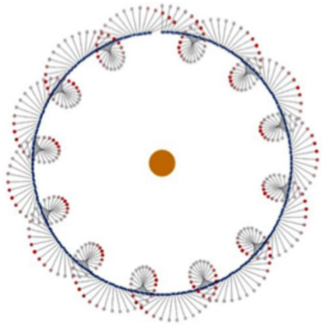
I. Outils pour décrire le mouvement.

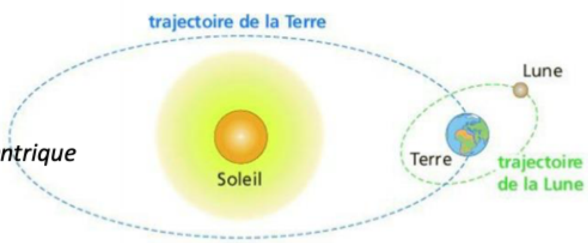
DESCRIPTION D'UN MOUVEMENT

Un mouvement doit impérativement être décrit par quatre critères :

- le **système étudié** :objet ou ensemble d'objets liés entre eux et dont on étudie le mouvement.
- le **référentiel d'étude** : objet de référence à partir duquel on étudie le mouvement du système étudié.
- la **trajectoire** du système étudié, ce qui correspond aux différentes positions prises pas le centre de gravité du système au cours du temps. Pour cela, nous aurons besoin de définir un **repère d'espace** ainsi que des **vecteurs unitaires**. La position du centre de gravité du système sera alors notée M et on définira alors le **vecteur position** $\overrightarrow{OM}$.
- la **vitesse du système** étudié ainsi que l'évolution de cette vitesse (**l'accélération**) :
  - Si la vitesse est constante, le mouvement est dit **uniforme ($a = 0$)** ;
  - Si la vitesse varie, le mouvement est dit **accéléré ($a \neq 0$)** :
    - la vitesse augmente : $a > 0$;
    - la vitesse diminue : $a < 0$.

Ex : le mouvement de la Lune (système), dans le référentiel géocentrique (référentiel) est circulaire (trajectoire) uniforme (vitesse).





1- LE SYSTEME

Lorsque l'on étudie un mouvement, il faut bien **définir le système** que l'on étudie.

Système : objet ou l'ensemble des objets liés entre eux dont on va étudier le mouvement.

Ex : lorsque l'on observe une course de motos, le système étudié sera le système {moto + motard} alors que dans la même course, si le motard est éjecté de sa moto, on n'étudiera plus que le mouvement du système {motard} car les deux objets ne sont alors plus liés.

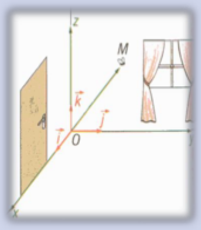
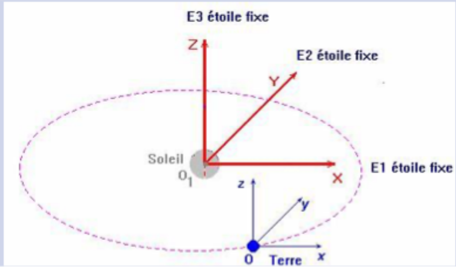
Système :	{balle de golf}	{parachute + parachutiste}	{moto + motard}

LE REFERENTIEL

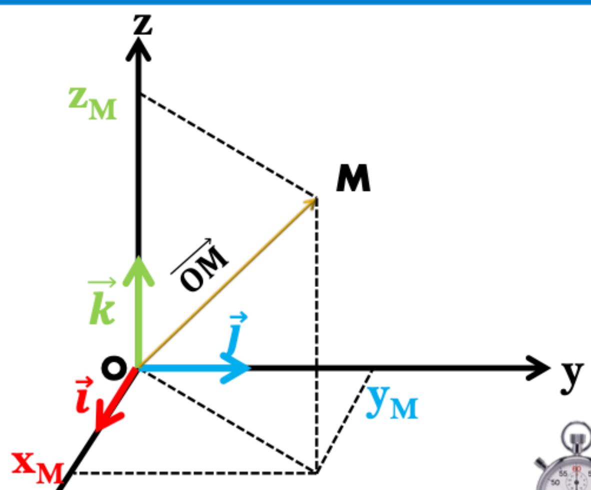
Le référentiel représente l'objet de référence à partir duquel on va étudier le mouvement.

Exemples :

- Référentiel terrestre
- Référentiel géocentrique
- Référentiel héliocentrique

REFERENTIEL	TERRESTRE	GEOCENTRIQUE	HELIOCENTRIQUE
Origine O	Point de la surface terrestre	Centre de la Terre	Centre du Soleil
Axe Ox	Dans le plan horizontal	Vers une étoile fixe E1	Vers une étoile fixe E1
Axe Oy	Dans le plan horizontal	Vers une étoile fixe E2	Vers une étoile fixe E2
Axe Oz	Vertical	Vers une étoile fixe E3	Vers une étoile fixe E3
Schéma			

LE REFERENTIEL



$$\overrightarrow{OM} = x_M.\vec{i} + y_M.\vec{j} + z_M.\vec{k}$$

NB : $\vec{i}$, $\vec{j}$ et $\vec{k}$ sont des vecteurs unitaires

A chaque référentiel est associé :

- Un **repère d'espace** choisi de telle sorte que la description du mouvement soit la plus simple possible. Le repère d'espace $(O ; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ ci-contre se nomme « **repère cartésien** » et est un repère orthonormé (axes perpendiculaires et de même graduation sur chaque axe). Il existe d'autres repères d'espace (ex : **repère de Frenet**, …)

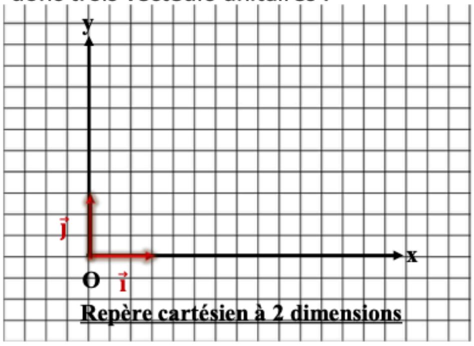
- Un **repère de temps** dont l'origine des dates (t = 0) correspond généralement au début du mouvement.

LE REPERE D'ESPACE

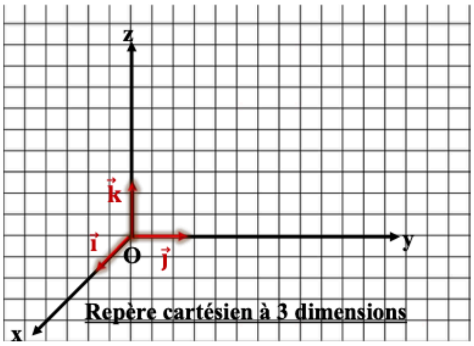
Afin de définir la trajectoire exacte d'un objet, nous devons être capables de situer l'objet dans l'espace à différents instants. Pour ceci, nous devrons <u>quadriller l'espace</u> afin d'avoir un repère nous permettant de nous situer.

Le repère que nous utiliserons essentiellement est le **repère cartésien** qui est composé d'un centre O et de trois axes Ox, Oy et Oz perpendiculaires entre eux et ayant la même échelle : on parle de repère orthonormé. Le centre O sera alors toujours lié à l'objet pris comme référence ou référentiel.

Un repère d'espace doit aussi être orienté afin d'y intégrer des vecteurs. On y intègre donc trois vecteurs unitaires :



Repère cartésien à 2 dimensions



Repère cartésien à 3 dimensions

Le vecteur unitaire $\vec{i}$:

- **Direction** : axe Ox
- **Sens** : sens des x croissants
- **Norme** : $\|\vec{i}\| = 1$
- **Point d'application** : le centre O du repère.

Le vecteur unitaire $\vec{j}$:

- **Direction** : axe Oy
- **Sens** : sens des y croissants
- **Norme** : $\|\vec{j}\| = 1$
- **Point d'application** : le centre O du repère.

Le vecteur unitaire $\vec{k}$:

- **Direction** : axe Oz
- **Sens** : sens des z croissants
- **Norme** : $\|\vec{k}\| = 1$
- **Point d'application** : le centre O du repère.

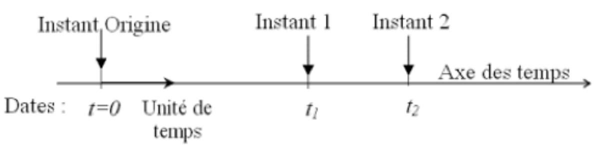
LE REPERE DE TEMPS

Pour chaque étude, il conviendra de choisir une origine des temps (t = 0) afin de situer dans le temps chaque évènement. Par exemple, dans le cas d'un lancer au basketball, on choisira (pour simplifier les équations) la plupart du temps l'origine des temps à l'instant ou le système n'aura plus de contact avec la main.

CONDITIONS INITIALES :

Les conditions initiales d'un système désignent sa position et sa vitesse à l'instant t = 0 :

$$\overrightarrow{OG_0}\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} ; \overrightarrow{v_0}\begin{pmatrix} v_{0x} \\ v_{0y} \\ v_{0z} \end{pmatrix}$$



LA TRAJECTOIRE

La trajectoire d'un point du système est l'ensemble des positions successives prises par ce point au cours du temps. Celle-ci dépend du choix du référentiel.

Il faudra donc positionner le système à l'aide d'un vecteur position.

Traces de pas :
Trajectoire rectiligne
(courbe = droite)

Grande roue :
Trajectoire circulaire
(courbe = cercle)

Grand huit :
Trajectoire curviligne
(courbe quelconque)

LE VECTEUR POSITION

Une fois le repère d'espace posé, nous pouvons alors positionner un objet dans l'espace à l'aide de ses trois coordonnées. Prenons un ballon de basket situé en M_1 à l'instant t_1 et en M_2 à l'instant t_2. Le point M_1 a pour coordonnées (x_1 ; y_1 ; z_1) et le point M_2 (x_2 ; y_2 ; z_2).

On peut alors écrire les **vecteurs position** $\overrightarrow{\mathbf{OM_1}}$ **et** $\overrightarrow{\mathbf{OM_2}}$:

$$\overrightarrow{\mathbf{OM_1}} = \mathbf{x_1}.\vec{\mathbf{i}} + \mathbf{y_1}.\vec{\mathbf{j}} + \mathbf{z_1}.\vec{\mathbf{k}}$$
$$\overrightarrow{\mathbf{OM_2}} = \mathbf{x_2}.\vec{\mathbf{i}} + \mathbf{y_2}.\vec{\mathbf{j}} + \mathbf{z_2}.\vec{\mathbf{k}}$$

On peut aussi écrire le vecteur $\overrightarrow{M_1M_2}$:

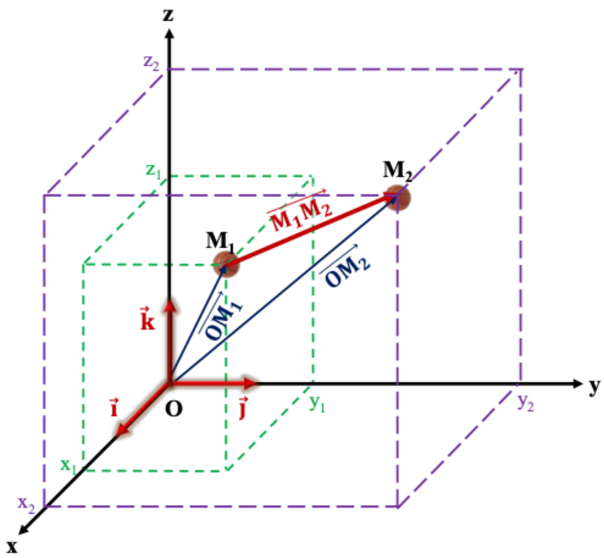
$$\overrightarrow{M_1M_2} = \overrightarrow{M_1O} + \overrightarrow{OM_2}$$
$$\Leftrightarrow \overrightarrow{M_1M_2} = -\overrightarrow{OM_1} + \overrightarrow{OM_2} \Leftrightarrow \overrightarrow{\mathbf{M_1M_2}} = \overrightarrow{\mathbf{OM_2}} - \overrightarrow{\mathbf{OM_1}} = \Delta\overrightarrow{\mathbf{OM}}$$

On a donc :

$$\overrightarrow{M_1M_2} = \left(x_2.\vec{i} + y_2.\vec{j} + z_2.\vec{k}\right) - \left(x_1.\vec{i} + y_1.\vec{j} + z_1.\vec{k}\right)$$

D'où :

$$\overrightarrow{\mathbf{M_1M_2}} = (\mathbf{x_2} - \mathbf{x_1}).\vec{\mathbf{i}} + (\mathbf{y_2} - \mathbf{y_1}).\vec{\mathbf{j}} + (\mathbf{z_2} - \mathbf{z_1}).\vec{\mathbf{k}}$$



LE VECTEUR POSITION

Une fois le repère posé, nous pouvons alors positionner un objet **dans le plan** à l'aide de ses deux coordonnées. Prenons un ballon de basket situé en M_1 à l'instant t_1 et en M_2 à l'instant t_2. Le point M_1 a pour coordonnées (x_1 ; z_1) et le point M_2 (x_2 ; z_2).

On peut alors écrire les **vecteurs position** $\overrightarrow{\mathbf{OM_1}}$ **et** $\overrightarrow{\mathbf{OM_2}}$:

$$\overrightarrow{\mathbf{OM_1}} = \mathbf{x_1}.\vec{\mathbf{i}} + \mathbf{z_1}.\vec{\mathbf{k}}$$
$$\overrightarrow{\mathbf{OM_2}} = \mathbf{x_2}.\vec{\mathbf{i}} + \mathbf{z_2}.\vec{\mathbf{k}}$$

On peut aussi écrire le vecteur $\overrightarrow{M_1M_2}$:

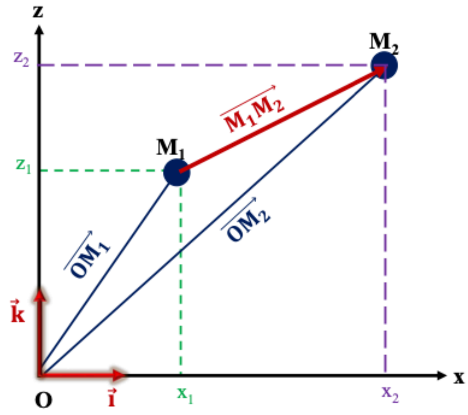
$$\overrightarrow{M_1M_2} = \overrightarrow{M_1O} + \overrightarrow{OM_2}$$
$$\Leftrightarrow \overrightarrow{M_1M_2} = -\overrightarrow{OM_1} + \overrightarrow{OM_2} \Leftrightarrow \overrightarrow{M_1M_2} = \overrightarrow{OM_2} - \overrightarrow{OM_1}$$

On a donc :

$$\overrightarrow{M_1M_2} = \left(x_2.\vec{i} + z_2.\vec{k}\right) - \left(x_1.\vec{i} + z_1.\vec{k}\right)$$

D'où :

$$\overrightarrow{\mathbf{M_1M_2}} = (\mathbf{x_2} - \mathbf{x_1}).\vec{\mathbf{i}} + (\mathbf{z_2} - \mathbf{z_1}).\vec{\mathbf{k}}$$



LA VITESSE MOYENNE

Lorsque vous voyagez entre Paris et Marseille, vous parcourez une distance de d = 800 km pendant une durée totale de Δt = 9h00 en y incluant les pauses, les embouteillages, les feux, …

Votre **vitesse moyenne** sera alors de :

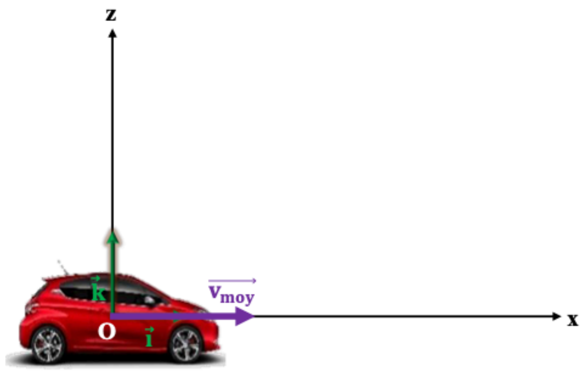
$$\mathbf{v_{moy}} = \frac{\mathbf{d}}{\mathbf{\Delta t}} \Rightarrow v_{moy} = \frac{8{,}00.10^5}{9x60x60}$$

$$\Rightarrow v_{moy} = 24{,}7\ m.s^{-1} \text{ ou } 88{,}9\ km.h^{-1}$$

Cette valeur ne donne aucune indication sur la direction prise, ni sur le sens. Ainsi, nous définirons le vecteur vitesse moyenne $\overrightarrow{v_{moy}}$:

$$\boxed{\overrightarrow{\mathbf{v_{moy}}} = \frac{\overrightarrow{\mathbf{M_1M_2}}}{\mathbf{\Delta t}}} \text{ ou encore : } \overrightarrow{v_{moy}} = \frac{\overrightarrow{OM_2} - \overrightarrow{OM_1}}{t_2 - t_1} \Leftrightarrow \boxed{\overrightarrow{\mathbf{v_{moy}}} = \frac{\mathbf{\Delta\overrightarrow{OM}}}{\mathbf{\Delta t}}}$$

Les vecteurs $\overrightarrow{v_{moy}}$ et $\overrightarrow{M_1M_2}$ (ou $\Delta\overrightarrow{OM}$) sont donc colinéaires.



Dans notre exemple : $\begin{cases} M_1 \text{ représenterait Paris ;} \\ M_2 \text{ représenterait Marseille ;} \\ t_1 \text{ représenterait l'heure du départ de Paris ;} \\ t_2 \text{ représenterait l'heure de l'arrivée à Marseille} \end{cases}$

LA VITESSE INSTANTANEE

Vu en 1re

En classe de Première, nous avons assimilé le vecteur vitesse $\vec{v_i}$ d'un point M, en une position M_i de la trajectoire, au vecteur vitesse moyenne obtenu pour une durée Δt extrêmement courte :

$$\vec{v_i} = \frac{\overrightarrow{M_iM_{i+1}}}{t_{i+1} - t_i} = \frac{\overrightarrow{M_iM_{i+1}}}{\Delta t}$$

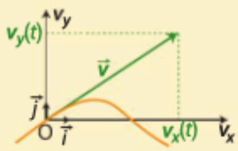
- Dans un référentiel donné, le **vecteur vitesse** d'un point M à l'instant t est égal à la dérivée, par rapport au temps, du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ à cet instant :

Valeur en $m \cdot s^{-1}$ — Valeur en m

$$\vec{v}(t) = \left(\frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}\right)_t \quad \text{noté plus simplement} \quad \vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$$

t en s

- Les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse $v_x(t)$ et $v_y(t)$ sont obtenues en dérivant, par rapport au temps, celles $x(t)$ et $y(t)$ du vecteur position $\overrightarrow{OM}(t)$:

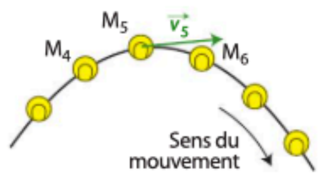


$$\vec{v}(t)\begin{cases} v_x(t) = \left(\dfrac{dx}{dt}\right)_t \\ v_y(t) = \left(\dfrac{dy}{dt}\right)_t \end{cases} \quad \text{ou plus simplement} \quad \vec{v}\begin{cases} v_x = \dfrac{dx}{dt} \\ v_y = \dfrac{dy}{dt} \end{cases}$$

Remarques :

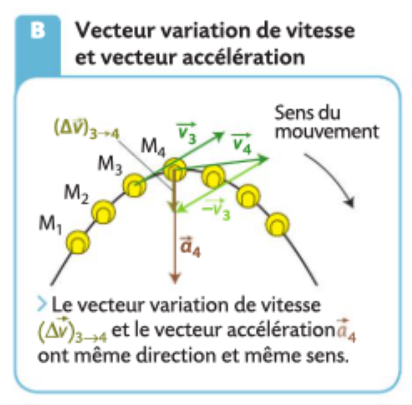
- v_x est aussi le coefficient directeur de la tangente à la courbe $x = f(t)$ tracée à cette date t. Il en est de même pour v_y et la tangente à la courbe $y = g(t)$.
- On obtient la valeur v du vecteur vitesse à partir de la relation : $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$.
- Le vecteur vitesse est toujours tangent à la trajectoire et dirigé dans le sens du mouvement (construction **A**).

A Vecteur vitesse de M dans la position M_5



> Le vecteur $\vec{v_5}$ est tangent à la trajectoire en M_5.

L'ACCELERATION



Point maths Côté maths 5 p. 227

Les coordonnées cartésiennes du vecteur accélération peuvent être obtenues à partir de la dérivée seconde des coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ du vecteur position :

$$\vec{a}(t)\begin{cases} a_x(t) = \left(\dfrac{dv_x}{dt}\right)_t = \left(\dfrac{d^2\mathbf{x}}{dt^2}\right)_t \\ a_y(t) = \left(\dfrac{dv_y}{dt}\right)_t = \left(\dfrac{d^2\mathbf{y}}{dt^2}\right)_t \end{cases}$$

L'accélération ne représente rien d'autre que l'**évolution de la vitesse en fonction du temps**.

On écrira donc **l'accélération moyenne** :

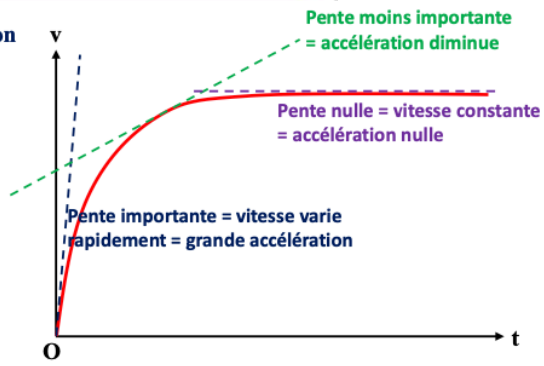
$$\overrightarrow{\mathbf{a_{moy}}} = \frac{\Delta\vec{\mathbf{v_i}}}{\Delta \mathbf{t}}$$

L'accélération instantanée s'écrira :

$$\vec{\mathbf{a_i}} = \frac{\mathbf{d}\vec{\mathbf{v_i}}}{\mathbf{dt}}$$

On peut aussi décomposer l'accélération instantanée $\vec{a}$ selon les trois axes du repère :

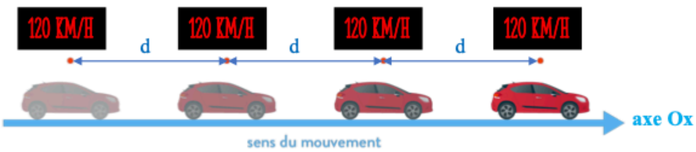
$$\vec{\mathbf{a}} = \mathbf{a_x}.\vec{\mathbf{i}} + \mathbf{a_y}.\vec{\mathbf{j}} + \mathbf{a_z}.\vec{\mathbf{k}} \quad \textbf{avec :} \begin{cases} \mathbf{a_x} = \dfrac{\mathbf{dv_x}}{\mathbf{dt}} = \dfrac{\mathbf{d^2x}}{\mathbf{dt^2}}\,; \\ \mathbf{a_y} = \dfrac{\mathbf{dv_y}}{\mathbf{dt}} = \dfrac{\mathbf{d^2y}}{\mathbf{dt^2}}\,; \\ \mathbf{a_z} = \dfrac{\mathbf{dv_z}}{\mathbf{dt}} = \dfrac{\mathbf{d^2z}}{\mathbf{dt^2}}. \end{cases}$$



Dans une courbe v = f(t), la pente de la courbe en un point est sa dérivée dv/dt. Cette pente correspond donc à l'accélération a.

II. Les différents types de mouvement.

MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORME



Un mouvement rectiligne uniforme est un mouvement pour lequel le vecteur vitesse du centre de masse G du système étudié est constant :

- Sa direction et son sens : mouvement rectiligne
- Sa norme : uniforme.

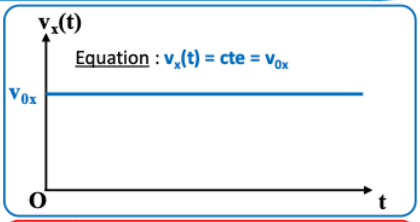
La vitesse garde donc sa valeur initiale.

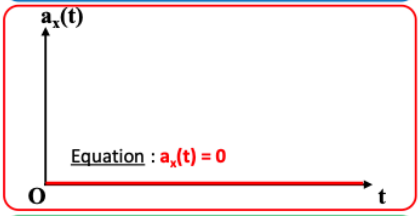
Si $\overrightarrow{v_G} = \overrightarrow{cte} \Rightarrow \frac{d\overrightarrow{v_G}}{dt} = \overrightarrow{a_G} = \vec{0} \Rightarrow a_x(t) = 0$

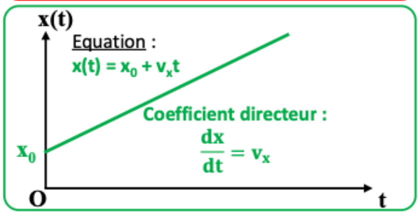
De plus, si $\overrightarrow{v_G} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} = \overrightarrow{cte}$

$\Rightarrow \overrightarrow{OM}$ varie de manière constante : $x(t) = x_0 + d \Rightarrow x(t) = x_0 + v_x t$

NB : dans le cas d'un mouvement rectiligne, il n'est pas nécessaire d'avoir un repère d'espace à 3 dimensions. En effet, le système ne se meut que sur une direction de l'espace : on choisira en général l'axe Ox.







MOUVEMENT RECTILIGNE, UNIFORMÉMENT ACCÉLÉRÉ

Un mouvement rectiligne uniformément accéléré est un mouvement pour lequel le vecteur vitesse du centre de masse G du système étudié a les caractéristiques suivantes :

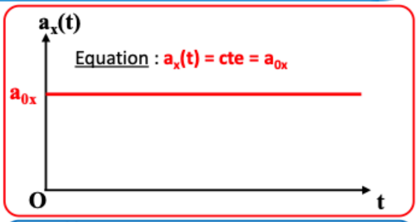
- Sa direction et son sens sont constants : mouvement rectiligne.
- Sa norme varie toujours de la même manière (accélération constante, positive ou négative) : uniformément accéléré.

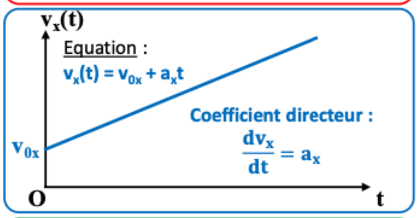
Si $\overrightarrow{a_G} = \overrightarrow{cte}$:

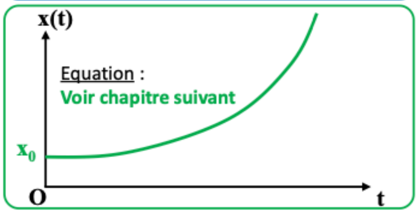
$\Rightarrow \overrightarrow{v_G}$ varie de manière constante car $\overrightarrow{a_G} = \frac{d\overrightarrow{v_G}}{dt}$:

$v_x(t) = v_{0x} + V \Rightarrow v_x(t) = v_{0x} + a_x t$

De plus, si $\overrightarrow{v_G}$ varie $\Rightarrow \overrightarrow{OM}$ varie rapidement (on verra plus tard de quelle manière).





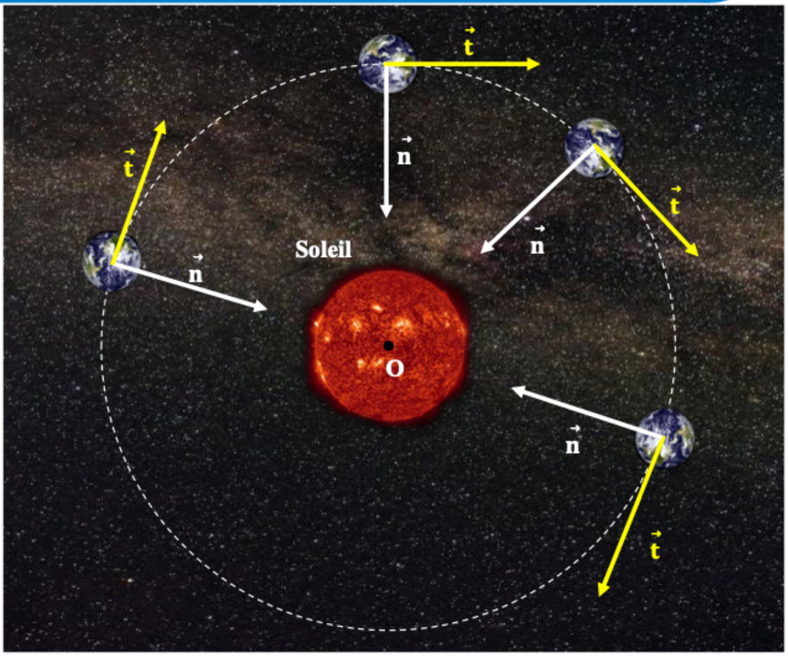


III. Étude dans le cas d'un mouvement circulaire

TRAJECTOIRE CIRCULAIRE ET REPERE DE FRENET

Dans le cas d'un mouvement circulaire (ou elliptique), on utilise le « **repère de Frenet** » **mobile** et qui a comme origine le centre d'inertie de l'objet autour duquel tourne le système étudié et dont les vecteurs unitaires sont :

- $\vec{n}$: le **vecteur unitaire normal** (orthogonal) en tout point à la trajectoire du système étudié.
- $\vec{t}$: le **vecteur unitaire tangent** en tout point à la trajectoire du système étudié.



TRAJECTOIRE CIRCULAIRE ET REPERE DE FRENET

Dans le cas d'un mouvement circulaire, dans le repère de Frenet :

- Le **vecteur vitesse** s'écrit :

$$\vec{v} = \vec{v_t} + \vec{v_n} \text{ où } \begin{cases} \vec{v_t} = \dfrac{dOM}{dt}\vec{t} \\ \vec{v_n} = \mathbf{0}.\vec{n} \end{cases}$$

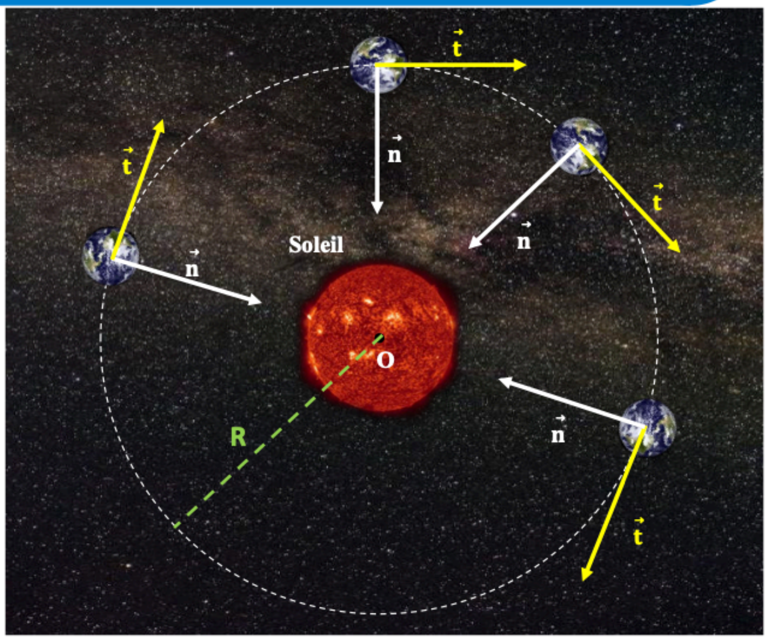
- Le **vecteur accélération** sera alors exprimée par ses deux composantes (normale et tangentielle) :

$$\vec{a} = \vec{a_t} + \vec{a_n} \text{ où } \begin{cases} \vec{a_t} = \dfrac{dv}{dt}\vec{t} \\ \vec{a_n} = \dfrac{\mathbf{v^2}}{\mathbf{R}}\vec{n} \end{cases}$$

R : rayon de courbure correspondant à la distance entre le système étudié et le centre de sa trajectoire circulaire.

Si c'est un mouvement circulaire uniforme :

$$a_t = \frac{dv}{dt} = 0$$

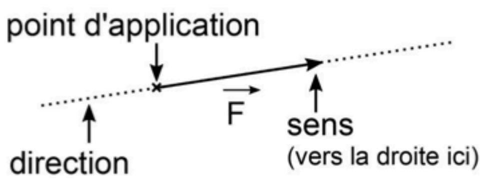


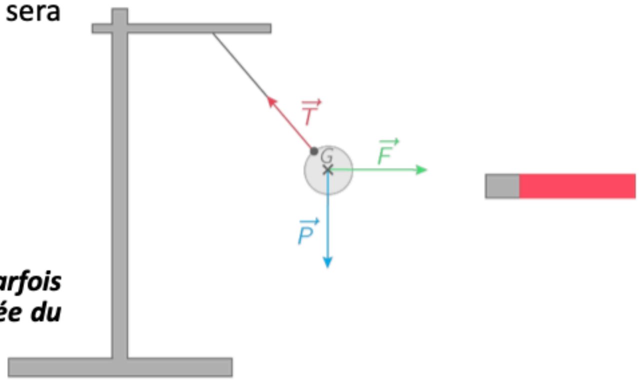
IV. Notions de forces.

QU'EST-CE QU'UNE FORCE ?

Une **action mécanique** impulsant un mouvement ou le modifiant est représentée par une **« force » $\vec{F}$**, elle-même symbolisée par un vecteur ayant quatre caractéristiques :

- **Une norme F (ou $\|\vec{F}\|$)** : plus elle a une grande valeur, plus la longueur de la flèche (vecteur) sera grande ;
- **Une direction** portée par une droite ;
- **Un sens** ;
- **Un point d'application**.

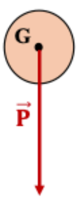


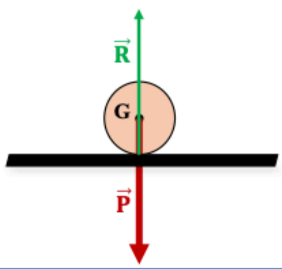


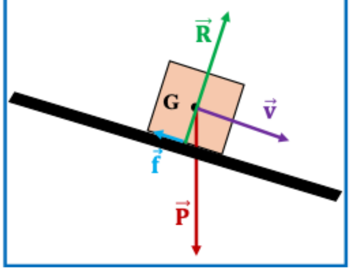
***Attention* ! Le vecteur vitesse $\vec{v}$ est parfois indiqué sur les schémas pour donner une idée du mouvement mais n'est pas une force !**

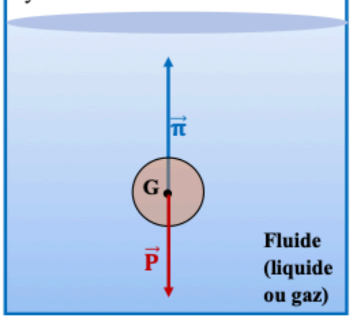
INVENTAIRE DES FORCES

Le poids $\vec{P}$	**La réaction du support $\vec{R}$**	**Les forces de frottement $\vec{f}$**	**La poussée d'Archimède $\vec{\pi}$**
Norme : $P = \|\vec{P}\| = m.g$; **Direction** : verticale (droite passant par le centre de masse G de la Terre et celui du système étudié) ; **Sens** : vers le bas (vers le centre de masse de la Terre) ; **Point d'application** : centre de masse G du système étudié.	**Norme** : $R = \|\vec{R}\|$. Elle dépend du système et du support ; **Direction** : perpendiculaire au plan du support ; **Sens** : vers le haut ; **Point d'application** : centre de la surface de contact entre le système et le support.	**Norme** : $f = \|\vec{f}\|$. Elle dépend du support ainsi que de la vitesse du système ; **Direction** : même direction que le vecteur vitesse $\vec{v}$; **Sens** : sens inverse du vecteur vitesse $\vec{v}$; **Point d'application** : centre de la surface de contact entre le système et le support.	**Norme** : $\pi = \|\vec{\pi}\| = \rho_{liquide}.V.g$; **Direction** : verticale (droite passant par le centre de masse de la Terre et celui du système étudié) ; **Sens** : vers le haut ; **Point d'application** : centre de masse de la partie immergée du système étudié.







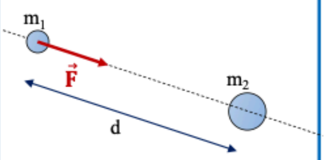


INVENTAIRE DES FORCES

La force gravitationnelle $\vec{F}$

Norme : $F = \|\vec{F}\| = G.\frac{m_1.m_2}{d^2}$;
Direction : droite passant par le centre de masse du système étudié m_1 et de l'objet massique m_2 exerçant la force sur lui ;
Sens : vers le centre de masse de l'objet massique ;
Point d'application : centre de masse G du système étudié.

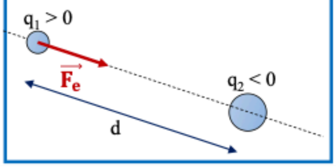
Constante gravitationnelle G :
$G = 6,67.10^{-11}.N.m^2.kg^{-2}$
A ne pas confondre avec le centre d'inertie G du système.



La force électrostatique $\vec{F_e}$

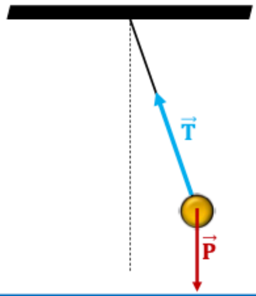
Norme : $F_e = \|\vec{F_e}\| = K.\frac{q_1.q_2}{d^2} = q_1.E$;
Direction : droite passant par le centre de masse de la charge q_1 étudiée et de la charge q_2 exerçant la force sur lui ;
Sens : vers le centre de masse de la charge q_2 si q_1 et q_2 ont des signes opposés (sinon, c'est l'inverse) ;
Point d'application : centre de masse G du système étudié.

Constante électrique K :
$K = 9,0.10^9\ N.m^2.C^{-2}$



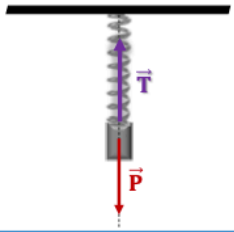
La tension d'un fil $\vec{T}$

Norme : $T = \|\vec{T}\|$. Elle dépend du système et du fil.
Direction : la direction du fil tendu ;
Sens : vers le point de fixation du fil ;
Point d'application : point (petite surface) de contact entre le système étudié et le fil.



La tension d'un ressort $\vec{T}$

Norme : $T = \|\vec{T}\| = kx$. Ici, k est la constante de raideur du ressort (en $N.kg^{-1}$) et x l'allongement du ressort $l-l_0$ (où l est la longueur du ressort dans le système étudié et l_0 sa longueur au repos).
Direction : la direction du ressort;
Sens : vers le point de fixation du ressort ;
Point d'application : point (petite surface) de contact entre le système étudié et le ressort.



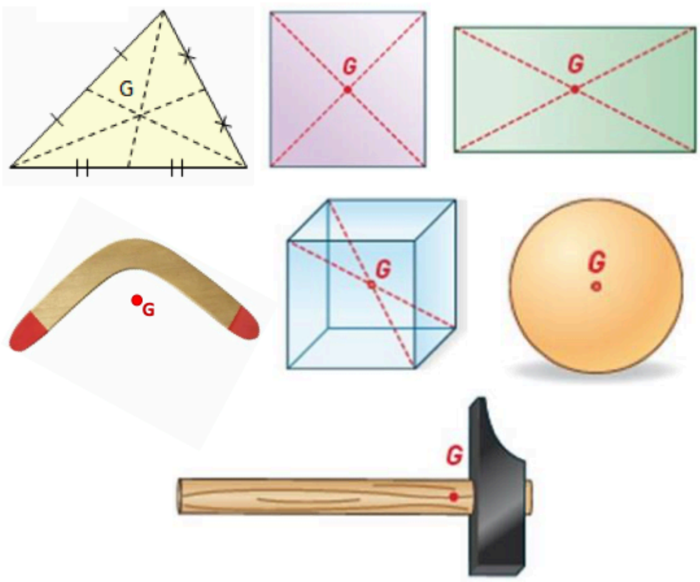
V. Le centre de masse.

CENTRE DE MASSE (OU D'INERTIE)

Le **centre de masse G (ou centre d'inertie)** d'un corps est le point situé à la position moyenne de la masse du corps.

Il peut être aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du corps.

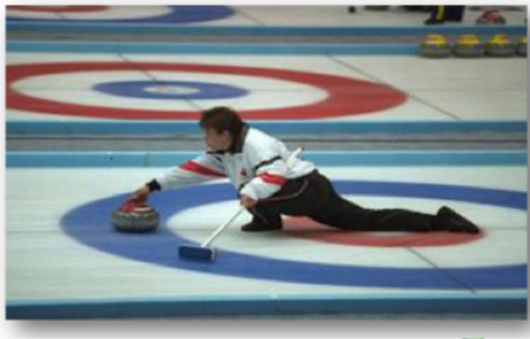
Pour un corps homogène et parfaitement symétrique, le centre de masse G est situé au **centre géométrique** du corps.



VI. Les lois de Newton et référentiel galiléen.

LA 1ère LOI DE NEWTON OU PRINCIPE D'INERTIE (1687)

« Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état. »



En d'autres termes :

Dans un référentiel galiléen, le vecteur vitesse $\overrightarrow{v_G}$ du centre de masse G du système étudié est constant si le système est isolé (soumis à aucune force) ou pseudo-isolé (soumis à des forces qui se compensent.

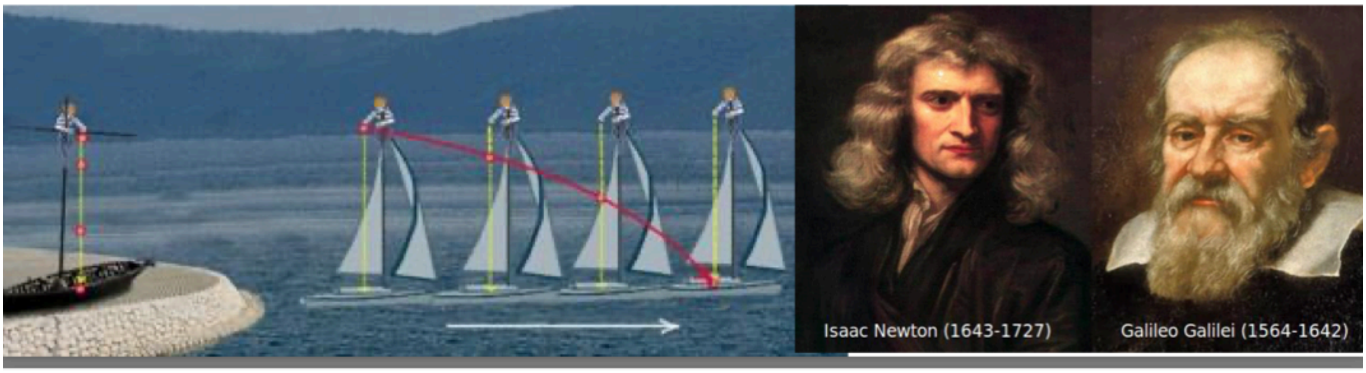
La réciproque est également vraie.

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

PRINCIPE D'INERTIE

<u>Principe d'inertie de Galilée</u> (1638) : « un corps soumis à des forces qui se compensent (s'annulent) ou à aucune force reste immobile s'il l'était initialement et a un mouvement rectiligne et uniforme si sa vitesse initiale n'était pas nulle. »

Cette définition n'est pas vrai dans tous les cas et sera donc affinée par Isaac Newton en 1687



RÉFÉRENTIEL GALILÉEN (OU INERTIEL)

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

Un référentiel en mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport à un référentiel galiléen est lui-même galiléen, ce qui n'est pas le cas d'un référentiel en mouvement de rotation ou de translation circulaire par rapport à un référentiel galiléen.

En réalité, il n'existe pas de référentiel galiléen mais on en considérer certains comme étant des référentiels galiléens en première approximation.

Exemples :

- ***Le référentiel héliocentrique*** *peut être considéré comme un référentiel galiléen car le mouvement de translation circulaire autour du centre de la galaxie (Voie Lactée) est très long. Sa période de révolution est de 250 millions d'années.*
- ***Le référentiel géocentrique*** *peut être considéré comme un référentiel galiléen dans le cas d'une expérience de quelques heures. En effet, dans ce cas, le mouvement de la Terre peut être considéré comme une translation rectiligne par rapport au référentiel héliocentrique (un tout petit arc de cercle ressemble à un segment de droite.*
- ***Le référentiel terrestre*** *peut être considéré comme un référentiel galiléen dans le cas d'une expérience de minutes. En effet, dans ce cas, le mouvement de rotation de la Terre peut être négligé dans ce temps court.*

LA 2ème LOI DE NEWTON OU PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE (PFD)

Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures au système étudié qui s'exerçent sur lui est égale à la dérivée du vecteur quantité de mouvement $\overrightarrow{p_G}$ du centre d'inertie G de ce système par rapport au temps :

$$\boxed{\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \frac{d\overrightarrow{p_G}}{dt}}$$

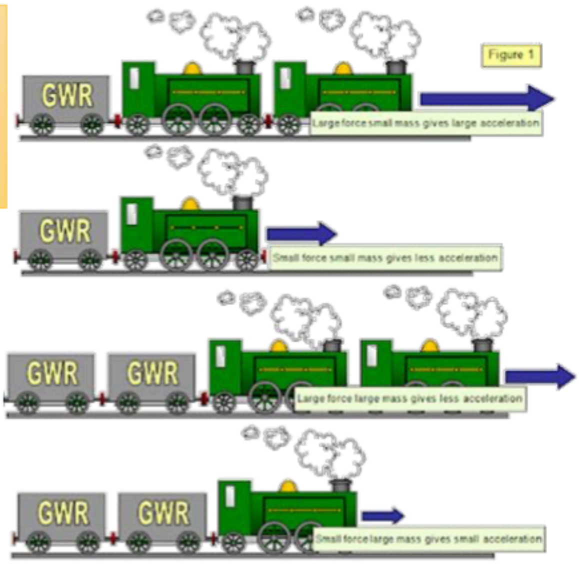
Le vecteur quantité de mouvement $\overrightarrow{p_G}$ du centre d'inertie G de ce système est le produit de la masse du système et de la vitesse de son centre d'inertie G : $\overrightarrow{p_G} = m.\overrightarrow{v_G}$

Si la masse du système reste constante au cours du temps, on peut donc écrire :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \frac{d(m.\overrightarrow{v_G})}{dt} \Rightarrow \sum \overrightarrow{F_{ext}} = m.\frac{d\overrightarrow{v_G}}{dt} \Rightarrow \boxed{\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m.\overrightarrow{a_G}}$$

NB : on peut alors retrouver le principe d'inertie car :

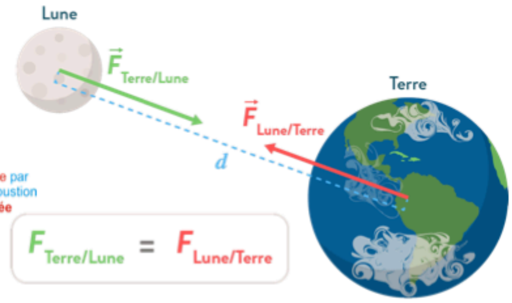
$$si\ \overrightarrow{v_G} = \overrightarrow{cte} \Rightarrow \overrightarrow{a_G} = \frac{d\overrightarrow{v_G}}{dt} = \vec{0} \Rightarrow \sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0}$$

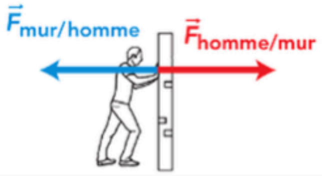


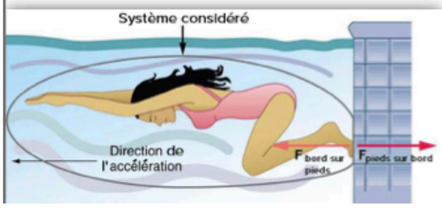
LA 3ème LOI DE NEWTON OU PRINCIPE DES ACTIONS RECIPROQUES

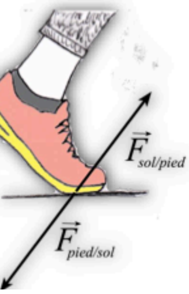
Lorsque deux systèmes A et B sont en interaction l'un par rapport à l'autre, ils exercent l'un sur l'autre une force identique (valeur, direction) mais de sens opposé :

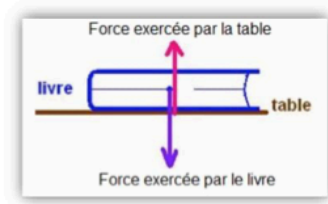
$$\boxed{\overrightarrow{F_{A \to B}} = -\overrightarrow{F_{B \to A}}}$$











L'essentiel

Les vecteurs position, vitesse et accélération

Dans un référentiel donné, associé à un repère cartésien $(O\,;\vec{i},\vec{j})$, pour un point M d'un système, **à toute date *t*** :

Dérivation par rapport au temps

Dérivation par rapport au temps

Vecteur position : $\overrightarrow{OM}$

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x\ (\text{m}) \\ y\ (\text{m}) \end{cases}$$

Vecteur vitesse : $\vec{v} = \dfrac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = \dfrac{dx}{dt}\ (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \\ v_y = \dfrac{dy}{dt}\ (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \end{cases}$$

Vecteur accélération : $\vec{a} = \dfrac{d\vec{v}}{dt}$

$$\vec{a}\begin{cases} a_x = \dfrac{dv_x}{dt} = \dfrac{d^2x}{dt^2}\ (\text{m}\cdot\text{s}^{-2}) \\ a_y = \dfrac{dv_y}{dt} = \dfrac{d^2y}{dt^2}\ (\text{m}\cdot\text{s}^{-2}) \end{cases}$$

Des exemples de mouvements

Dans un référentiel donné, les vecteurs $\vec{v}$ et $\vec{a}$ permettent de caractériser le mouvement d'un système.

Mouvement rectiligne

uniforme

Vecteur vitesse
- **Direction** : droite support de la trajectoire
- **Sens** : celui du mouvement
- **Valeur** : v (m·s^{-1}) constante

Vecteur accélération

$\vec{a} = \vec{0}$

uniformément varié

Vecteur vitesse
- **Direction** : droite support de la trajectoire
- **Sens** : celui du mouvement
- **Valeur** : v (m·s^{-1}) variable au cours du temps

Vecteur accélération
- **Direction** : droite support de la trajectoire
- **Sens** :
  - celui de $\vec{v}$ (mouvement accéléré)
  - opposé à $\vec{v}$ (mouvement ralenti)
- **Valeur** : a (m·s^{-2}) constante

Mouvement circulaire

uniforme

Vecteur vitesse
- **Direction** : tangente à la trajectoire
- **Sens** : celui du mouvement
- **Valeur** : constante v (m·s^{-1})

Vecteur accélération
- **Direction** : variable et perpendiculaire à la trajectoire
- **Sens** : vers le centre de la trajectoire
- **Valeur : constante**

$$\underset{(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})}{a} = \frac{\overset{(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})^2}{v^2}}{\underset{(\text{m})}{R}}$$

varié

Vecteur vitesse
- **Direction** : tangente à la trajectoire
- **Sens** : celui du mouvement
- **Valeur** : variable v (m·s^{-1})

Vecteur accélération
- **Direction** : variable et non perpendiculaire à la trajectoire
- **Sens** : vers l'intérieur de la trajectoire
- **Valeur : variable**

$a \neq \dfrac{v^2}{R}$ car $a_t \neq 0$

La deuxième loi de Newton

Cette loi n'est valable que dans les **référentiels galiléens**, référentiels dans lesquels s'applique le principe d'inertie.

Deuxième loi de Newton

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

G est le centre de masse du système, seul point de ce système où s'applique toujours le principe d'inertie :

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