TEMPS ET MECANIQUE NEWTONIENNE

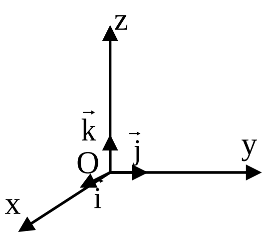
	Extraire et exploiter des informations relatives à la mesure du temps pour justifier l'évolution de la définition de la seconde.
Temps, cinématique et dynamique newtoniennes Description du mouvement d'un point au cours du temps : vecteurs position, vitesse et accélération.	Choisir un référentiel d'étude. Définir et reconnaître des mouvements (rectiligne uniforme, rectiligne uniformément varié, circulaire uniforme, circulaire non uniforme) et donner dans chaque cas les caractéristiques du vecteur accélération.
Référentiel galiléen Lois de Newton : principe d'inertie, $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ et principe des actions réciproques.	Définir la quantité de mouvement p d'un point matériel. Connaître et exploiter les trois lois de Newton ; les mettre en œuvre pour étudier des mouvements dans des champs de pesanteur et électrostatique uniformes. *Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour étudier un mouvement.*
Conservation de la quantité de mouvement d'un système isolé.	*Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour interpréter un mode de propulsion par réaction à l'aide d'un bilan qualitatif de quantité de mouvement.*
Mouvement d'un satellite. Révolution de la Terre autour du Soleil.	Démontrer que, dans l'approximation des trajectoires circulaires, le mouvement d'un satellite, d'une planète, est uniforme. Établir l'expression de sa vitesse et de sa période.
Lois de Kepler.	Connaître les trois lois de Kepler ; exploiter la troisième dans le cas d'un mouvement circulaire.

I- Description du mouvement

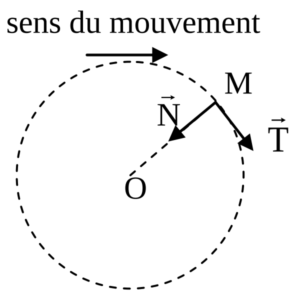
1. Système et référentiel :

1.1. Système mécanique : c'est un objet ou un ensemble d'objets considérés du point de vue de leur mouvement et des forces qu'ils subissent.
1.2. Référentiel : c'est un solide servant de référence pour décrire le mouvement d'un corps.
1.3. Référentiel galiléen : c'est un référentiel dans lequel le centre d'inertie d'un solide pseudo-isolé (soumis à des forces qui se compensent) a un mouvement rectiligne uniforme.
Exemple : * le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléen pour des mouvements de courte durée par rapport à la durée de rotation de la Terre sur elle-même (1 jour).
* le référentiel géocentrique peut être considéré comme galiléen pour des mouvements de courte durée par rapport à la durée de rotation de la Terre autour du Soleil (1 an).
1.4. Repères d'espace et de temps : pour décrire le mouvement d'un corps, il faut se donner un repère d'espace $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ lié à un référentiel et un repère de temps donnant la date.

Exemple : repère cartésien $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$



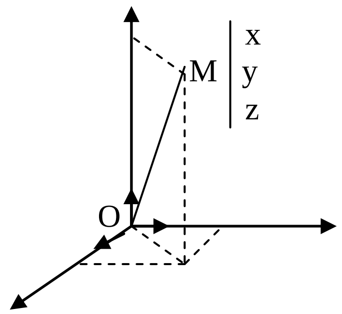
repère de Frenet (lié à un point mobile M(t) lors d'un mouvement circulaire) : $(M, \vec{T}, \vec{N})$
$\vec{T}$ tangent au cercle en M ; $\vec{N}$ radial et centripète



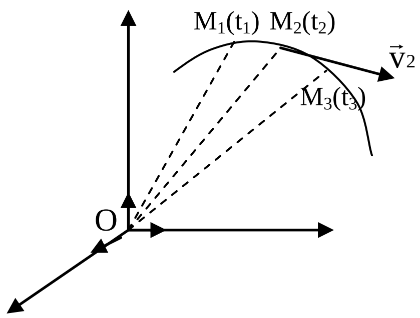
2. Vecteur position :

Dans repère cartésien $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, $\vec{OM}(t) = x(t)\,\vec{i} + y(t)\,\vec{j} + z(t)\,\vec{k}$

écrit plus simplement $\vec{OM} = x\,\vec{i} + y\,\vec{j} + z\,\vec{k}$



3. Vecteur vitesse $\vec{v}$ d'un point mobile M :



entre les dates t_1 et t_3, $\vec{v}_{2\,moy} = \dfrac{\overrightarrow{M_1M_3}}{t_3 - t_1} = \dfrac{\vec{OM}_3 - \vec{OM}_1}{t_3 - t_1} = \dfrac{\Delta \vec{OM}_2}{\Delta t}$

à la date t_2, vitesse instantanée $\vec{v}_2 = \lim_{(\Delta t \to 0)} \dfrac{\Delta \vec{OM}_2}{\Delta t} = \dfrac{d\vec{OM}_2}{dt}$

Dans un référentiel donné, le vecteur vitesse d'un point M, à un instant donné, est la dérivée par rapport au temps du vecteur position $\vec{OM}$.

$$\boxed{\vec{v} = \frac{d\vec{OM}}{dt}} \qquad v \text{ en m.s}^{-1}$$

Dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, $\vec{v} = \dfrac{dx}{dt}\,\vec{i} + \dfrac{dy}{dt}\,\vec{j} + \dfrac{dz}{dt}\,\vec{k}$

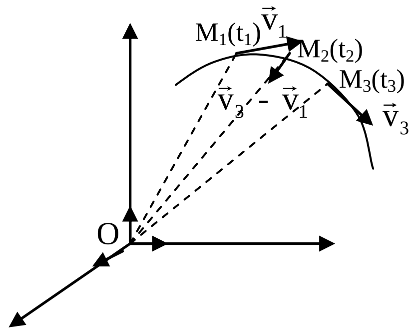
<u>Remarque</u> : Le vecteur vitesse d'un point M est tangent à la courbe au point M et dans le sens du mouvement.

4. Vecteur accélération $\vec{a}$ d'un point mobile M :

L'accélération d'un point mobile M est définit comme le taux de variation de la vitesse au cours du temps :

entre les dates t_1 et t_3, $\vec{a}_{2\,moy} = \dfrac{\vec{v}_3 - \vec{v}_1}{t_3 - t_1} = \dfrac{\Delta \vec{v}_2}{\Delta t}$

à la date t_2, accélération instantanée $\vec{a}_2 = \lim_{(\Delta t \to 0)} \dfrac{\Delta \vec{v}_2}{\Delta t} = \dfrac{d\vec{v}_2}{dt}$



Dans un référentiel donné, le vecteur accélération d'un point M, à un instant donné, est la dérivée par rapport au temps du vecteur vitesse $\vec{v}$.

$$\boxed{\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}} \qquad a \text{ en m.s}^{-2}$$

Dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, $\vec{v} = \dfrac{dv_x}{dt}\,\vec{i} + \dfrac{dv_y}{dt}\,\vec{j} + \dfrac{dv_z}{dt}\,\vec{k} = \dfrac{d^2x}{dt^2}\,\vec{i} + \dfrac{d^2y}{dt^2}\,\vec{j} + \dfrac{d^2z}{dt^2}\,\vec{k}$

5. Vecteur quantité de mouvement $\vec{p}$ d'un point mobile M :

Dans un référentiel donné, le vecteur quantité de mouvement $\vec{p}$ d'un point M, à un instant donné, est égal au produit de sa masse par son vecteur vitesse : $\boxed{\vec{p} = m\,\vec{v}}$ p en kg.m.s^{-1} ; m en kg ; v en m.s^{-1}

II- Etude de quelques mouvements

1. Mouvement rectiligne : Le mouvement est rectiligne lorsque la trajectoire est une droite.

1.1. Mouvement rectiligne uniforme : la vitesse est constante et l'accélération est nulle

1.2. Mouvement rectiligne uniformément varié : la vitesse varie et l'accélération est constante
* Le mouvement est accéléré si le vecteur accélération est dans le sens du mouvement.
* Le mouvement est ralenti si le vecteur accélération est dans le sens opposé au mouvement.

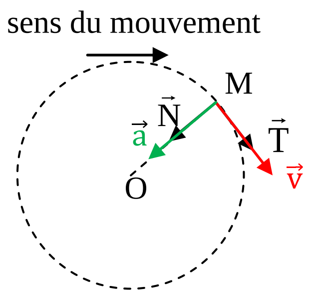
2. Mouvement circulaire : Le mouvement est circulaire lorsque la trajectoire est un cercle.

2.1. Mouvement circulaire uniforme :

Dans le repère de Frenet : * $\vec{v} = v\,.\vec{T}$ avec v constant

* $\vec{a} = \frac{v^2}{R}\,.\vec{N}$ (R rayon du cercle)

L'accélération est radiale et centripète

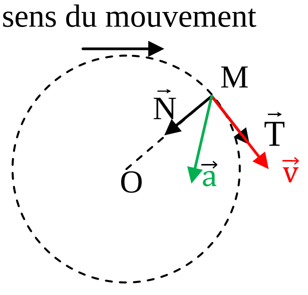


2.2. Mouvement circulaire non uniforme :

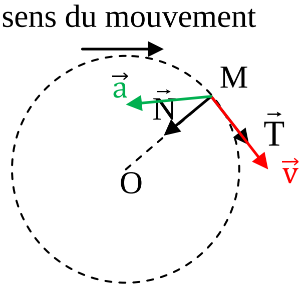
Dans le repère de Frenet : * $\vec{v} = v\,.\vec{T}$ avec v non constant

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

* Mouvement circulaire uniformément accéléré



* Mouvement circulaire uniformément ralenti



3. Etude de mouvements_cinématique (activité A14)

III- Lois de Newton :

1. Activité sur les lois de Newton (A15): p 130

2. 1ère loi de Newton : Dans un référentiel galiléen, lorsqu'un système est isolé (aucune force) ou pseudo isolé (soumis à des forces qui se compensent), le vecteur vitesse de son centre d'inertie G ou le vecteur quantité de mouvement ne varie pas, et réciproquement:

$$\boxed{\Sigma\, \vec{F}_{ext} = \vec{0} \iff \Delta\, \vec{v}_G = \vec{0} \text{ ou } \Delta\, \vec{p} = \vec{0}}$$

Conséquences: $\Sigma\, \vec{F}_{ext} = \vec{0} \iff$
* soit $v_G = 0$ ou $p = 0$: le solide est immobile
* soit v_G ou p = constante $\neq 0$: le solide est animé d'un mouvement rectiligne uniforme (on dit que la quantité de mouvement se conserve)

3. 2ème loi de Newton : Dans un référentiel galiléen, la résultante des forces extérieures qui s'exercent sur un système n'est pas nulle et est égale à la dérivée de son vecteur quantité de mouvement par rapport au temps.

$$\boxed{\Sigma\ \vec{F}_{ext} = \frac{d\ \vec{p}}{dt} \neq \vec{0} \implies \Sigma\ \vec{F}_{ext} = m\frac{d\ \vec{v}}{dt} = m\ \vec{a}\ \text{, avec m constant}}$$

F (N) ; m (kg) ; a ($m.s^{-2}$)

4. 3ème loi de Newton : Lorsqu'un système A exerce sur un système B une force $\vec{F}_{A/B}$, alors le système B exerce sur le système A une force $\vec{F}_{B/A}$ telle que :

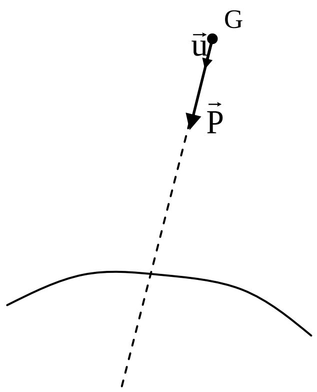
$\vec{F}_{A/B} = -\ \vec{F}_{B/A}$
et
$\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ ont même direction

5. Etude de mouvements_dynamique (activité A14)

6. Propulsion par réaction : TP12

IV- Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme

1. Champ de pesanteur :



$\vec{P} = m\ g\ \vec{u} = m\ \vec{g} \longleftarrow$ vecteur champ de pesanteur

En tout point de l'espace situé au voisinage de la Terre existe un champ de pesanteur caractérisé par le vecteur $\vec{g}$.

Caractéristiques de $\vec{g}$
- * direction : verticale du lieu
- * sens : vers le centre de la Terre
- * valeur : dépend du lieu considéré (à Paris, g = 9,81 $m.s^{-2}$)

Dans toute région de l'espace où $\vec{g}$ est constant en direction, sens et valeur, le champ de pesanteur est dit uniforme .

2. Mouvement de projectiles dans un champ de pesanteur uniforme :

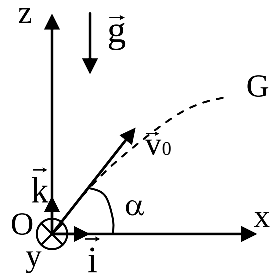
2.1. Etude du mouvement: Système : projectile
Référentiel terrestre considéré comme galiléen
Bilan des forces s'exerçant sur le système : seul le poids agit (la poussée d'Archimède et les frottements dus à l'air sont négligeables devant le poids) : c'est le cas de la chute libre.

D'après la 2ème loi de Newton :

$$\left.\begin{array}{l}\Sigma\ \vec{F}_{ext} = m.\ \vec{a}\\ \Sigma\ \vec{F}_{ext} = \vec{P} = m\ \vec{g}\end{array}\right|\quad \vec{a} = \vec{g} \implies$$ le vecteur accélération est égale au vecteur champ de pesanteur.

2.2. Equations horaires du mouvement : elles donnent, à chaque instant, la position et la vitesse du centre d'inertie du mobile dans le repère d'étude.
Soit le repère (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$)

A la date t = 0 : $\left\{\begin{array}{l}\text{le centre d'inertie G coïncide avec le point O}\\ \vec{v} = \vec{v}_0 \left| \begin{array}{l} v_0 \cos\alpha \\ 0 \\ v_0 \sin\alpha \end{array}\right.\end{array}\right.$



$$G \left| \begin{array}{l} x \\ y \\ z \end{array} \right.$$

$$\vec{a} \left| \begin{array}{l} a_x = \dfrac{dv_x}{dt} \\ a_y = \dfrac{dv_y}{dt} \\ a_z = \dfrac{dv_z}{dt} \end{array} \right. \qquad \vec{g} \left| \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ -g \end{array} \right. \qquad \text{donc} \quad \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{dv_x}{dt} = 0 \\ \dfrac{dv_y}{dt} = 0 \\ \dfrac{dv_z}{dt} = -g \end{array} \right.$$

$$\Longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} v_x = A \\ v_y = B \\ v_z = -g\,t + C \end{array} \right.$$

A, B, C sont des constantes dépendant des conditions initiales

$$\text{à } t = 0,\ \vec{v} = \vec{v}_0 \left| \begin{array}{l} v_0 \cos\alpha = A \\ 0 = B \\ v_0 \sin\alpha = C \end{array} \right. \Longrightarrow \boxed{\vec{v} \left| \begin{array}{l} v_x = v_0 \cos\alpha \\ v_y = 0 \\ v_z = -g\,t + v_0 \sin\alpha \end{array} \right.} \Longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{dx}{dt} = v_0 \cos\alpha \\ \dfrac{dy}{dt} = 0 \\ \dfrac{dz}{dt} = -g\,t + v_0 \sin\alpha \end{array} \right.$$

$$\Longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} x = v_0 \cos\alpha\ \ t + A' \\ y = B' \\ z = -\frac{1}{2} g\,t^2 + v_0 \sin\alpha\, t + C' \end{array} \right.$$

A', B', C' sont des constantes dépendant des conditions initiales

$$\text{à } t = 0,\ G \text{ en } O \Longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} A' = 0 \\ B' = 0 \\ C' = 0 \end{array} \right. \Longrightarrow \boxed{\vec{OG} \left| \begin{array}{l} x = v_0 \cos\alpha\ \ t \\ y = 0 \\ z = -\frac{1}{2} g\,t^2 + v_0 \sin\alpha\, t \end{array} \right.}$$

Conclusion : * $y = 0$: le mouvement du centre d'inertie s'effectue dans le plan xOz

* $v_x = v_0 \cos\alpha = \text{Cste}$, $v_z = -g\,t + v_0 \sin\alpha$: la chute libre d'un projectile peut s'interpréter comme la composition de 2 mouvements, l'un rectiligne uniforme selon l'axe horizontal Ox, l'autre uniformément varié selon l'axe vertical Oz.

2.3. Equation de la trajectoire:

$$\left. \begin{array}{l} x = v_0 \cos\alpha\ \ t \Longrightarrow t = \dfrac{x}{v_0 \cos\alpha} \\ z = -\frac{1}{2} g\,t^2 + v_0 \sin\alpha\, t \end{array} \right| \Longrightarrow z = -\frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_0 \cos\alpha} \right)^2 + v_0 \sin\alpha\, \frac{x}{v_0 \cos\alpha}$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{z = -\frac{1}{2}\, \frac{g}{v_0^2 \cos^2\alpha}\, x^2 + (\tan\alpha)\, x}$$

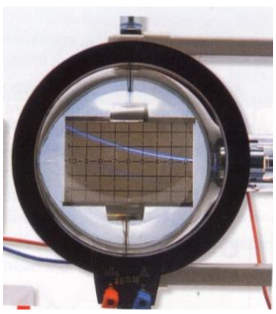
La trajectoire du centre d'inertie d'un projectile lancé avec une vitesse initiale de direction quelconque est une portion de parabole située dans le plan vertical contenant $\vec{v}_0$.

2.4. TP13

VI- Mouvement dans un champ électrique uniforme

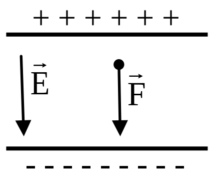
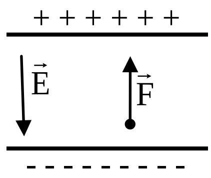
1. Mise en évidence :

1.1. Expérience : Déviation d'électrons dans un champ électrostatique :



1.2. Champ et force :

Une particule M de charge électrique q, placée dans un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$, est soumise à une force électrostatique $\vec{F} = q\vec{E}$

q > 0	q < 0
	

Exercice d'application : n° 20 p 176

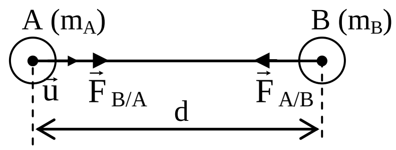
2. Etude du canon à électron:

Exercice n°17 p 174

VII- Mouvement des planètes et des satellites

1. Les lois de Kepler : (A16)

2. Loi de la gravitation universelle : loi énoncée par Newton en 1687.



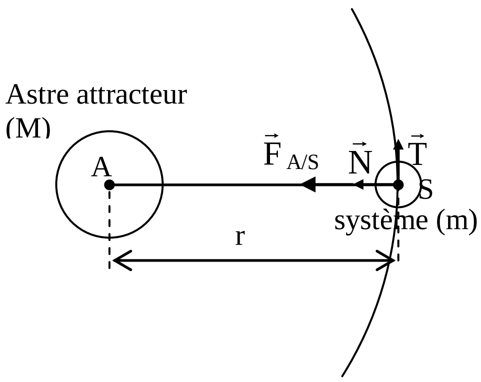
(A) et (B) sont 2 corps dont la répartition des masses est à symétrie sphérique et la distance grande devant leur taille.
Ces 2 corps exercent l'un sur l'autre des forces attractives appelées forces d'interaction gravitationnelles telles que :

$$\boxed{\vec{F}_{A/B} = - \vec{F}_{B/A} = - \frac{G\, m_A\, m_B}{d^2}}$$

avec $G = 6{,}67.10^{-11}$ $N.m^2.kg^{-2}$
m_A et m_B en kg
d (m)

3. Etude du mouvement des planètes autour du Soleil et des satellites autour de la Terre:

* Référentiel héliocentrique pour les planètes ou géocentrique pour les satellites considéré comme galiléen.
* Système S: planète ou satellite
* Bilan des forces : attraction gravitationnelle $\vec{F}_{A/S}$ exercée par l'astre attracteur A sur le système S.



Dans le repère mobile de Frenet $(P, \vec{T}, \vec{N})$, $\vec{F}_{A/S} = \frac{G\ M\ m}{r^2}\vec{N}$

$2^{ème}$ loi de Newton: $\Sigma \vec{F}ext = \vec{F}_{A/S} \Longrightarrow \frac{G\ M\ m}{r^2}\vec{N} = m\ \vec{a}$

$\Longrightarrow \vec{a} = \frac{G\ M}{r^2}\vec{N}$

Dans le référentiel galiléen, le vecteur accélération du centre d'inertie du système est indépendant de sa masse ; il est radial et centripète.

On fait l'approximation que le mouvement orbital d'une planète ou d'un satellite est un mouvement circulaire uniforme.

Or dans un mouvement circulaire uniforme, $\vec{a} = \frac{v^2}{r}\vec{N}$, v étant la vitesse du système

Dans le référentiel galiléen, la vitesse du centre d'inertie d'une planète ou d'un satellite est telle que :

$\frac{v^2}{r} = \frac{G\ M}{r^2}$ soit $\boxed{v = \sqrt{\frac{G\ M}{r}}}$ avec $G = 6{,}67.10^{-11}$ $N.m^2.kg^{-2}$; M (kg) ; r (m) et v ($m.s^{-1}$).

Période de révolution d'une planète ou d'un satellite:

C'est la durée pour accomplir un tour sur son orbite $\boxed{T = \dfrac{2\pi r}{v} = 2\,\pi\sqrt{\dfrac{r^3}{G\,M}}}$ avec T (s)

Remarques : * v et T sont indépendants de la masse de la planète ou du satellite.

* $T^2 = 4\,\pi^2\,\dfrac{r^3}{G\,M} \Longrightarrow \dfrac{T^2}{r^3} = \dfrac{4\,\pi^2}{G\,M} = C^{ste} \Longrightarrow$ c'est la 3ème loi de Képler