

# CINEMATIQUE & 2<sup>nd</sup>e LOI DE NEWTON

## 1. REPERER UN OBJET AU COURS DE SON MOUVEMENT - NOTION DE REFERENTIELS.

### 1.1. DEFINITION D'UN REFERENTIEL.

Pour que la description du mouvement soit précise, il faut indiquer la position du point considéré et l'instant ou *date* à laquelle il occupe cette position. La définition du référentiel est arbitraire, c'est-à-dire que tout objet peut être choisi comme référentiel. Cependant, certains référentiels sont mieux adaptés que d'autres à l'étude de certains mouvements.

Un *référentiel* d'étude est constitué par:
 

- un solide de référence par rapport auquel on repère les positions du système;
- une horloge permettant un repérage des dates (voir chapitre "La notion du temps").

Un référentiel = un repère auquel on a ajouté une horloge.

### 5.2. LES REFERENTIELS TERRESTRES.

Les référentiels terrestres sont construits à partir de n'importe quel solide de référence lié à la Terre (fixe par rapport à la Terre). Ce sont des référentiels adaptés à l'étude des mouvements sur la Terre.

Il y a une infinité de référentiels terrestres possibles, autant que de solides fixes par rapport à la Terre. Parmi tous les référentiels terrestres, nous ferons souvent référence au *référentiel* dit du *laboratoire*: le référentiel est constitué par:

- les murs pour axes;
- et le plancher de la salle, ou par tous les objets fixes par rapport à la salle, comme par exemple une caméra vidéo posée sur le sol.

### 5.3. LE REFERENTIEL GEOCENTRIQUE.

Pour décrire le plus simplement possible les mouvements des satellites de la Terre, les astronomes utilisent un référentiel particulier, le référentiel géocentrique. Il est constitué par:

- le centre de la Terre;
- et trois étoiles lointaines dont les directions sont considérées comme fixes.

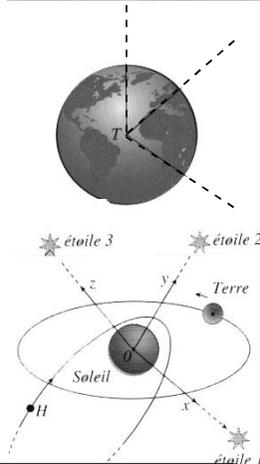
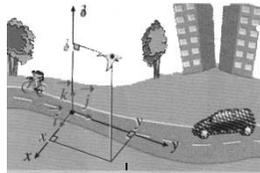
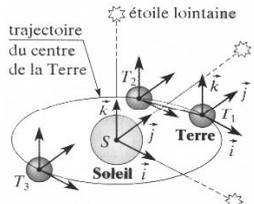
### Remarque.

La Terre n'est pas immobile par rapport au référentiel géocentrique: elle tourne autour d'un des axes de la Terre, celle qui coïncide avec son axe de rotation. La trajectoire d'un point de la surface de la Terre dans le référentiel géocentrique est un cercle qui porte le nom de parallèle. Le référentiel géocentrique n'est plus adapté pour la description de mouvements sur Terre.

### 5.4. LE REFERENTIEL HELIOCENTRIQUE.

Pour décrire le plus simplement possible les mouvements de la Terre et des planètes du système solaire, les astronomes utilisent un référentiel particulier, le référentiel héliocentrique. Egalement référentiel de Copernic, il est constitué par:

- le centre du Soleil;
- et les trois mêmes étoiles lointaines dont les directions sont considérées comme fixes.



Nicolas Copernic  
(1473 - 1543)

Erudit polonais sympathique et arrangeant, qui se trouve bien malgré lui à l'origine de la «révolution» scientifique de la Renaissance. Au moment où Christophe Colomb découvre le nouveau monde, il ouvre à la science de nouveaux horizons. Après ses études en Italie, où se trouvent les meilleures universités de l'époque, il propose une nouvelle cosmologie en délogeant la Terre du centre de l'Univers, et en y plaçant le Soleil. Son système n'est guère plus simple que celui de Ptolémée, mais il permet de faire des mesures précises des dimensions du système solaire: il indique le double mouvement des planètes sur elles-mêmes et autour du Soleil. Conscient de l'aspect révolutionnaire de son hypothèse, il préfère prudemment retarder au maximum la publication de son livre «*De revolutionibus orbium coelestium libri VI*», dont il voit les premiers exemplaires, paraît-il, sur son lit de mort. Ce livre, qui préluait les travaux de Kepler et de Galilée, restera interdit par l'Eglise jusqu'en 1835 !!

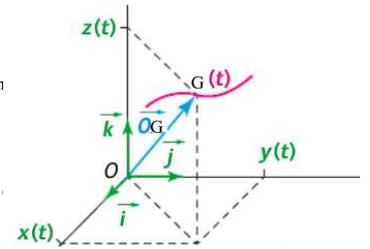


## 2. CINEMATIQUE DU POINT

### 2.1. VECTEUR POSITION.

L'étude d'un solide au cours de son mouvement se ramène parfois à son centre de gravité, dans l'hypothèse où la répartition de la masse est uniforme. Lorsque l'étude d'un solide est réduite à celle de son centre d'inertie  $G$ , seules les informations relatives à la rotation du solide sur lui-même sont perdues.

Le vecteur position  $\vec{OG}$  a pour coordonnées  $\vec{OG} \begin{cases} x_G(t) \\ y_G(t) \\ z_G(t) \end{cases}$



Les notations  $x_G(t)$ ,  $y_G(t)$  et  $z_G(t)$  précisent que les coordonnées d'un point en mouvement sont des fonctions du temps.

L'ensemble des positions occupées successivement par le point  $G$  au cours du temps constitue la trajectoire de ce point. Cette trajectoire dépend du référentiel d'étude.

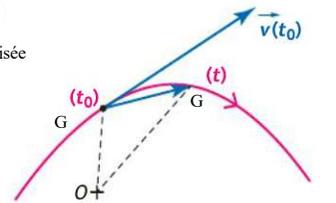
L'équation cartésienne de la trajectoire, dans le cas d'un mouvement plan, est la donnée  $y$  en fonction de  $x$ .

### 2.2. VECTEUR VITESSE

On distingue la vitesse moyenne et la vitesse instantanée:

- la vitesse moyenne d'un point entre deux positions est la distance parcourue divisée par la durée du parcours.
- la vitesse instantanée  $v(t)$  du point  $G$ , ou vitesse tout court, est égale à sa vitesse moyenne entre deux points infiniment proches.

Le vecteur vitesse instantanée se déduit du vecteur position par la relation  $\vec{v}(t) = \frac{d\vec{OG}}{dt}$

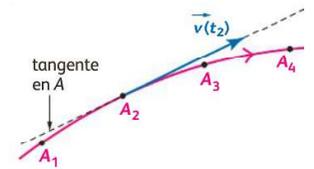


On peut interpréter cela de deux manières:

- physiquement il s'agit d'une petite variation  $d$   $OG$  de position au cours d'une petite variation de temps  $dt$
- mathématiquement, la vitesse est la dérivée du vecteur position par rapport au temps.

Remarque. La notation  $\frac{d\vec{OG}}{dt}$  est l'écriture symbolique de la dérivée qui ne doit pas être confondue avec une fraction.

Les coordonnées sont donc  $\vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = \frac{dx}{dt} \\ v_y(t) = \frac{dy}{dt} \\ v_z(t) = \frac{dz}{dt} \end{cases}$



Le vecteur vitesse est toujours porté par la tangente à la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement.

On parle de mouvement rectiligne uniforme si le vecteur vitesse est constant  $\vec{v} = \vec{Cste}$ . Le vecteur vitesse  $v$  garde valeur constante mais aussi même direction et sens.

### 2.3. LE VECTEUR ACCELERATION.

La notion d'accélération est formalisée par Pierre Varignon (1654-1722) le 20 janvier 1700, comme un écart infiniment petit de vitesse  $dv$  sur le temps infiniment petit  $dt$  mis pour modifier cette vitesse. Réitérant l'approche qu'il avait utilisé deux ans plus tôt pour définir la notion de vitesse, il utilise le formalisme du calcul différentiel mis au point quelques années plus tôt par Leibniz (1646-1716).

On appelle vecteur accélération de  $G$  à la date  $t$ , le vecteur  $\vec{a}_G = \frac{d\vec{v}_G}{dt}$  lorsque  $\Delta t$  est une durée très petite au voisinage de la date  $t$ .

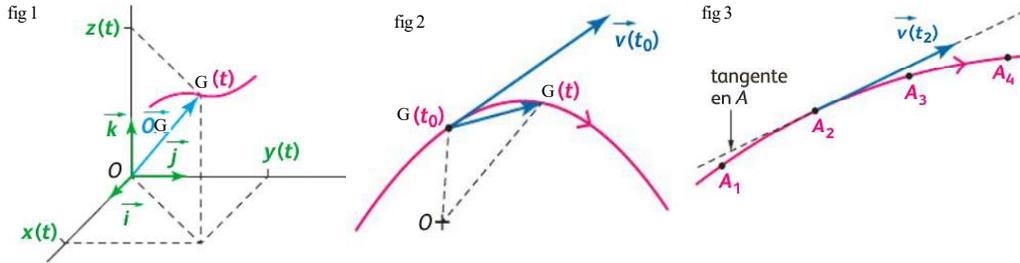
Ceci s'écrit mathématiquement:

$$\vec{a}_G = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t} \quad \text{ou encore}$$

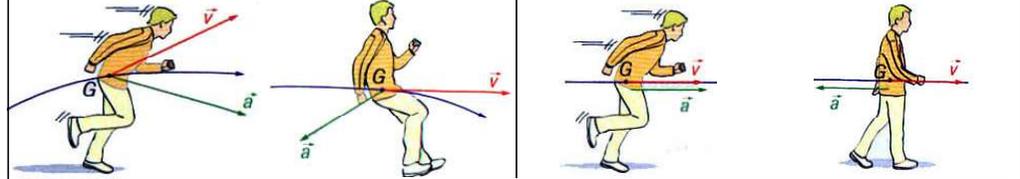
$$\vec{a}_G = \frac{d\vec{v}_G}{dt}$$

$$\begin{cases} a_x(t) = \frac{dv_x}{dt} \\ a_y(t) = \frac{dv_y}{dt} \\ a_z(t) = \frac{dv_z}{dt} \end{cases}$$

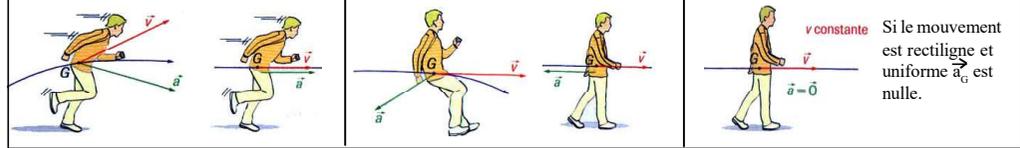
L'unité officielle de l'accélération est le  $m.s^{-2}$ .



Le vecteur accélération est toujours vers l'intérieur de la courbure de la trajectoire. Le vecteur accélération est parallèle à la trajectoire dans le cas d'un mouvement rectiligne.



Si la valeur de la vitesse augmente, le vecteur vitesse et la projection de  $\vec{a}_G$  sur la tangente sont dans le même sens: le mouvement est accéléré. Si la valeur de la vitesse augmente, le vecteur vitesse et la projection de  $\vec{a}_G$  sur la tangente sont dans des sens opposés: le mouvement est ralenti. Si la valeur de la vitesse est constante,  $\vec{a}_G$  est normal à la trajectoire et la projection de  $\vec{a}_G$  sur la tangente est nulle: le mouvement est uniforme.



### 3. PREMIERE LOI DE NEWTON: LE PRINCIPE D'INERTIE.

#### 3.1. LA RELATIVITE. UN PRINCIPE VIEUX COMME LE MONDE.

Un navire pénètre dans le port. Un vent régulier le pousse droit devant, à une vitesse constante. Perché en haut du mât, un matelot lâche un boulet de canon. Où le projectile va-t-il tomber ? Vers l'arrière ? Eh non, le boulet tombe au pied du mât. Son comportement est inchangé par le mouvement du navire. La même expérience réalisée sur le quai par un artilleur immobile donne un résultat identique: le boulet tombe à la verticale. Mralité: la chute d'un corps suit la même loi, quel que soit le référentiel galiléen dans lequel a lieu l'événement. En d'autres termes, les lois de la nature sont les mêmes sur un quai de gare, dans un bateau ou un avion en mouvement du moment que tous ces objets se déplacent à une vitesse constante ou nulle. C'est ça le principe de la relativité inventée par le grand savant Galileo Galilée.

En fait, sans le savoir, nous expérimentons tous les jours la relativité de Galilée. Vous êtes dans un avion volant à vitesse constante et vous voulez vous servir une rasade de soda. Allez-vous changer votre geste habituel ? Non, bien sûr: vous n'allez pas pencher votre gobelet comme pour compenser un éventuel effet dû au mouvement de l'avion. La boisson à bulles tombe dans le verre car la loi qui gouverne sa chute n'a pas changé d'un iota. En

revanche, si l'avion doit entreprendre un atterrissage d'urgence, la situation est bien différente: gare à vos cuisses !!! Mais là le principe de la relativité ne joue pas puisque la vitesse n'est plus constante.

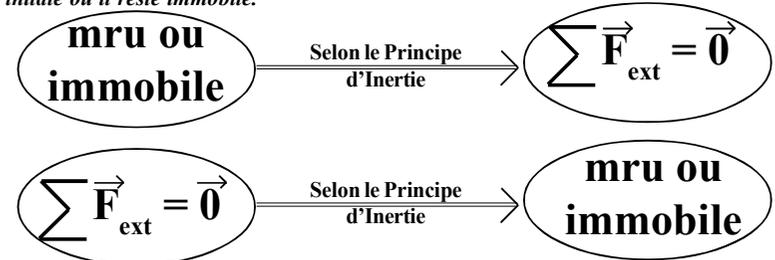
Ce principe nous montre ce qu'il y a de constant, d'absolu dans la nature. Du coup, le terme de relativité peut sembler mal choisi. Qu'est-ce qui est relatif dans tout cela ??? Prenons l'exemple de deux trains en gare côte à côte: lequel démarre, de mon train et de celui d'à côté ?? C'est difficile à dire. Tout est une question de point de vue: c'est en cela que réside la notion de relativité.

Le principe de la relativité n'est valable que dans des systèmes de référence spéciaux appelés référentiels galiléens.



#### 3.2. ENONCE DU PRINCIPE D'INERTIE.

Lorsqu'un point matériel n'est soumis à aucune force (isolé) ou soumis à des forces qui se compensent (pseudo-isolé), son mouvement est un mouvement rectiligne uniforme s'il possède une vitesse initiale ou il reste immobile.



#### 3.3. IMPORTANCE DU REFERENTIEL.

Le principe d'inertie n'est pas valable dans tous les référentiels. Les référentiels dans lesquels le principe d'inertie s'applique sont dits galiléens.

##### Définition:

On appelle **référentiels galiléens**, les référentiels dans lesquels le centre d'inertie d'un solide soumis à des forces de somme nulle a un mouvement rectiligne uniforme. L'expérience montre qu'un référentiel de Copernic (ou héliocentrique) est un excellent référentiel Galiléen: jusqu'à ce jour tous les résultats donnés par le théorème de l'inertie sont en accord avec l'expérience.... Par exemple, les mouvements des planètes et des sondes interplanétaires peuvent être décrits avec une grande précision dans ce repère.

##### Remarque (Hors programme)

Un référentiel animé d'un mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport à un référentiel galiléen est lui-même un référentiel galiléen.

##### Exemples.

Le référentiel terrestre, rigoureusement, ne peut être considéré comme galiléen car par rapport à un référentiel galiléen, la Terre n'est pas en mouvement de translation rectiligne uniforme, puisqu'en perpétuelle rotation sur elle-même et autour du Soleil. Mais pour des expériences de courte durée devant la période de rotation de la Terre autour de son axe, on considère le référentiel terrestre comme galiléen.

### 4. SECONDE LOI DE NEWTON.

Nous avons vu en première la relation approchée  $\Sigma \vec{F} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  pour des petites variations de vitesse  $\delta v$  au cours d'un intervalle  $\delta t$ , cela

$$\text{revient à écrire } \Sigma \vec{F} = m \frac{\delta \vec{v}}{\delta t} = m \vec{a}$$

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

Cette loi est posée comme un principe.

La résultante des forces exercées sur un système de masse constante est donc colinéaire au vecteur accélération  $\vec{a}$  de son centre d'inertie  $G$ , et de même sens que lui.

Dans le cas particulier d'un système immobile  $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$ . Il vient alors, de la seconde loi de Newton,  $m \vec{a} = \vec{0}$ , donc  $\vec{a} = \vec{0}$  et par suite  $\vec{v} = \vec{C} \text{ste}$

Le Principe d'inertie (ou première loi de Newton) apparaît comme un cas particulier de la deuxième loi de Newton.

## 5. TROISIEME LOI DE NEWTON: ENONCE DU PRINCIPE D'INTERACTION.

### Enoncé.

Lorsqu'un corps A exerce sur un corps B une action mécanique modélisée par la force  $\vec{F}_{A/B}$  alors le corps B exerce sur le corps A une action mécanique modélisée par la force  $\vec{F}_{B/A}$ .

Ces deux forces, qui constituent l'interaction, ont, quel que soit l'état de mouvement de A par rapport à B:

- la même droite d'action;
- des sens opposés;
- la même valeur  $F_{A/B} = F_{B/A}$ .

### Exemple.

L'homme exerce sur la voiture une force directement opposée à celle exercée par la voiture sur l'homme: ces deux forces d'interaction sont directement opposées.

En astronomie, on parlera d'interaction gravitationnelle. Si la Terre attire la Lune, alors la Lune attire la Terre telle que  $F_{T/L} = -F_{L/T}$ .

### Remarque (hors programme).

Une expression plus complète de la troisième loi doit prendre en considération les moments des forces.

