PHYSIQUE

LOIS DE NEWTON

Problématique :

- Quelles lois permettent de décrire le mouvement des objets ?
- Quelle relation existe-t-il entre force et accélération ?
- Qu'est-ce qu'une accélération ?

I) Vecteur vitesse instantanée et vecteur accélération instantanée :

1) Rappelle :

On appelle *REFERENTIEL* un objet par rapport auquel on étudie un on étudie un mouvement.

LE VECTEUR DE POSITION : tout objet ponctuel M dans l'espace, est repéré par trois coordonnées x, y, z, fonction du temps t, dans le repère orthonormé $\left(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k}\right)$ associé au référentiel.

On définit alors le vecteur position $\overrightarrow{OG}$ et la distance OG par :

$$\overrightarrow{OG} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}\ ;\ OG(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t) + z^2(t)}$$

Les fonctions x(t), y(t) et z(t) sont appelées équations horaires du mouvement du point M.

La courbe décrite par M en fonction du temps est appelée ***TRAJECTOIRE*** du point M

Exemple : Un point M a pour équations horaires dans le référentiel terrestre :

$x(t) = t + 1$; $y(t) = 3t - 2$ et $z(t) = 2$.

a) Décrire la trajectoire du point M

b) Déterminer la distance OM à la date t = 3 s

Réponse :

a) La trajectoire du point M est donc une droite d'équation $y = 3x - 5$ dans le plan d'altitude 2 : $y = 3x - 5$; $z = 2$.

b) la distance OM à la date t = 3 s :

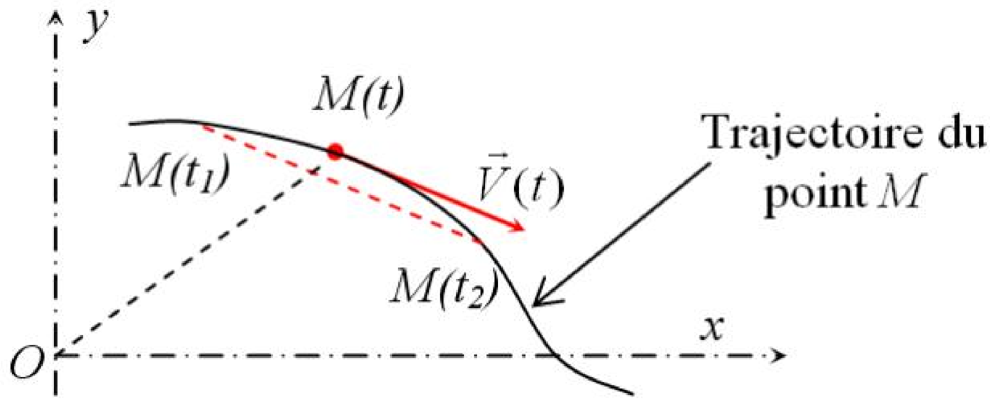
$$OM = \sqrt{4^2 + 7^2 + 2^2} \simeq 8{,}31\ m$$

2) Vecteur vitesse instantanée :

Voir Animation N°1

Le vecteur vitesse, au point G, est un vecteur tangent à la trajectoire au point M.

$$\vec{V}_G(t) = \vec{V}i = \frac{\overrightarrow{M_{i+1}M_{i-1}}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$



Le vecteur vitesse peut s'écrire comme la dérivée du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ en fonction du temps :

$$\vec{V}_G = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt} \quad \text{soit} \quad \vec{V}_G = \frac{dx(t)}{dt}\vec{i} + \frac{dy(t)}{dt}\vec{j} + \frac{dz(t)}{dt}\vec{k}$$

$$V_x(t) = \frac{dx(t)}{dt} \;;\; V_y(t) = \frac{dy(t)}{dt} \;;\; V_z(t) = \frac{dz(t)}{dt} \quad \text{et} \quad V = \sqrt{V_x{}^2 + V_y{}^2 + V_z{}^2}$$

Unité : mètre/seconde symbole $m.s^{-1}$.

Exemple :

Un point M a pour équations horaires dans le référentiel terrestre :

$x(t) = 2t^2 - 3t + 1$, $y(t) = 3t - 2$ et $z(t) = 2$.

a) Calculer les coordonnées du vecteur vitesse au cours du temps.

b) Déterminer la vitesse du point M à l'instant t = 5 s.

Réponse :

a) Calculer les coordonnées du vecteur vitesse :

$$\vec{V} = (4t - 3)\vec{i} + 3\vec{j} + 0\vec{k} \quad \text{ou} \quad \vec{V} = (4t - 3 \,;\, 3 \,;\, 0)$$

b) La vitesse du point M à l'instant t = 5 s :

$$V = \sqrt{17^2 + 3^2 + 0^2} \cong 17,26 m.s^{-1}$$

3) Vecteur accélération :

D'une façon analogue au vecteur vitesse $\vec{V}$, on définit le vecteur accélération $\vec{a}$ comme la dérivée du vecteur vitesse en fonction du temps :

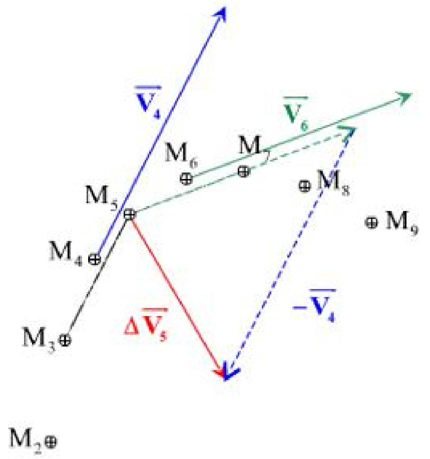
$$\vec{a}_G = \frac{d\vec{V}_G}{dt}$$

Unité : mètre/seconde symbole $m.s^{-2}$.

4) Calculer et représenter le vecteur accélération instantanée : *Voir Animation N°2*

Pour représenter le vecteur $\vec{a}_5$: $\vec{a}_5 = \dfrac{\vec{V}_6 - \vec{V}_4}{t_6 - t_4} = \dfrac{\Delta\vec{V}_5}{t_6 - t_4}$, on respecte les étapes suivantes :

- Tracer les vecteurs vitesses $\vec{V}_4$ et $\vec{V}_6$.
- Au point M_5, reconstruire le vecteur $\vec{V}_6$
- Construire le vecteur $-\vec{V}_4$ depuis l'extrémité du vecteur $\vec{V}_6$ reconstruit juste avant.
- Le vecteur $\Delta\vec{V}_5$ est le vecteur qui joint l'origine de $\vec{V}_6$ à l'extrémité du vecteur $-\vec{V}_4$



5) Coordonnées du vecteur accélération :

5-1/ Coordonnées du vecteur accélération dans un repère cartésien :

Dans le repère orthonormé $(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$, le vecteur position $\overrightarrow{OG} = x_G(t)\vec{i} + y_G(t)\vec{j} + z_G(t)\vec{k}$

$$\vec{V}_G = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt} \quad \text{soit} \quad \vec{V}_G = \frac{dx(t)}{dt}\vec{i} + \frac{dy(t)}{dt}\vec{j} + \frac{dz(t)}{dt}\vec{k} = \dot{x}(t)\vec{i} + \dot{y}(t)\vec{j} + \dot{z}(t)\vec{k}$$

$$\vec{a}_G = \frac{d\vec{V}_G}{dt} = \frac{d^2\overrightarrow{OG}}{dt^2} \quad \text{soit} \quad \vec{a}_G = \frac{dVG(t)}{dt} = \frac{dVx(t)}{dt}\vec{i} + \frac{dVy(t)}{dt}\vec{j} + \frac{dVz(t)}{dt}\vec{k} = \ddot{x}(t)\vec{i} + \ddot{y}(t)\vec{j} + \ddot{z}(t)\vec{k}$$

$$\vec{a}_G = a_x.\vec{i} + a_y.\vec{j} + a_z.\vec{k} \text{ et } a_G = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Exemple :

Un point M a pour équations horaires dans le référentiel terrestre :

$x(t) = 2t^2 - 3t + 1$, $y(t) = 3t - 2$ et $z(t) = 2$.

Déterminer la l'accélération du point M à l'instant t = 2 s

Coordonnées de vecteur		
Position $\overrightarrow{OG}$	*Vitesse* $\vec{V}_G = \dfrac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$	*accélération* $\vec{a}_G = \dfrac{d\vec{V}_G}{dt} = \dfrac{d^2\overrightarrow{OG}}{dt^2}$
$x(t)$	$V_x(t) = \dfrac{dx(t)}{dt}$	$a_x(t) = \dfrac{dVx(t)}{dt} = \ddot{x}(t)$
$y(t)$	$V_y(t) = \dfrac{dy(t)}{dt}$	$a_y(t) = \dfrac{dVy(t)}{dt} = \ddot{y}(t)$
$z(t)$	$V_z(t) = \dfrac{dz(t)}{dt}$	$a_z(t) = \dfrac{dVz(t)}{dt} = \ddot{z}(t)$

P H Y S I Q U E

II) Vecteur vitesse instantanée et vecteur accélération instantanée :

1. La première loi de Newton : principe de l'inertie.

Dans les référentiels, appelés référentiels Galiléens, si la somme des forces extérieures appliquées à un solide est nulle alors le centre d'inertie de ce solide est soit au repos, soit en mouvement rectiligne uniforme, et réciproquement.

$$\vec{V}_G = \vec{C}^{te} \Leftrightarrow \sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$$

$$\mathrm{M.R.U} \Leftrightarrow \text{Solide pseudo - isolé}$$

2. La deuxième loi de Newton : principe fondamental de la dynamique

Dans un référentiel Galiléen, la somme des forces extérieures appliquées à un solide égale au produit de la masse m du solide par l'accélération $\vec{a}_G$ de son centre d'inertie :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m \times \vec{a}_G$$

Remarque :

La première et la deuxième loi de Newton s'applique qu'au centre d'inertie.

3. La troisième loi de Newton : loi des actions réciproques.

Lorsque qu'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 $\vec{F}_{B/A}$. Que les corps A et B soient au repos ou en mouvement les deux forces sont sur la même droite d'action, de même intensité et opposées l'une à l'autre :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} \quad \text{soit} \quad F_{A/B} = F_{B/A}$$

III) Quelques mouvements classiques:

1) Le mouvement rectiligne uniforme

On appelle mouvement rectiligne uniforme un mouvement dans lequel le mobile se déplace sur une droite à vitesse constante.

Si le mobile M(x(t); 0; 0) se déplace sur l'axe Ox, on a alors le schéma suivant :

Le vecteur vitesse est alors constant : $\vec{V} = \vec{C}^{te}$ car sa norme et son sens sont constants (trajectoire rectiligne). Le vecteur accélération $\vec{a}$ est donc nul $\vec{a} = \vec{0}$. Si à t = 0 le mobile se trouve à l'abscisse x_0 et en appelant v l'intensité de la vitesse, on obtient l'équation horaire suivante :

$$x(t) = V \times t + x_0$$

C'est l'équation horaire du mouvement rectiligne uniforme

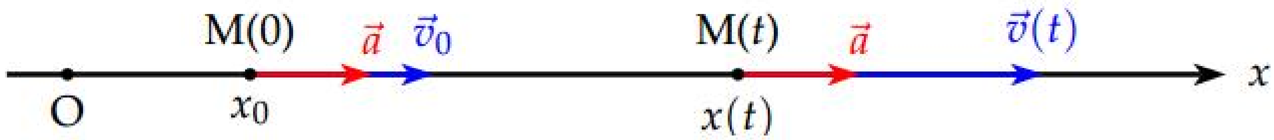
2) Le mouvement uniformément varié

On appelle mouvement rectiligne uniformément varié un mouvement dans lequel le mobile se déplace sur une droite avec une accélération constante.

Deux cas peuvent se présenter :

- L'accélération et la vitesse ont le même sens : $\vec{a}.\vec{V} > 0$ donc le mouvement est alors ***uniformément accéléré***
- L'accélération et la vitesse ont des sens contraires : $\vec{a}.\vec{V} < 0$ donc le mouvement est alors ***uniformément retardé***

Si le mobile M(x(t); 0; 0) se déplace sur l'axe Ox, on a alors le schéma suivant :



Le vecteur accélération est alors constant : $\vec{a} = \vec{C}^{te}$ car sa norme et son sens sont constants (trajectoire rectiligne).

Pour trouver l'équation horaire, il faut intégrer deux fois le vecteur accélération

$$a_x(t) = a \quad \Rightarrow \quad V_x(t) = a.t + V_0 \quad \Rightarrow \quad x(t) = \frac{1}{2}a.t^2 + V_0.t + X_0$$

avec V_0 : la vitesse initiale à t = 0 et X_0 : l'abscisse à l'origine à t = 0

IV) <u>Les forces usuelles :</u>

1) Le poids (force de champ de pesanteur)

Dans le référentielle terrestre, tout corps de masse m est soumis au champ de pesanteur $\vec{g}$. Cette force correspond au poids du corps :

- origine : centre de gravité
- direction : verticale
- sens : vers le centre de la terre.
- intensité: P = mg avec $g \simeq 9{,}81\ m.s^{-2}$

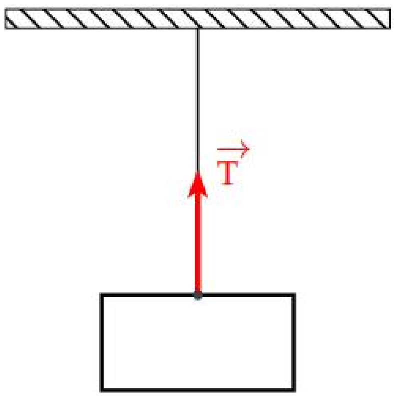
2) La réaction du plan

La force de réaction du plan $\vec{R}$ en cas de frottement possède deux composantes :

$$\vec{R} = \vec{R}_T + \vec{R}_N$$

- $\vec{R}_N$: la composante normale
- $\vec{R}_T$ ou $\vec{f}$: la composante tangentielle.

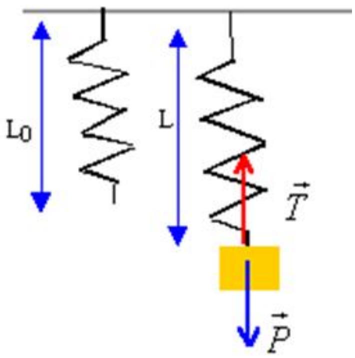
3) Tension d'un fil



La force de tension $\vec{T}$ d'un fil est une force qui s'exerce par le fil sur un système.
Ses caractéristiques sont :

- origine : point du système en contact avec le fil
- direction : du fil
- sens : du système vers le fil
- intensité : T

4) Tension d'un ressort

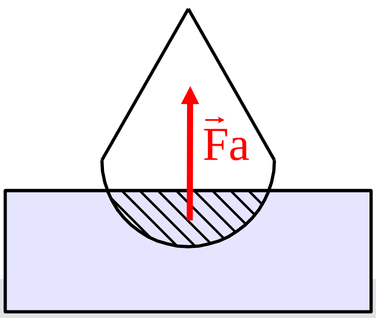


La force de tension $\vec{F}$ d'un ressort est une force qui s'exerce par le ressort sur un système. Ses caractéristiques sont :

- origine : point du système en contact avec le ressort
- direction : du ressort.
- sens : du système vers le ressort
- intensité : $T = k \times \Delta l$

avec k : la raideur du ressort et $\Delta l = L - L_0$: allongement

5) La poussée d'Archimède



Un corps plongé dans un fluide reçoit une poussée Fa de bas en haut égale au poids du volume du fluide déplacé.

Cette force $\vec{Fa}$ a comme caractéristiques :

- origine : G' centre de gravité de la partie immergée

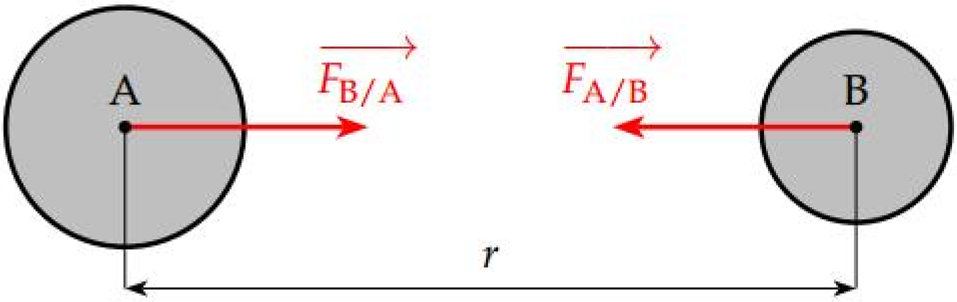
PHYSIQUE

- direction : verticale
- sens : vers le haut
- intensité : poids du fluide déplacé

$$Fa = \rho_L \times V \times g$$

ρ : Masse volumique du fluide en $kg.m^{-3}$,
V : Volume immergé (partie hachurée) en m^3
g: intensité de la pesanteur

6) La force gravitationnelle (de Newton, force de champ)



Deux corps A et B de masses respectives m_A et m_B s'attirent. Cette force d'attraction $F_{A/B}$ et $F_{B/A}$ est inversement proportionnelle à la distance r des deux corps

$$F_{A/B} = F_{B/A} = G\frac{m_A \times m_B}{r^2}$$

G : constante de gravitation $6{,}67 \times 10^{-11}$ SI