Nature

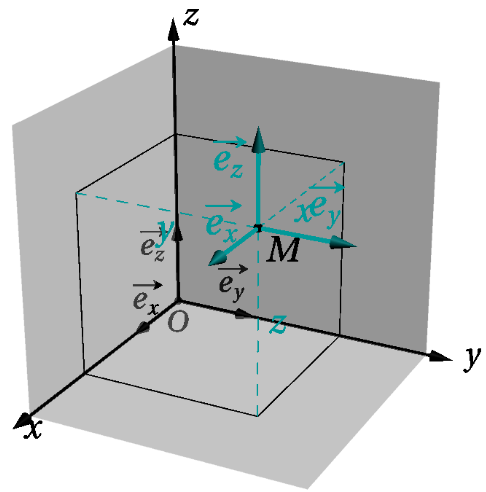
> **Modèle**
> L'espace physique est décrit comme un ensemble de points M_i. On définit ***expérimentalement*** la ***distance*** entre deux points M_iM_j et on pose en principe que l'ensemble des M_i forme un espace euclidien de dimension 3 :
>
> - à tout couple de points $(M_i\,;M_j)$, on associe un vecteur noté $\overrightarrow{M_iM_j}$: l'ensemble de ces vecteurs forme un espace vectoriel de dimension 3,
> - il existe un produit scalaire dont dérive la ***distance*** définie précédemment : $M_iM_j = \sqrt{\underbrace{\overrightarrow{M_iM_j}\cdot\overrightarrow{M_iM_j}}_{\text{produit scalaire}}},$
>
> On nomme ***longueur***, notée L, la dimension d'une distance dans l'espace.

Repère et base

> **Définition : Solide**
> Un ***solide*** est un ensemble de points M_i dont les distances deux à deux sont stationnaires : $M_iM_j = cste$ en fonction du temps.

> **Définition : Repère**
> Un ***repère*** de l'espace est constitué d'un point O, nommé ***origine*** du repère et d'une base $\mathcal{B} = (\vec{e}_1\,,\vec{e}_2\,,\vec{e}_3)$ de l'espace vectoriel ***liés*** à un solide $\mathcal{S}$ dit de référence.
>
> La position d'un point M dans le repère $(O\,,\mathcal{B})$ est donnée par ses ***coordonnées*** $x_1\,,x_2\,,x_3$ telles que :
> $$\overrightarrow{OM} = x_1\vec{e_1} + x_2\vec{e_2} + x_3\vec{e_3}.$$
> On utilisera des bases ***orthonormées directes*** dont les vecteurs :
>
> **sont normés** $|\vec{e_i}| = 1$ sans dimension,
>
> **sont 2 à 2 orthogonaux** $\vec{e_i}\cdot\vec{e_j} = 0\forall i \neq j$,
>
> **forment un trièdre direct** $\vec{e_1}\wedge\vec{e_2} = \vec{e_3}$, $\vec{e_2}\wedge\vec{e_3} = \vec{e_1}$, $\vec{e_3}\wedge\vec{e_1} = \vec{e_2}$

Base cartésienne



Nature et mesure

Définition : Durée
On définit expérimentalement la ***durée*** entre deux instants au moyen d'une ***horloge*** dans laquelle se reproduit périodiquement le même phénomène.
Pour repérer l'instant d'un phénomène physique, on utilise une échelle de temps définie par une origine des temps et orientée dans le sens des temps croissants.

- fondé sur le postulat d'un écoulement uniforme : un phénomène prendra toujours le même temps pour se répéter.
- cadrans solaires, pendule, oscillations électroniques…

Unité légale

Définition : Seconde
L'unité légale de durée est la ***seconde***, de symbole s, définie comme la durée de 9192631770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium ^{133}Cs.

- entre deux niveaux d'énergie E_1 et E_2 de Cs, émission et absorption de photons de fréquence $\nu = |E_2 - E_1|/h$ (constante de Planck $h = 6{,}626\,069\,3(11) \cdot 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s}$).
- précision relative : $\simeq 1 \cdot 10^{-15}$, *ie* une seconde tous les 30 millions d'années.

Référentiel et temps absolu

Définition : Référentiel
Un référentiel $\mathcal{R}$ est constitué d'un solide de référence et d'une horloge. Un repère lié au solide de référence est nommé ***repère cartésien*** attaché à $\mathcal{R}$. On choisit trois vecteurs $\vec{e_x}$,$\vec{e_y}$ et $\vec{e_z}$ formant une base orthonormée directe et O un point fixe du repère, qu'on notera alors $(O, \vec{e_x}, \vec{e_y}, \vec{e_z})$.

- $(O, \vec{e_x}, \vec{e_y}, \vec{e_z})$ fixes dans $\mathcal{R}$ ***par définition***
- ☠ il existe des repères ***mobiles*** dans $\mathcal{R}$

Principe du temps absolu
Le temps est ***absolu*** : il s'écoule de la même manière dans tous les référentiels en mécanique newtonienne.

Trajectoire

Définition : Trajectoire
Soit $(O, \vec{e_1}, \vec{e_2}, \vec{e_3})$ un repère. La ***trajectoire*** dans ce repère d'un point M est la courbe de l'ensemble des positions (x_1, x_2, x_3) de M au cours du temps.
On peut la caractériser au moyen de deux équation $f(x_1, x_2, x_3) = 0$ et $g(x_1, x_2, x_3) = 0$ vérifiées simultanément par les coordonnées x_1, x_2, x_3.

Équations du mouvement

Définition : Équations du mouvement
Soit $\mathcal{R}$ un référentiel muni d'un repère $(O, \vec{e_1}, \vec{e_2}, \vec{e_3})$ quelconque et M un point en mouvement dans $\mathcal{R}$.

- L'équation $\overrightarrow{OM} = \vec{H}(t)$ est ***l'équation paramétrique*** du mouvement.
- Les équations $x_1 = h_1(t)$, $x_2 = h_2(t)$, $x_3 = h_3(t)$ sont les ***équations paramétriques*** du mouvement.

Vecteurs position et vitesse

Définition : Vecteurs position et vitesse
Soit M un point et $\mathcal{R}$ un référentiel dont O est un point ***fixe*** quelconque.

On nomme ***vecteur position de*** M ***dans*** $\mathcal{R}$ le vecteur $\overrightarrow{OM}$.

Le ***vecteur vitesse***, ou ***vitesse de*** M ***dans*** $\mathcal{R}$ à l'instant t, noté $\overrightarrow{v}_{\mathcal{R}}$, est la dérivée temporelle, par rapport à $\mathcal{R}$, du vecteur position à l'instant t :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{v}_{\mathcal{R}} &= \left(\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathcal{R}} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\overrightarrow{OM}(t+\Delta t)-\overrightarrow{OM}(t)}{\Delta t}\\ &= \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\overrightarrow{M(t)M(t+\Delta t)}}{\Delta t} \quad \text{aussi noté: } \left(\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{M}}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathcal{R}}.\end{aligned}$$

Il est ***tangent*** à la trajectoire au point $M(t)$.

Vecteur accélération

Définition : Vecteur accélération
Le ***vecteur accélération***, ou ***accélération de*** M ***dans*** $\mathcal{R}$ à l'instant t, noté $\overrightarrow{a}_{\mathcal{R}}$, est la dérivée temporelle, par rapport à $\mathcal{R}$, du vecteur vitesse à l'instant t :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{a}_{\mathcal{R}} &= \left(\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{v}_{\mathcal{R}}}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathcal{R}} = \left(\frac{\mathrm{d}^2\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t^2}\right)_{\mathcal{R}}\\ &= \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\overrightarrow{v}_{\mathcal{R}}(t+\Delta t)-\overrightarrow{v}_{\mathcal{R}}(t)}{\Delta t} \quad \text{aussi noté: } \left(\frac{\mathrm{d}^2\overrightarrow{M}}{\mathrm{d}t^2}\right)_{\mathcal{R}}.\end{aligned}$$

Vitesse relative

Définition : Vitesse relative
Les vitesses dans un référentiel $\mathcal{R}$ de deux points A et B vérifient :

$$\overrightarrow{v}_{\mathcal{R}}(B)-\overrightarrow{v}_{\mathcal{R}}(A) = \left(\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{AB}}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathcal{R}}.$$

Définition : Trajectoire dans l'espace des phases
Pour un mouvement ***unidimensionnel*** selon l'axe cartésien Ox d'un référentiel $\mathcal{R}$, la ***trajectoire dans l'espace des phases*** d'un point M de position $x(t)$ et de vitesse $v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ est l'ensemble des points de coordonnées $(x(t)\,, v_x(t))$.

Caractéristiques

- la trajectoire dans l'espace des phases est parcourue dans le sens horaire.
- elle intersecte l'axe $v_x = 0$ orthogonalement (si l'accélération a_x est alors non nulle).
- pour un mouvement à n dimensions, elle peut être définie dans un espace à $2n$ dimensions mais est difficile à représenter

Relativité restreinte

Invariance de c (Einstein 1905)
La vitesse de la lumière dans le vide est la même dans toute une classe de référentiels dits ***galiléens***. Elle vaut par définition $c = 299\,792\,458\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$.

Temps et longueurs non absolus
Le temps et les longueurs ne sont plus absolus en relativité restreinte : ils dépendent du référentiel dans lequel ils sont mesurés.

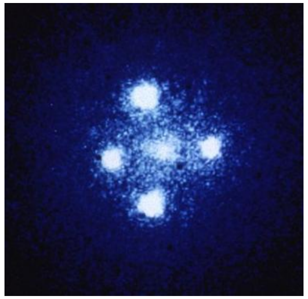
Dilatation des durées La ***durée*** entre deux évènements est ***supérieure*** dans un référentiel galiléen où ces évènements se produisent ***en des lieux différents*** à ce qu'elle est dans un référentiel galiléen où ils se produisent ***au même lieu***.

Contraction des longueurs La ***distance*** entre les lieux où se produisent deux évènements est ***inférieure*** dans un référentiel galiléen où ces évènements ***ne sont pas simultanés*** à ce qu'elle est dans un référentiel galiléen où ils sont ***simultanés***.

Relativité générale (Einstein 1915)

Espace-temps non euclidien
En ***relativité générale***, l'interaction gravitationnelle est décrite en faisant intervenir un espace-temps ***non euclidien***, déformé par les masses.

En particulier, la lumière ne se propage ***pas en ligne droite*** dans le vide en ***présence d'objets massifs***.



Dualité onde-corpuscule

Dualité onde-corpuscule
Tout objet physique présente à la fois des caractéristiques corpusculaires et ondulatoires.

Délocalisation

Longueur d'onde de de Broglie (1924)
La description en termes de trajectoire n'est plus pertinente en mécanique quantique. À chaque instant, une particule ne peut pas être localisée en un point ni sa vitesse être parfaitement définie ; elle est délocalisée sur une taille de l'ordre de sa longueur de de Broglie $\lambda_{dB} = h/p$, avec p sa quantité de mouvement.

Coordonnées cartésiennes

Définition : Coordonnées cartésiennes
Les composantes cartésiennes (*ie* dans un repère cartésien), des vecteurs vitesses $\vec{v}_{\mathcal{R}}$ et accélération $\vec{a}_{\mathcal{R}}$ d'un point s'expriment par simples dérivations de ses coordonnées cartésiennes :

$$\vec{v}_{\mathcal{R}} = \dot{x}\vec{e_x} + \dot{y}\vec{e_y} + \dot{z}\vec{e_z} \qquad \vec{a}_{\mathcal{R}} = \ddot{x}\vec{e_x} + \ddot{y}\vec{e_y} + \ddot{z}\vec{e_z}.$$

Construction

Orientation des angles
Dans un plan $\mathcal{P}$ défini par un vecteur normal $\vec{e_z}$, on oriente les angles θ selon la règle de la main droite (ou gauche) / du tournevis.

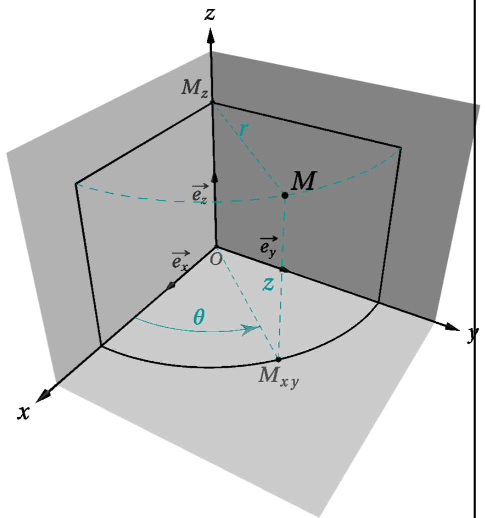
Coordonnées cylindriques
La position d'un point M dans un référentiel $\mathcal{R}$ est repérée en coordonnées ***cylindriques d'axe*** $\Delta = (O\,, \overrightarrow{e_z})$, fixe dans $\mathcal{R}$ de repère cartésien $(O\,, \overrightarrow{e_x}\,, \overrightarrow{e_y}\,, \overrightarrow{e_z})$:

- par sa ***distance*** $r = M_zM \geqslant 0$ à l'axe, avec M_z son projeté orthogonal sur Δ,
- par l'***angle*** $\theta = (\overrightarrow{e_x}\,, \overrightarrow{M_zM})$, orienté par Δ exprimé en radians.
- par la ***mesure algébrique*** $z \gtrless 0$ telle que $\overrightarrow{OM_z} = z\overrightarrow{e_z}$.

Illustration

Lien avec les cartésiennes
Les coordonnées cylindriques et cartésiennes sont reliées par :

$$x = r\cos\theta \quad y = r\sin\theta \quad z = z$$
$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \qquad \tan\theta = y/x.$$

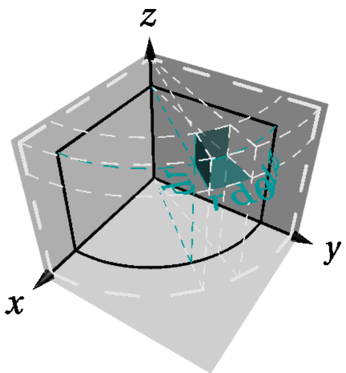


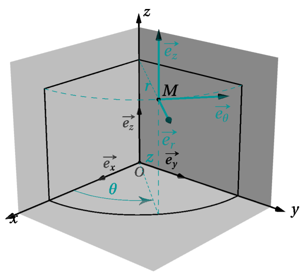
Repère mobile

Définition : Base cylindrique
On définit la ***base cylindrique*** $(O\,, \overrightarrow{e_r}(\theta)\,, \overrightarrow{e_\theta}(\theta)\,, \overrightarrow{e_z})$ orthonormée directe liée au point $M(r\,, \theta\,, z)$. On a $\overrightarrow{OM} = r\overrightarrow{e_r} + z\overrightarrow{e_z}$.

Déplacements élémentaires

- $\overrightarrow{e_r}$ dirige les déplacements quand ***seul*** r ***varie***, *ie* le long du ***rayon*** passant par M (défini par $\overrightarrow{M_zM}$)
- $\overrightarrow{e_\theta}$ dirige les déplacements quand ***seul*** θ ***varie***, *ie* le long du ***cercle d'axe*** Oz ***et passant par*** M ($\overrightarrow{e_\theta} = \overrightarrow{e_z} \wedge \overrightarrow{e_r}$,)
- $\overrightarrow{e_z}$ dirige les déplacements quand ***seul*** z ***varie***, *ie* le long de la ***verticale passant par*** M.





Vecteurs cinématiques

Vecteurs cinématiques
Les vecteurs $\overrightarrow{e_r}(\theta)$, $\overrightarrow{e_\theta}(\theta)$ sont ***mobiles*** dans $\mathcal{R}$: leur direction dépend de l'angle θ repérant le point M. Ils vérifient :

- $\dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{e_r}(\theta)}{\mathrm{d}\theta} = \overrightarrow{e_r}(\theta + \pi/2) = \overrightarrow{e_\theta}(\theta)$, et donc $\dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{e_r}}{\mathrm{d}t} = \dot{\theta}\overrightarrow{e_\theta}$
- $\dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{e_\theta}(\theta)}{\mathrm{d}\theta} = \overrightarrow{e_\theta}(\theta + \pi/2) = -\overrightarrow{e_r}(\theta)$, et donc $\dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{e_\theta}}{\mathrm{d}t} = -\dot{\theta}\overrightarrow{e_r}$

Les vecteurs cinématiques du point M s'y expriment selon :

- $\overrightarrow{OM} = r\overrightarrow{e_r} + z\overrightarrow{e_z}$
- $\vec{v}_{\mathcal{R}} = \underbrace{\dot{r}\overrightarrow{e_r}}_{\text{radiale}} + \underbrace{r\dot{\theta}\overrightarrow{e_\theta}}_{\text{orthoradiale}} + \underbrace{\dot{z}\overrightarrow{e_z}}_{\text{verticale}}$
- $\vec{a}_{\mathcal{R}} = \underbrace{\left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2\right)\overrightarrow{e_r}}_{\text{radiale}} + \underbrace{\left(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}\right)\overrightarrow{e_\theta}}_{\text{orthoradiale}} + \underbrace{\ddot{z}\overrightarrow{e_z}}_{\text{verticale}}$

Construction

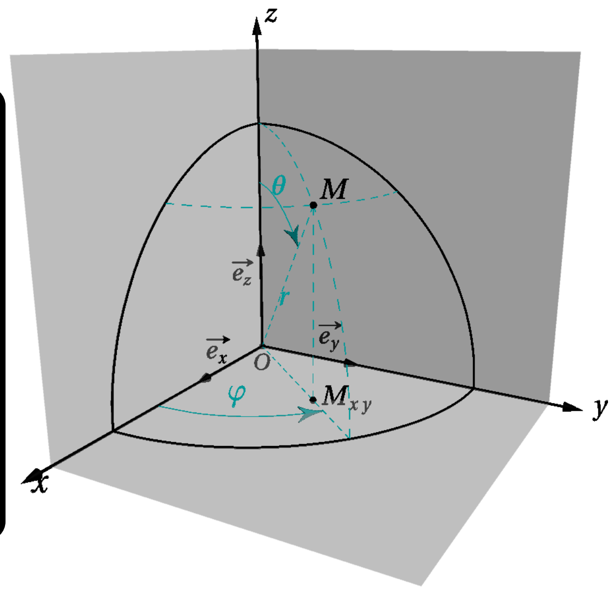
Définition : Coordonnées sphériques
La position d'un point M dans un référentiel $\mathcal{R}$ est repérée en ***coordonnées sphériques d'origine*** O fixe dans $\mathcal{R}$ de repère cartésien $(O, \overrightarrow{e_x}, \overrightarrow{e_y}, \overrightarrow{e_z})$:

- par sa ***distance*** $r = OM \geqslant 0$ à l'origine,
- par l'***angle*** θ, nommé colatitude ou angle zénithal, défini par $\theta = (\overrightarrow{e_z}, \overrightarrow{e_r})$. L'angle θ est compris dans l'intervalle $[0, \pi]$.
- l'***angle*** φ, nommé longitude ou angle azimutal, défini à l'aide du projeté orthogonal de M dans le plan Oxy par $\varphi = (\overrightarrow{e_x}, \overrightarrow{OM_{xy}})$ et $\varphi \in [0, 2\pi]$. L'angle φ est orienté, dans le plan Oxy, par $\overrightarrow{e_z}$.

Illustration

Lien avec les cartésiennes
Les coordonnées sphériques et cartésiennes sont reliées par :

$$x = r \sin\theta \cos\varphi$$
$$y = r \sin\theta \sin\varphi$$
$$z = r \cos\theta$$
$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$
$$\tan\varphi = \frac{y}{x}$$
$$\theta = \arccos\left(\frac{z}{r}\right)$$

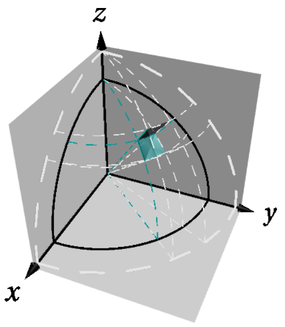


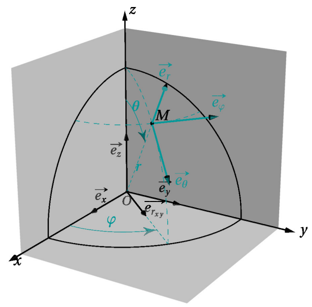
Repère mobile

Définition : Base sphérique
On définit la ***base sphérique*** $(O, \overrightarrow{e_r}(\theta, \varphi), \overrightarrow{e_\theta}(\theta, \varphi), \overrightarrow{e_\varphi}(\theta, \varphi))$ orthonormée directe liée au point $M(r, \theta, \varphi)$. On a $\overrightarrow{OM} = r\overrightarrow{e_r}$.

Déplacements élémentaires

- $\overrightarrow{e_r}$ dirige les déplacements quand ***seul*** r ***varie***, *ie* le long du ***rayon passant par*** (M) (défini par $\overrightarrow{e_r} = \overrightarrow{OM} \cdot \frac{1}{r}$)
- $\overrightarrow{e_\theta}$ dirige les déplacements quand ***seul*** θ ***varie***, *ie* le long du ***méridien passant par*** M (défini par $\overrightarrow{e_\theta} = \overrightarrow{e_\varphi} \wedge \overrightarrow{e_r}$)
- $\overrightarrow{e_\varphi}$ dirige les déplacements quand ***seul*** φ ***varie***, *ie* le long du ***cercle de latitude constante passant par*** M (défini par $\overrightarrow{e_\varphi} = \overrightarrow{e_z} \wedge \overrightarrow{OM_z} \cdot \frac{1}{OM_z}$)





Vecteurs cinématiques

Vecteurs cinématiques

Les vecteurs cinématiques du point M s'y expriment selon :

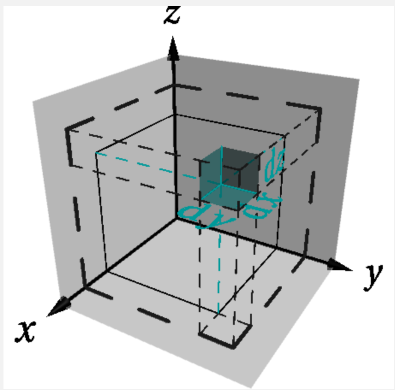
- $\overrightarrow{OM} = r\overrightarrow{e_r}$
- $\overrightarrow{v} = \dot{r}\overrightarrow{e_r} + r\dot{\theta}\overrightarrow{e_\theta} + r\sin(\theta)\dot{\varphi}\overrightarrow{e_\varphi}$

Variations élémentaires en cartésiennes

Variations élémentaires en cartésiennes

On a :

$$\mathrm{d}\overrightarrow{M} = \mathrm{d}x\overrightarrow{e_x} + \mathrm{d}y\overrightarrow{e_y} + \mathrm{d}z\overrightarrow{e_z}$$
$$\mathrm{d}S_x = \mathrm{d}y\,\mathrm{d}z \qquad \mathrm{d}S_y = \mathrm{d}x\,\mathrm{d}z$$
$$\mathrm{d}S_z = \mathrm{d}x\,\mathrm{d}y$$
$$\mathrm{d}V = \mathrm{d}x\,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}z$$

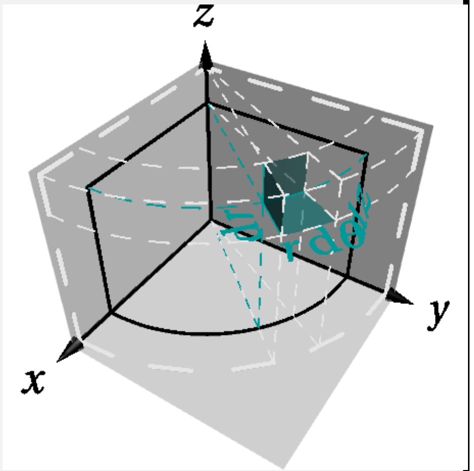


Variations élémentaires en cylindriques

Variations élémentaires en cylindriques

On a :

$$\mathrm{d}\overrightarrow{M} = \mathrm{d}r\overrightarrow{e_r} + r\mathrm{d}\theta\overrightarrow{e_\theta} + \mathrm{d}z\overrightarrow{e_z}$$
$$\mathrm{d}S_r = r\,\mathrm{d}\theta\,\mathrm{d}z \qquad \mathrm{d}S_\theta = \mathrm{d}r\,\mathrm{d}z$$
$$\mathrm{d}S_z = r\,\mathrm{d}r\,\mathrm{d}\theta$$
$$\mathrm{d}V = r\,\mathrm{d}r\mathrm{d}\theta\,\mathrm{d}z$$

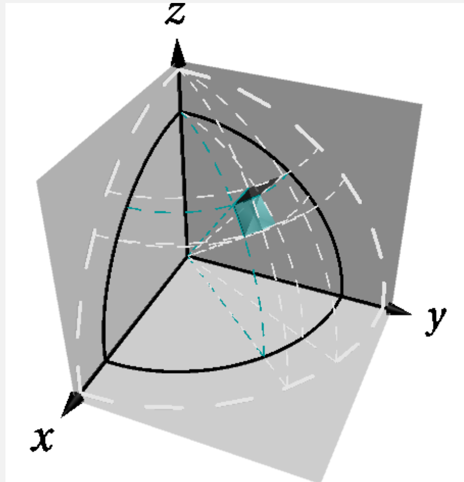


Variations élémentaires en sphériques

Variations élémentaires en sphériques

On a :

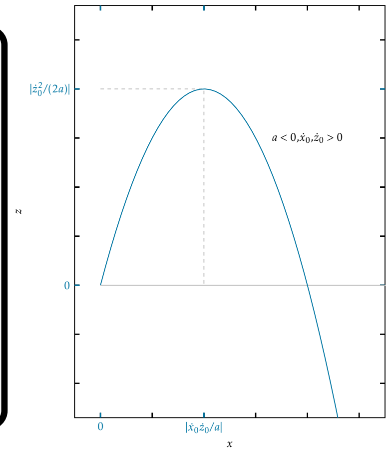
$$\mathrm{d}\overrightarrow{M} = \mathrm{d}r\overrightarrow{e_r} + r\,\mathrm{d}\theta\overrightarrow{e_\theta} + r\sin\theta\,\mathrm{d}\varphi\overrightarrow{e_\varphi}$$
$$\mathrm{d}S_\varphi = r\,\mathrm{d}r\,\mathrm{d}\theta$$
$$\mathrm{d}S_\theta = r\sin\theta\,\mathrm{d}r\,\mathrm{d}\varphi$$
$$\mathrm{d}S_r = r^2\sin\theta\,\mathrm{d}\theta\,\mathrm{d}\varphi$$
$$\mathrm{d}V = r^2\sin\theta\,\mathrm{d}r\,\mathrm{d}\theta\,\mathrm{d}\varphi$$



Mouvement uniformément accéléré

Mouvement uniformément accéléré

- Un mouvement d'***accélération uniforme*** $\overrightarrow{a}_{\mathcal{R}} = a\overrightarrow{e_z}$ dans un référentiel $\mathcal{R}$, est ***inscrit dans le plan*** $(M(0), \overrightarrow{v}(0), \overrightarrow{a}_{\mathcal{R}})$.
- La trajectoire est une ***parabole*** d'axe $\propto \overrightarrow{e_z}$, de concavité tournée dans le sens opposé à $\overrightarrow{a}_{\mathcal{R}}$.
- Pour $\overrightarrow{a}_{\mathcal{R}} = \overrightarrow{0}$ le mouvement est ***rectiligne uniforme***.



Mouvement plan circulaire

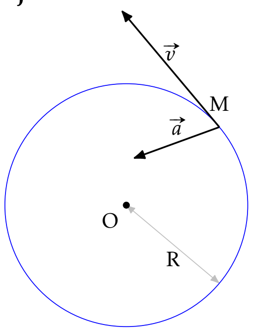
Mouvement plan circulaire

- La vitesse d'un point M animé d'un ***mouvement plan circulaire*** de rayon $R = cste$ dans $\mathcal{R}$ est ***orthoradiale*** $\vec{v}_{\mathcal{R}} = v_\theta \vec{e_\theta} = R\dot{\theta}\vec{e_\theta}$.
- L'accélération est ***centripète*** (dirigée vers le centre) et donnée par :

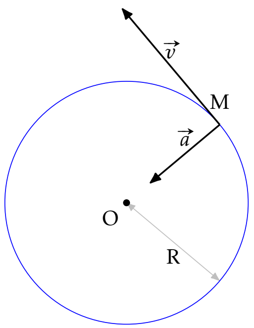
$$\vec{a}_{\mathcal{R}} = -R\dot{\theta}^2\vec{e_r} + R\ddot{\theta}\vec{e_\theta} = -\frac{v_\theta^2}{R}\vec{e_r} + \frac{\mathrm{d}v_\theta}{\mathrm{d}t}\vec{e_\theta}.$$

- Pour un mouvement circulaire ***uniforme*** de vitesse angulaire $\dot{\theta} = \omega$ ***stationnaire***,
  - la ***norme*** de la vitesse $\vec{v}_{\mathcal{R}} = R\omega\vec{e_\theta} = v_\theta\vec{e_\theta}$ est ***stationnaire***,
  - l'accélération $\vec{a}_{\mathcal{R}} = -R\omega^2\vec{e_r} = -\frac{v_\theta^2}{R}\vec{e_r}$ est ***radiale***, de norme ***elle aussi stationnaire***.

Trajectoire



Cas $v_\theta \neq cste$



Cas $v_\theta = cste$

Solide en translation

Définition : Solide en translation
Un solide est dit ***en translation*** dans un référentiel $\mathcal{R}$ si à chaque instant tous les points qui le constituent ont le ***même vecteur vitesse***.

Solide en rotation autour d'un axe fixe

Définition : Solide en rotation autour d'un axe fixe
Un solide $\mathcal{S}$ est dit ***en rotation autour d'un axe Δ fixe*** dans un référentiel $\mathcal{R}$ si le solide reste ***lié*** à l'axe Δ au cours de son mouvement.

Vitesse angulaire

Définition : Vitesse angulaire
Le mouvement de tout point M d'un ***solide $\mathcal{S}$ en rotation autour d'un axe fixe Δ*** est ***circulaire*** autour de l'axe Δ. Il existe de plus une pulsation $\omega(t)$ commune à tous les points M, nommée ***vitesse angulaire de rotation autour de l'axe Δ*** et telle que le vecteur vitesse est donné, à chaque instant t, par :

$$\vec{v}(M)(t) = r_M\omega(t)\vec{e}_{\theta M},$$

avec :

- $\vec{e}_{\theta M}$ le vecteur orthoradial des coordonnées cylindriques d'axe Δ,
- r_M la distance de M à l'axe Δ, constante,
- et $\omega(t)$ la ***vitesse angulaire***, indépendante de M.

Indispensable

Indispensable

- Les définitions du mètre et la seconde
- Les notions de repère et de référentiel
- Notions sur le cadre de validité de la mécanique newtonienne
- ♡Les expressions de l'accélération et de la vitesse dans les trois systèmes de coordonnées (sauf l'accélération en sphérique…) ainsi que les démonstrations.
- ♡Exemples de mouvements particuliers.
- Vecteurs vitesse dans un solide en translation, ou en rotation autour d'un axe fixe
- les animations sont consultables à l'adresse suivante : `http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Meca/Cinematique/index.php`