Enseignement Spécifique

Cinématique
Dynamique Newtonienne

Lois et modèles

Comprendre

En mécanique, on distingue la cinématique de la dynamique:

- La cinématique étudie le mouvement d'un système sans prendre en compte ses causes (les forces qui s'exercent sur le système).
- La dynamique étudie les causes du mouvement (les forces qui s'exercent sur le système), puis leurs conséquences (le mouvement du système qui en résulte).

La mécanique de Newton, basée sur trois lois, permet d'étudier les systèmes qui, d'une part, sont animés de vitesses faibles devant la vitesse de la lumière (pour les grandes vitesses, il faut faire appel à la mécanique relativiste créée par Einstein) et qui, d'autre part, ont des masses et des dimensions à notre échelle (pour les systèmes à l'échelle de l'atome, il faut faire appel à la mécanique quantique).

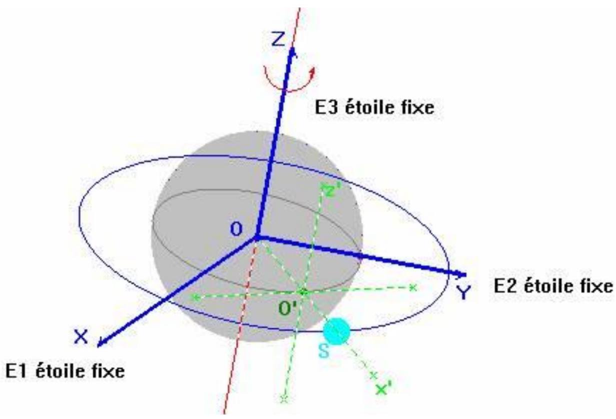
1- Notions de cinématique

1-1- Référentiel et repère

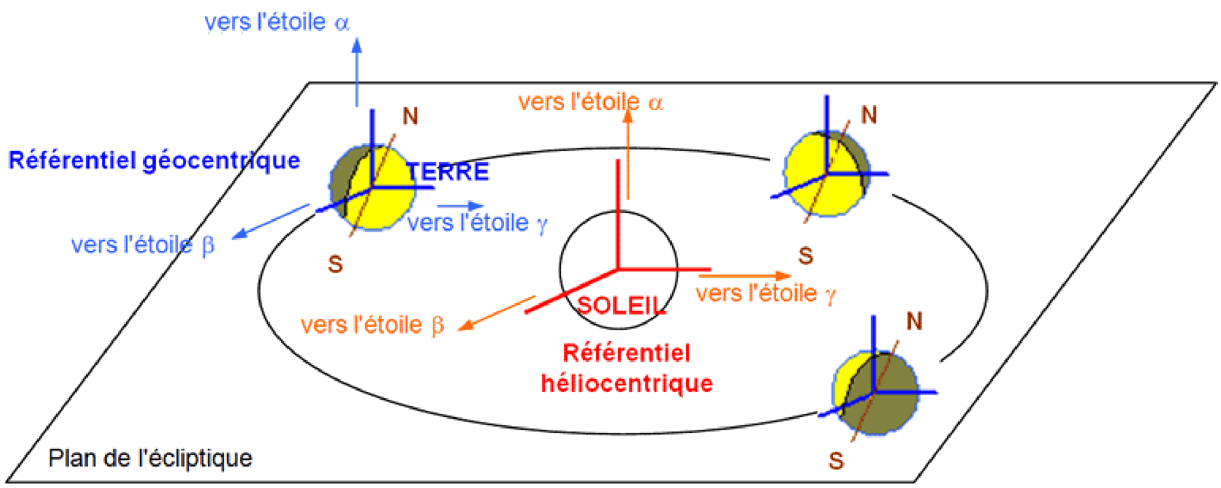
Un système mécanique est un objet dont on étudie le mouvement et les forces qu'il subit. Toutefois, la description de ce mouvement dépend du référentiel choisi.

Un référentiel est un solide par rapport auquel le physicien étudie le mouvement. Il est déterminé par la donnée de quatre points non coplanaires.

On prend souvent comme référentiel le référentiel Terrestre (en vert sur la figure ci-dessous). Il est construit à partir d'un point de la surface de la Terre et d'un repère orthonormé. Il est entraîné par la rotation de la Terre. C'est le référentiel du laboratoire.



On peut également être amené à prendre le référentiel Géocentrique (en bleu sur les figures). Il est construit à partir du centre de la Terre et de trois étoiles, les 4 points n'étant pas dans un même plan. Dans ce référentiel, la Terre a un mouvement propre de rotation autour de l'axe des pôles. La période de cette rotation est de 86164s (jour sidéral). Il est utilisé pour étudier le mouvement des satellites terrestres.



Le référentiel Héliocentrique (en rouge sur la figure ci-dessus). Il est construit à partir du centre du soleil et de trois étoiles, les 4 points n'étant pas coplanaires. Dans ce référentiel, le centre de la Terre effectue un mouvement de révolution autour du Soleil. La période de cette révolution est d'environ 365,256jours (année sidérale). Il est utilisé pour étudier le mouvement des planètes autour du Soleil ou pour les voyages interplanétaires.

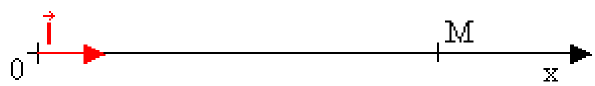
Un repère d'espace orthonormé, lié à un référentiel, est un système d'axes orthogonaux et normés, muni d'une origine O. Dans ce repère, on peut exprimer les coordonnées du mobile ponctuel étudié.

Dans un référentiel, il est possible de tracer une infinité de repères orthonormés différents **($O; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$)**. On choisit celui qui est le mieux adapté au problème posé.

L'étude du mouvement d'un mobile nécessite non seulement le choix d'un référentiel auquel on associe un repère mais encore le choix d'une horloge pour mesurer le temps.

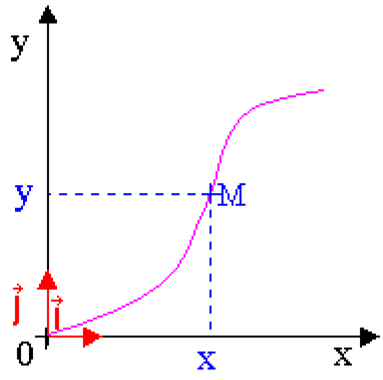
Dans un repère à une dimension on a un mouvement rectiligne:

$$\overrightarrow{OM} = x.\vec{i}$$
$$OM = x$$



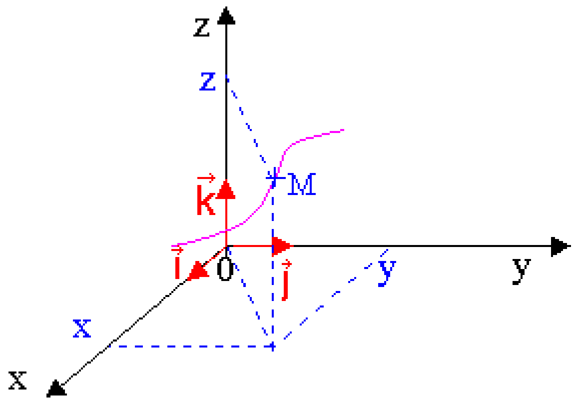
Dans un repère à 2 dimensions on a un mouvement plan:

$$\overrightarrow{OM} = x.\vec{i} + y.\vec{j}$$
$$OM = \sqrt{x^2 + y^2}$$



Dans un repère à 3 dimensions on a un mouvement dans l'espace:

$$\overrightarrow{OM} = x.\vec{i} + y.\vec{j} + z.\vec{k}$$
$$OM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$



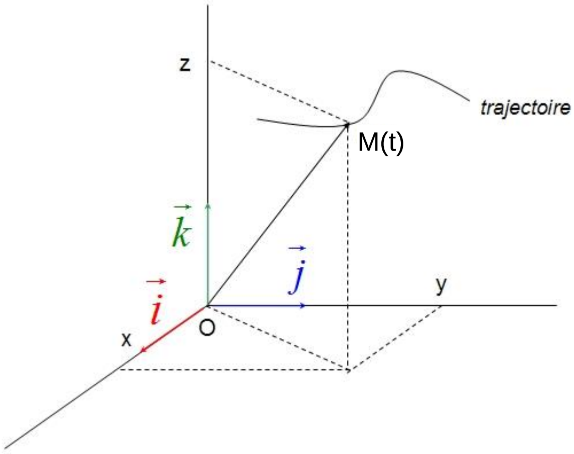
1-2- Trajectoire d'un mobile ponctuel

Dans un référentiel donné, la trajectoire d'un mobile ponctuel est formée par l'ensemble des positions successives occupées par le centre d'inertie **G** du mobile au cours du temps.

1-3- Vecteur position d'un mobile ponctuel

Dans le repère orthonormé **$(O; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$**, lié au référentiel d'étude, la position d'un mobile ponctuel est, à l'instant t, donnée par le vecteur position:

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

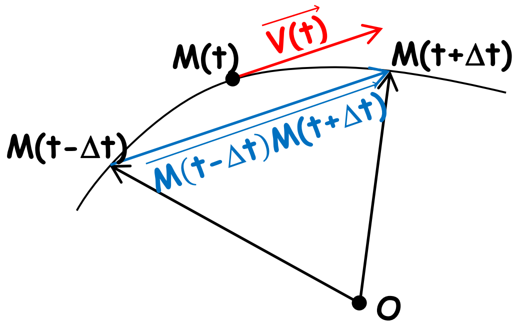


A cet instant t, le mobile se trouve à une certaine distance de l'origine O du repère donnée par:

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

1-4- Vecteur vitesse moyenne d'un mobile ponctuel

Si, dans un référentiel donné, entre les dates **t-Δt** et **t+Δt**, un mobile se déplace de **M(t-Δt)** en **M(t+Δt)**, alors le vecteur vitesse moyenne $\vec{V}$ au point **M(t)** entre ces deux dates est:



$$\vec{V} = \overrightarrow{V(t)} = \frac{\overrightarrow{M(t)M'(t)}}{2\Delta t} = \frac{\overrightarrow{OM'(t)} - \overrightarrow{OM(t)}}{2\Delta t}$$

1-5- Vecteur vitesse instantanée d'un mobile ponctuel

Le vecteur vitesse instantanée $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$ (à l'instant t) est la dérivée par rapport au temps du vecteur position $\overrightarrow{OM(t)}$ du mobile ponctuel:

$$\vec{v} = \overrightarrow{v(t)} = \frac{d\overrightarrow{OM(t)}}{dt}$$

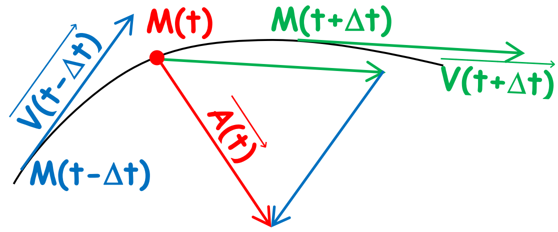
Les caractéristiques du vecteur vitesse sont les suivantes:

- Le point d'application de $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$ est le point **M** où se trouve le mobile ponctuel à cet instant.
- La direction de $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$ est celle de la tangente en **M** à la trajectoire suivie par le point étudié.
- Le sens de $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$ est celui du mouvement.
- La longueur de $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$ représente la norme du vecteur vitesse à cet instant.
- La vitesse s'exprime en $m.s^{-1}$ (m/s) dans le système international d'unités.

1-6- Vecteur accélération d'un mobile ponctuel

Dans un référentiel donné le vecteur vitesse d'un mobile ponctuel peut changer de valeur et (ou) de direction. Ce changement éventuel peut se faire plus ou moins rapidement. C'est l'accélération.

Si, dans un référentiel donné, à l'instant **t-Δt** le mobile possède la vitesse $\overrightarrow{\mathbf{V(t-\Delta t)}}$ et à l'instant **t+Δt** la vitesse $\overrightarrow{\mathbf{V(t+\Delta t)}}$, alors le vecteur accélération $\overrightarrow{\mathbf{A(t)}}$ à l'instant t est:



$$\vec{A} = \overrightarrow{A(t)} = \frac{\overrightarrow{V(t+\Delta t)} - \overrightarrow{V(t-\Delta t)}}{2\Delta t}$$

On appelle vecteur accélération instantanée $\vec{a} = \overrightarrow{a(t)}$ du mobile ponctuel la dérivée par rapport au temps du vecteur vitesse $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$:

$$\vec{a} = \overrightarrow{a(t)} = \frac{d\overrightarrow{v(t)}}{dt}$$

Les caractéristiques du vecteur accélération sont les suivantes:

- Le point d'application de $\vec{a} = \overrightarrow{a(t)}$ est le point **M** où se trouve le mobile ponctuel à cet instant.
- Le vecteur $\vec{a} = \overrightarrow{a(t)}$ est dirigé vers l'intérieur de la trajectoire.
- La longueur de $\vec{a} = \overrightarrow{a(t)}$ représente, à une échelle donnée, la norme du vecteur accélération à cet instant.
- L'accélération s'exprime en $\mathbf{m.s^{-2}}$ ($\mathbf{m/s^2}$) dans le système international d'unités.

1-7- Vecteur quantité de mouvement d'un mobile ponctuel

Le vecteur quantité de mouvement $\vec{p}$ permet l'étude du mouvement d'un système.

Le vecteur quantité de mouvement $\vec{p}$ d'un point matériel, est égal au produit de sa masse **m** par son vecteur vitesse $\vec{v}$:

$$\vec{p} = \overrightarrow{p(t)} = m.\overrightarrow{v(t)}$$

Les caractéristiques du vecteur quantité de mouvement sont les suivantes:

- Le point d'application de $\vec{p} = m.\overrightarrow{v(t)}$ est le point **M** où se trouve le mobile ponctuel à cet instant.
- La direction de $\vec{p} = m.\overrightarrow{v(t)}$ est celle de la tangente en **M** à la trajectoire suivie par le point étudié.
- Le sens de $\vec{p} = m.\overrightarrow{v(t)}$ est celui du mouvement.

- La longueur de $\vec{p} = m.\overrightarrow{v(t)}$ représente la norme du vecteur vitesse à cet instant.
- La quantité de mouvement s'exprime en $kg.m.s^{-1}$ (kg.m/s) dans le système international d'unités.

Comme la vitesse, la quantité de mouvement dépend du référentiel.

Le vecteur quantité de mouvement a toujours la même direction et le même sens que le vecteur vitesse, car la masse est une grandeur toujours positive.

1-8- Coordonnées des différents vecteurs

Dans le repère plan $(O;\vec{i},\vec{j})$, lié au référentiel d'étude, les coordonnées des vecteurs position, vitesse, quantité de mouvement et accélération d'un mobile ponctuel s'écrivent:

$$\overrightarrow{OM(t)} = x(t).\vec{i} + y(t).\vec{j}$$

$$\overrightarrow{v(t)} = \frac{d\overrightarrow{OM(t)}}{dt} = \frac{dx}{dt}.\vec{i} + \frac{dy}{dt}.\vec{j} = \dot{x}(t).\vec{i} + \dot{y}(t).\vec{j}$$

$$\overrightarrow{p(t)} = m.\overrightarrow{v(t)} = m.\frac{d\overrightarrow{OM(t)}}{dt} = m.\frac{dx}{dt}.\vec{i} + m.\frac{dy}{dt}.\vec{j}$$

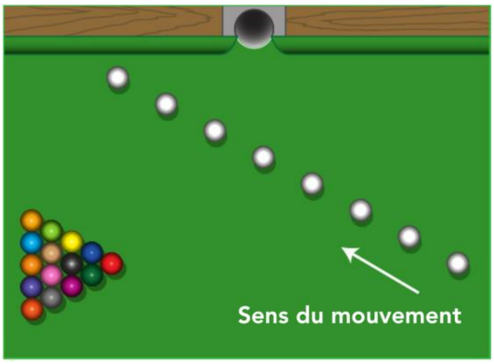
$$\overrightarrow{a(t)} = \frac{d\overrightarrow{v(t)}}{dt} = \frac{d^2\overrightarrow{OM(t)}}{dt^2} = \frac{d\dot{x}}{dt}.\vec{i} + \frac{d\dot{y}}{dt}.\vec{j} = \frac{d^2x}{dt^2}.\vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2}.\vec{j} = \ddot{x}(t).\vec{i} + \ddot{y}(t).\vec{j}$$

Remarque: *On se limitera à l'étude du mouvement du centre d'inertie G du système. La détermination de la trajectoire de G, de son vecteur vitesse instantanée et de son vecteur accélération instantanée peut se faire à partir des équations horaires.*

2- Différents types de mouvements

2-1- Mouvements rectilignes uniformes

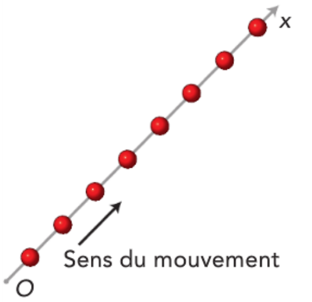
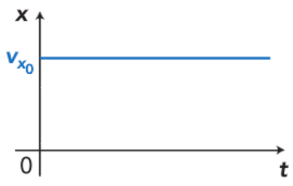
Dans un référentiel donné, le mouvement d'un système est rectiligne et uniforme lorsque la trajectoire est une portion de droite et la valeur de la vitesse est constante.



Dans un référentiel donnée, un système a un mouvement rectiligne uniforme si son vecteur vitesse $\vec{v}$ est constant (même direction, même sens et même valeur). Son vecteur accélération $\vec{a}$ est alors à chaque instant nul:

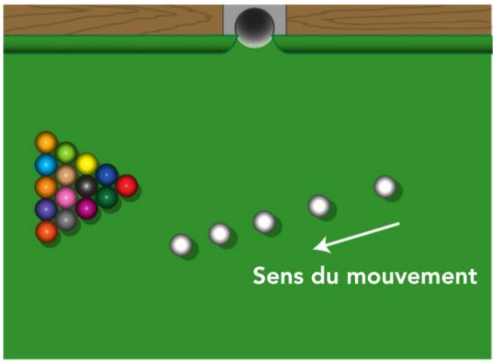
$$\vec{v}\ \text{constant} \Leftrightarrow \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{0}$$

Les graphiques suivants caractérisent un mouvement rectiligne et uniforme sur un axe Ox orienté dans le sens du mouvement.

Chronophotographie du mouvement sur un axe Ox	Représentation graphique de la coordonnée x(t) de la position	Représentation graphique de la coordonnée v_x (t) de la vitesse	Représentation graphique de la coordonnée a_x (t) de l'accélération
	 Équation de la représentation graphique : $x(t) = v_{x_0} \cdot t + x_0$	 Équation de la représentation graphique : $v_x(t) = v_{x_0}$	 Équation de la représentation graphique : $a_x(t) = 0$

2-2- Mouvements rectilignes uniformément variés

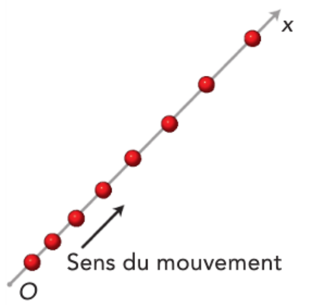
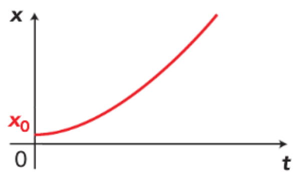
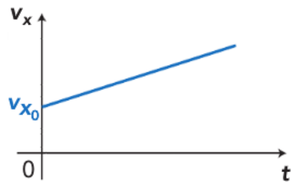
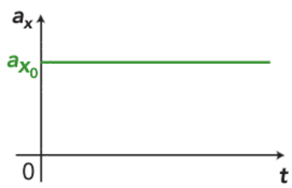
Dans un référentiel donné, le mouvement d'un système est rectiligne et uniformément varié lorsque sa trajectoire est une portion de droite et la valeur de son accélération est constante. La valeur de la vitesse est alors une fonction affine du temps.



Dans un référentiel donné, un système a un mouvement rectiligne uniformément varié si son vecteur accélération $\vec{a}$ est constant (même direction, même sens, même valeur).

Remarques: *Si le vecteur accélération est dans le même sens que le vecteur vitesse le mouvement sera accéléré. Si le vecteur accélération est dans le sens opposé au vecteur vitesse le mouvement sera ralenti (décéléré).*

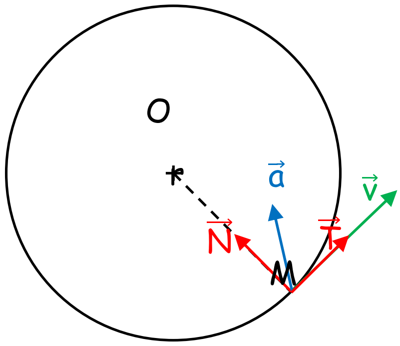
Les graphiques suivants caractérisent un mouvement rectiligne uniformément accéléré sur un axe Ox orienté dans le sens du mouvement.

Chronophotographie du mouvement rectiligne sur un axe Ox	Représentation graphique de la coordonnée x(t) de la position	Représentation graphique de la coordonnée v_x(t) de la vitesse	Représentation graphique de la coordonnée a_x(t) de l'accélération
	 Équation de la représentation graphique : $x(t) = \frac{1}{2} \cdot a_{x_0} \cdot t^2 + v_{x_0} \cdot t + x_0$	 Équation de la représentation graphique : $v_x(t) = a_{x_0} \cdot t + v_{x_0}$	 Équation de la représentation graphique : $a_x(t) = a_{x_0}$

2-3- Mouvements circulaires

Désignons par $\vec{v}$ le vecteur vitesse et $\vec{a}$ le vecteur accélération d'un mobile ponctuel décrivant une trajectoire circulaire.

Lors d'un mouvement circulaire, le vecteur vitesse $\vec{v}$ est toujours tangent à la trajectoire:



$$\vec{v}=v.\vec{T}$$

Le vecteur accélération $\vec{a}$, qui est toujours dirigée vers l'intérieur de la trajectoire, a une composante normale et une composante tangentielle, d'où la relation:

$$\vec{a} = a_T.\vec{T} + a_N.\vec{N}$$

La composante tangentielle a_T de l'accélération, qui peut être positive ou nulle, fait varier la valeur de la vitesse. Cette composante est donné par la relation:

$$a_T = \frac{dv}{dt}$$

La composante normale a_N de l'accélération, qui est positive, modifie la direction de la vitesse. Cette composante est donné par la relation:

$$a_N = \frac{v^2}{r}$$

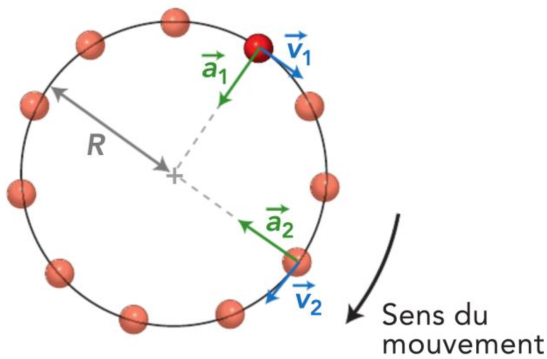
On écrira ainsi le vecteur accélération $\vec{a}$ sous la forme:

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}.\vec{T} + \frac{v^2}{r}.\vec{N}$$

2-4- Mouvements circulaires uniformes

Dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme, les valeurs v et a de la vitesse $\vec{v}$ et de l'accélération $\vec{a}$ sont constantes. On aura donc:

$$a_N = \frac{v^2}{r} \quad \text{et} \quad \frac{dv}{dt} = 0$$



Dans un référentiel donné, un système a un mouvement circulaire uniforme si sa trajectoire est une portion de cercle de rayon R et si la valeur v de sa vitesse $\vec{v}$ et la valeur a de son accélération $\vec{a}$ sont constantes:

$$v = cte \qquad \text{et} \qquad a = \frac{v^2}{R} = cte$$

Remarque: *Dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme, le vecteur accélération $\vec{a}$ est dit centripète car il est orienté vers le centre O de la trajectoire*

Si un point M est animé d'un mouvement circulaire uniforme, alors:

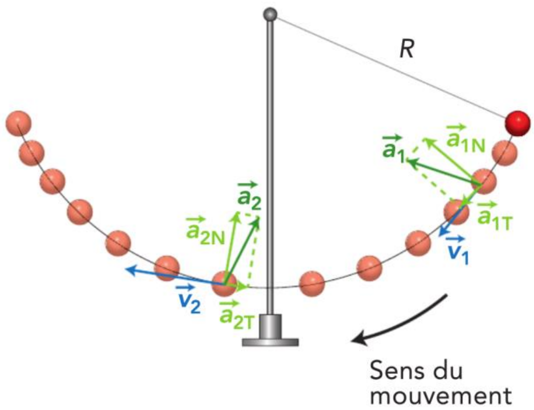
- Le vecteur vitesse $\vec{v} = v.\vec{T}$ est tangent au cercle.
- Le vecteur accélération $\vec{a} = a_N.\vec{N} = \frac{v^2}{r}.\vec{N}$ est centripète.

On dit que le mobile ponctuel M est soumis à une force centrale (ou radiale), c'est-à-dire constamment orientée vers le centre.

2-5- Mouvements circulaires non uniformes

Dans le cas d'un mouvement circulaire non uniforme, la valeur a de l'accélération n'est pas constante.

Dans un référentiel donné, un système a un mouvement circulaire non uniforme si sa trajectoire est une portion de cercle de rayon **R** et si la valeur **a** de son accélération n'est pas constante.



Le vecteur accélération $\vec{a}$ s'écrit alors:

$$\vec{a} = \vec{a_T} + \vec{a_N}$$

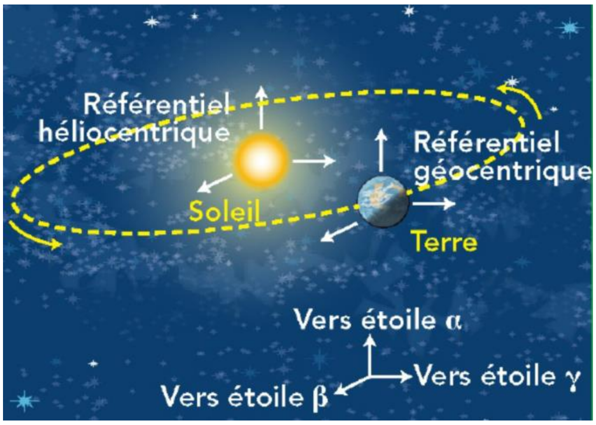
$\vec{a_N}$ est l'accélération normale: elle est centripète, de valeur $a_N = \frac{v^2}{r}$.

$\vec{a_T}$ est l'accélération tangentielle: elle est tangente à la trajectoire, orientée dans le sens du mouvement, de valeur $a_T = \frac{dv}{dt}$.

3- Les lois de Newton

3-1- Référentiels galiléens

Pour simplifier l'étude du mouvement d'un système, il faut utiliser un référentiel adapté.



Un référentiel dans lequel les lois de Newton sont vérifiées est dit galiléen.

Pour l'étude de mouvement simples et de courtes durées, on supposera que les référentiels terrestre, géocentrique et héliocentrique peuvent être considérés comme étant galiléens.

Le référentiel Galiléen absolument parfait n'existe pas.

Le référentiel Héliocentrique (solide formé par les centres, non coplanaires, du soleil et de trois autres étoiles) peut être considéré comme étant Galiléen pour étudier le mouvement des planètes autour du Soleil.

Le référentiel Géocentrique (solide formé par les centres, non coplanaires, de la Terre et de trois étoiles) est considéré comme étant Galiléen pour étudier le mouvement des satellites terrestres.

Le référentiel terrestre (référentiel du laboratoire, solide Terre) peut être considéré comme étant Galiléen pour les expériences dont la durée est courte par rapport au jour sidéral, ce qui est le cas de la plupart des expériences de mécanique réalisées sur Terre.

Tous les référentiels en mouvement de translation rectiligne et uniforme par rapport à un référentiel Galiléen sont eux-mêmes Galiléens.

3-2- Première loi de Newton - Principe d'inertie

Un référentiel Galiléen est un référentiel dans lequel le principe de l'inertie est vérifié.

Dans un référentiel galiléen, si un système n'est soumis à aucune force (système isolé) ou si la somme des forces extérieures qui s'exercent sur lui est nulle (système pseudo-isolé), alors son centre d'inertie est immobile ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme, et réciproquement:

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0} \quad \Leftrightarrow \quad \overrightarrow{V_G} = \overrightarrow{Cte}$$

On peut énoncer ce principe de multiples façons:

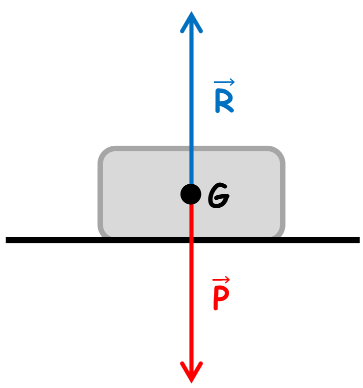
- Dans un référentiel Galiléen, si la somme $\sum \overrightarrow{F_{ext}}$ des forces extérieures appliquées à un solide est nulle alors le vecteur vitesse $\overrightarrow{V_G}$ du centre d'inertie de ce solide ne varie pas.
- Dans un référentiel Galiléen, si la somme des forces extérieures $\sum \overrightarrow{F_{ext}}$ appliquées à un solide est nulle alors le centre d'inertie de ce solide est soit au repos, soit en mouvement rectiligne uniforme.
- Dans un référentiel Galiléen, si le vecteur vitesse $\overrightarrow{V_G}$ du centre d'inertie d'un solide ne varie pas alors la somme des forces extérieures $\sum \overrightarrow{F_{ext}}$ appliquées au solide est nulle.
- Si, dans un référentiel Galiléen, le centre d'inertie d'un solide est soit au repos, soit en mouvement rectiligne uniforme, alors la somme vectorielle des forces extérieures $\sum \overrightarrow{F_{ext}}$ appliquées à ce solide est nulle.

Contrairement à ce que croyaient les anciens, un solide peut donc se déplacer bien que la somme des forces appliquées à ce solide soit nulle. La véritable opposition n'est pas entre mouvement et repos mais entre mouvement rectiligne uniforme (le repos n'est qu'un cas particulier) et les autres types de mouvement. C'est un des mérites de Newton d'avoir bien compris cela.

Comme cela a été rappelé, un référentiel est un solide déterminé par la donnée de quatre points non coplanaires. On prend souvent un solide très concret comme une table d'expériences (référentiel du laboratoire).

On peut également être amené à prendre un "solide" moins concret; c'est ce que l'on fait en particulier quand on choisit le référentiel de Copernic, solide construit à partir du centre du système solaire et de trois étoiles.

Considérons le mouvement du centre d'inertie d'un solide pseudo-isolé dans un référentiel Galiléen (le référentiel spatial solide Terre) et lançons sur une table à coussin d'air horizontale un palet autoporteur muni d'un éclateur axial.

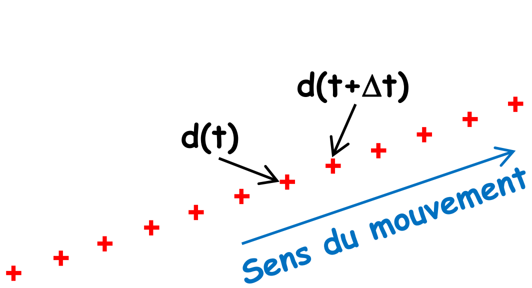


Les frottements étant nuls, les deux seules forces agissant sur le palet sont:
- Le poids $\vec{P}$ (essentiellement action gravitationnelle de la Terre sur le mobile).
- La force de réaction $\vec{R}$ (action verticale de la table sur le mobile).

En l'absence de frottement, la somme des forces agissant sur le mobile est nulle:

$$\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$$

L'éclateur laisse sur le papier une trace concrétisant la trajectoire du centre d'inertie, située juste au-dessus de l'éclateur.



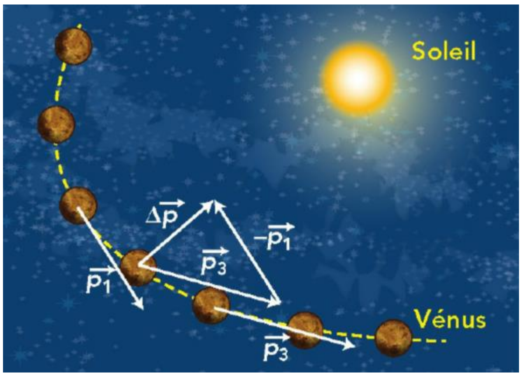
La distance **d** parcourue pendant des intervalles de temps **Δt** identiques reste constante: le mouvement est rectiligne uniforme.

Remarque: *Lorsqu'un système est isolé ou pseudo-isolé, sa vitesse est constante, donc sa quantité de mouvement se conserve puisque* $\vec{p}=m.\vec{v}$*.*

3-3- Deuxième loi de Newton - Principe fondamental de la dynamique

Il est facile de constater, dans le référentiel terrestre supposé Galiléen, qu'une force peut ralentir ou accélérer le mouvement d'un solide.

La direction de la vitesse de Vénus varie au cours du temps. Il en résulte donc que sa quantité de mouvement varie aussi. Cela s'explique par la seconde loi de Newton.



La deuxième loi de Newton est précisée grâce à l'introduction du vecteur quantité de mouvement $\vec{p}=m.\vec{v}$ du centre d'inertie du solide étudié.

Dans un référentiel Galiléen, la somme $\sum\overrightarrow{F_{ext}}$ des forces extérieures s'appliquant sur un système à l'instant t est égale à la dérivée par rapport au temps de la quantité de mouvement $\vec{p}=m.\vec{v}$ du centre d'inertie G de ce système à cet instant.

$$\sum\overrightarrow{F_{ext}} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Si le système conserve une masse constante au cours du temps, cette loi peut également s'écrire:

$$\sum\overrightarrow{F_{ext}} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m.\frac{d\vec{v}}{dt} = m.\vec{a_G}$$

Dans un repère orthonormé $(O;\vec{i},\ \vec{j})$, le vecteur quantité de mouvement $\vec{p}=m.\vec{v}$ s'exprime par ses coordonnées:

$$\vec{p} = p_x.\vec{i} + p_y.\vec{j}$$

et la seconde loi de Newton permet d'écrire:

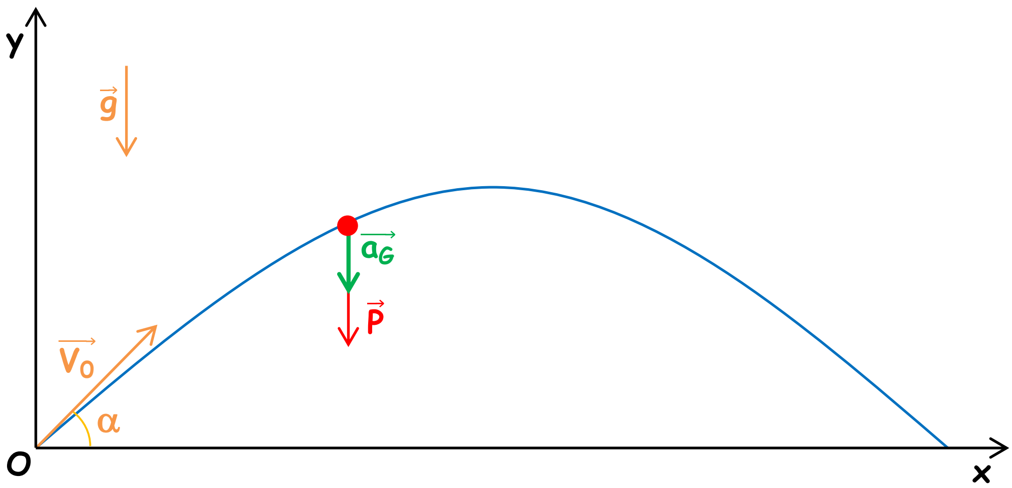
$$F_x = \frac{dp_x}{dt} \quad \text{et} \quad F_{xy} = \frac{dp_y}{dt}$$

F_x et F_y sont les coordonnées de la somme des forces extérieures qui s'exercent sur le système.

Lorsqu'on lance une balle dans un plan vertical avec une vitesse initiale $\vec{V_0}$ faisant un angle α avec l'horizontal, elle est soumise à son poids $\vec{P}$, à la poussée d'Archimède $\vec{\Pi_A}$ et à des forces de frottement $\vec{f}$.

On aura alors:

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{P} + \overrightarrow{\Pi_A} + \vec{f} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m.\overrightarrow{a_G}$$



Dans le cas où on néglige la poussée d'Archimède $\overrightarrow{\Pi_A}$ et les forces de frottement $\vec{f}$ par rapport au poids $\vec{P}$, le vecteur accélération $\overrightarrow{a_G}$ du centre d'inertie G correspond à l'accélération de la pesanteur $\vec{g}$:

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{g} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m.\overrightarrow{a_G}$$

Remarque: *Si* $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0}$ *alors* $\overrightarrow{a_G} = \vec{0}$ *et par conséquent* $\overrightarrow{V_G}$ *reste constant en direction, sens et norme (on retrouve la première loi de Newton).*

3-4- Troisième loi de Newton - Principe des actions réciproques

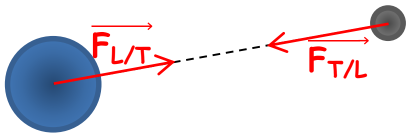
On dit que deux corps A et B sont en interaction si l'état de mouvement ou de repos de l'un (corps A) dépend de l'existence de l'autre (corps B).

Une interaction entre deux corps A et B suppose toujours deux actions réciproques: celle de A sur B et celle de B sur A.

Lorsqu'un corps A exerce sur un corps B une action mécanique modélisée par la force $\overrightarrow{F_{A/B}}$, alors le corps B exerce sur le corps A l'action mécanique modélisée par la force $\overrightarrow{F_{B/A}}$. Que les corps A et B soient au repos ou en mouvement, les deux forces $\overrightarrow{F_{A/B}}$ et $\overrightarrow{F_{B/A}}$ sont toujours égales et opposées.

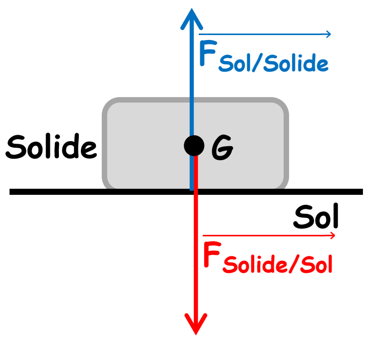
$$\overrightarrow{F_{B/A}} = -\overrightarrow{F_{A/B}}$$

La Terre attire la Lune avec une force $\overrightarrow{F_{T/L}}$. Réciproquement, la Lune attire la Terre avec une force $\overrightarrow{F_{L/T}}$ égale et opposée à $\overrightarrow{F_{T/L}}$:



$$\overrightarrow{F_{L/T}} = -\overrightarrow{F_{T/L}}$$

Un solide, immobile par rapport à la Terre, appuie sur le sol horizontal avec une force $\overrightarrow{F_{Solide/Sol}}$. Et réciproquement, le sol soutient le solide, avec une force $\overrightarrow{F_{Sol/Solide}}$, telle que:

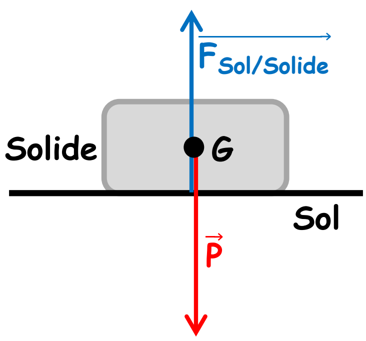


$$\overrightarrow{F_{Sol/Solide}} = -\overrightarrow{F_{Solide/Sol}}$$

Le vecteur $\overrightarrow{F_{Solide/Sol}}$ est différent du vecteur poids $\vec{P}$ du solide (leur point d'application, notamment, est différent).

Le vecteur $\vec{P}$ existe même en l'absence du sol. Si on confond le poids $\vec{P}$ appliqué au centre de gravité ***G*** avec la force de Newton exercée par la Terre sur le solide, l'action réciproque représentant l'action du solide sur la Terre serait appliquée au centre de la Terre.

Sur le solide S s'exercent deux forces extérieures: le poids $\vec{P}$ et la force $\overrightarrow{F_{Sol/Solide}}$.



Comme le solide est au repos dans le référentiel terrestre, on peut, d'après le principe de l'inertie, écrire:

$$\vec{P} + \overrightarrow{F_{Sol/Solide}} = \vec{0}$$

3-5- Propulsion par réaction

Dans le cas ou le système garde une masse constante on dit que le système est fermé. Dans le cas contraire il s'agit d'un système ouvert.

Une fusée éjecte des gaz, le système fusée est ouvert. Par contre le système gaz/fusée est fermé.

Considérons 2 palets reliés par un ressort. Il sont posés sur une table à coussin d'air qui annule les frottements. Le système palet 1 / palet 2 est soumis à des forces extérieures qui se compensent. La somme des forces qui s'exercent sur le système est nulle:

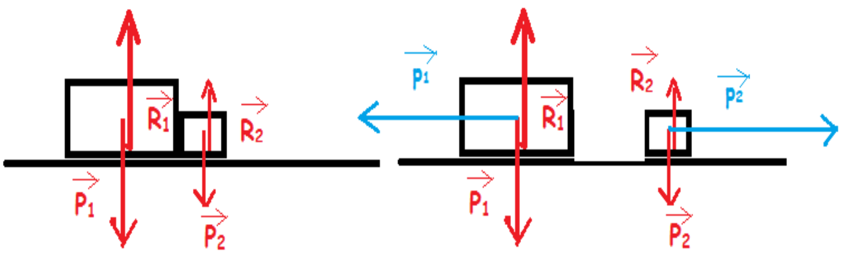
$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{R_1} + \overrightarrow{R_2} + \overrightarrow{P_1} + \overrightarrow{P_1}$$

A l'instant initial t= 0 la quantité de mouvement du système est nulle puisque le système est au repos $\overrightarrow{p_i} = \vec{0}$.

A l'instant t+dt le ressort est libéré, le système se sépare en deux sous-systèmes dont les vecteurs quantités de mouvement sont opposés en effet:

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{\overrightarrow{p(t+\Delta t)} - \overrightarrow{p_i}}{dt}$$

$$\overrightarrow{p(t+\Delta t)} = \overrightarrow{p_1} + \overrightarrow{p_2} = \vec{0} \Rightarrow \overrightarrow{p_2} = -\overrightarrow{p_1}$$



avant séparation des 2 sous systèmes $\overrightarrow{p_i} = \vec{0}$

après séparation des 2 sous systèmes $\overrightarrow{p_f} = \vec{0}$

Lorsqu'une fusée expulse du gaz, la quantité de mouvement du gaz est l'opposé à la quantité de mouvement de la fusée, ce qui explique le principe de la propulsion par réaction.

La conservation de la quantité de mouvement d'un système fermé permet d'expliquer la propulsion par réaction.