MODULE DE MÉCANIQUE

Plan du cours

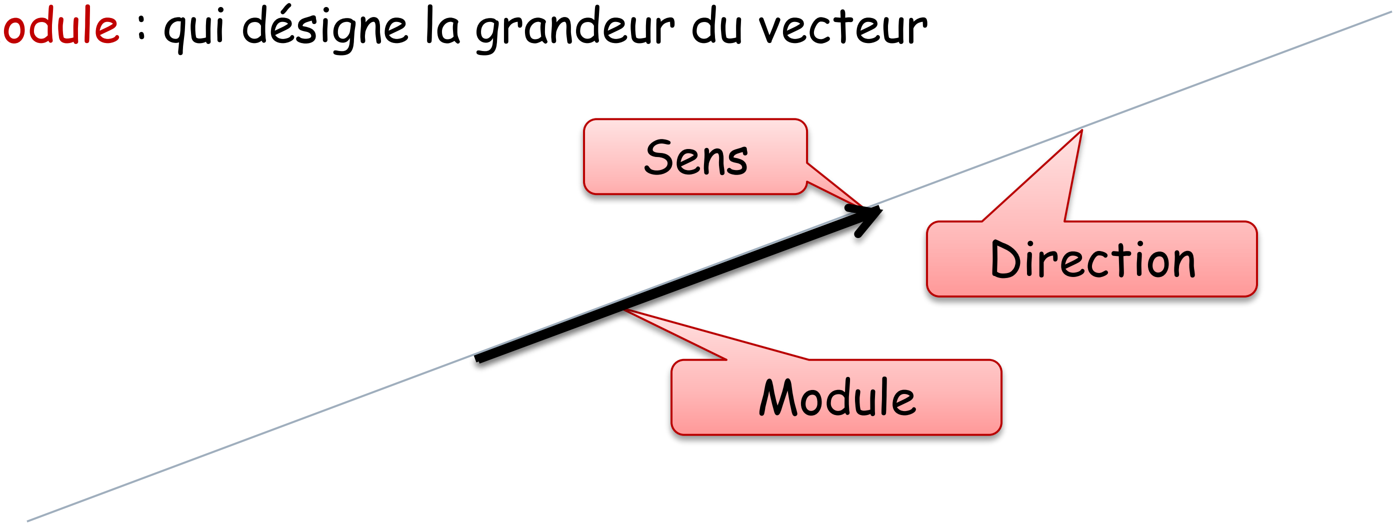
- Rappels Vectoriels
- Cinématique du point
- Dynamique du point
- Travail et énergie

Rappels Vectoriels

I- Définition d’un Vecteur:

Un vecteur est une grandeur définie par trois paramètres:

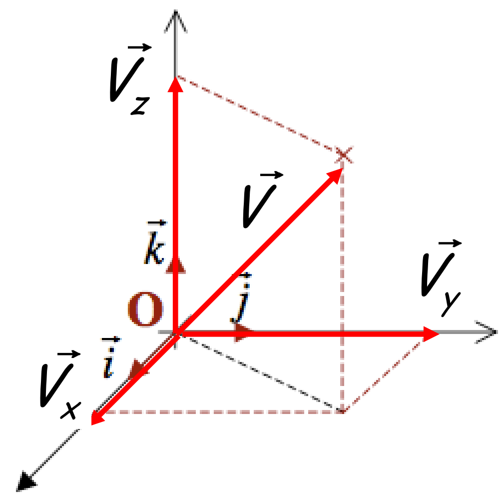
- Une direction : qui désigne le support du vecteur
- Un sens : qui désigne l’orientation du vecteur
- un module : qui désigne la grandeur du vecteur



II- Composantes d'un Vecteur:

On choisit un repère orthonormé (O, x, y, z)

On décompose le vecteur V suivant les axes ox, oy et oz

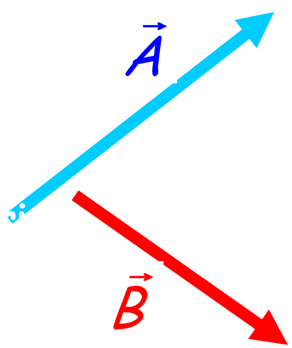


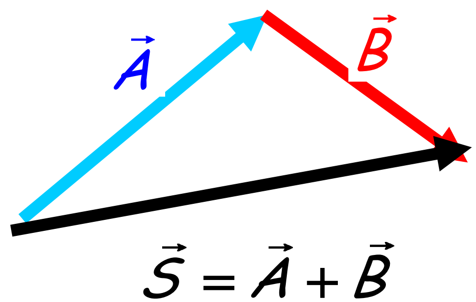
Ce vecteur s' écrit donc dans ce repère comme:

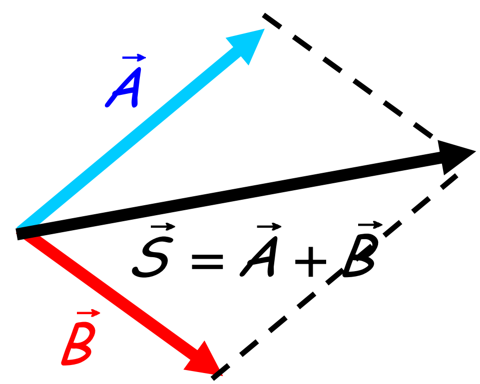
$$\vec{V} = \vec{V}_x + \vec{V}_y + \vec{V}_z = V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k}$$

III- Somme de deux Vecteurs:

On veut faire la somme des deux vecteurs $\vec{S} = \vec{A} + \vec{B}$



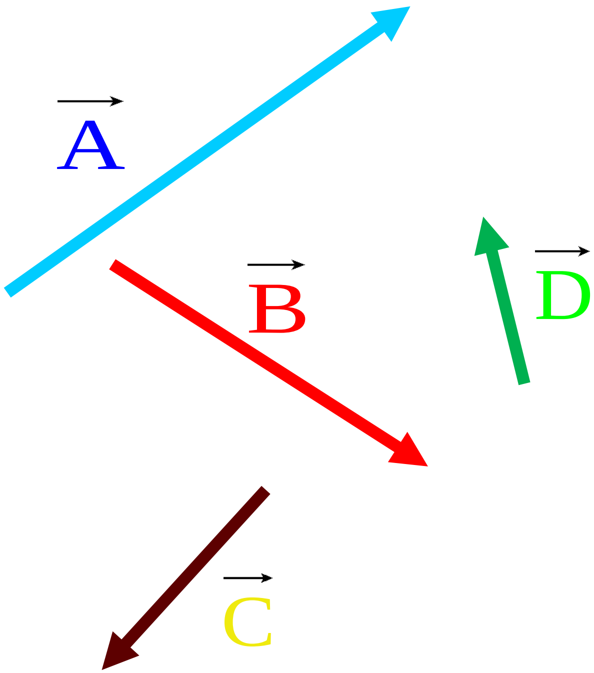


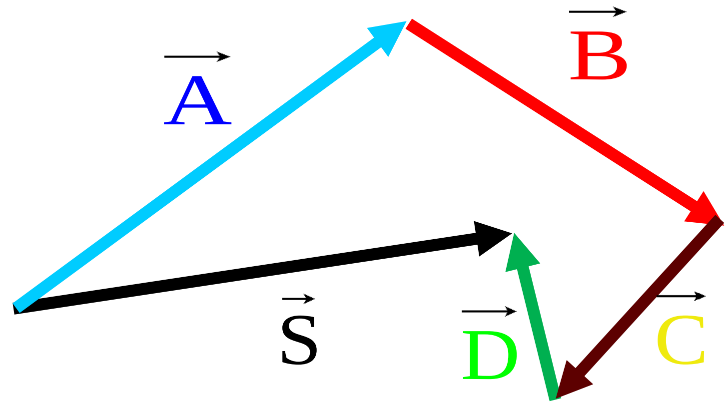


IV- Somme de plusieurs Vecteurs:

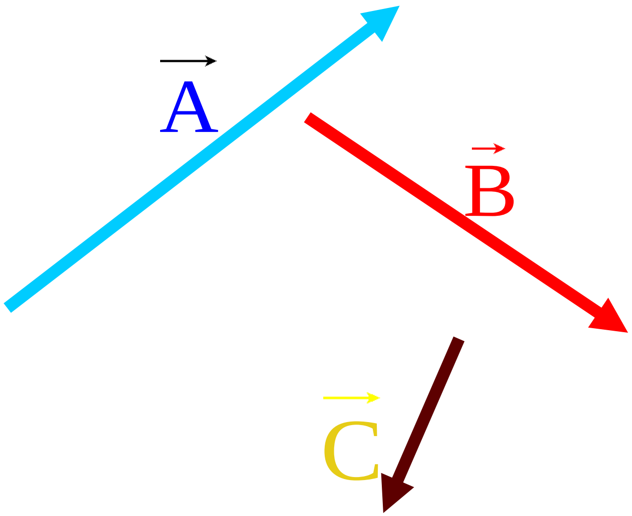
On veut calculer le vecteur somme de plusieurs vecteur

$$\vec{S} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D}$$

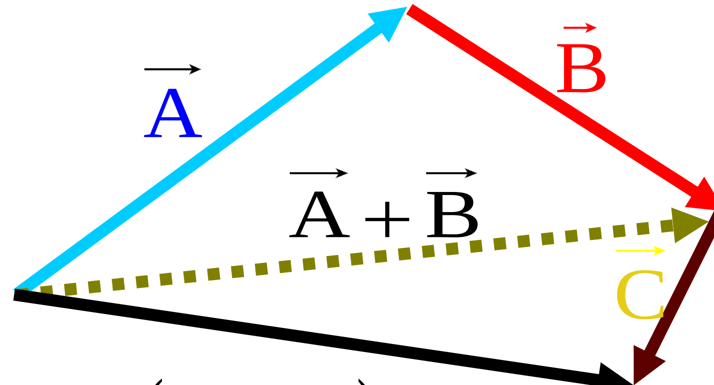




V- L’addition de vecteurs est associative:

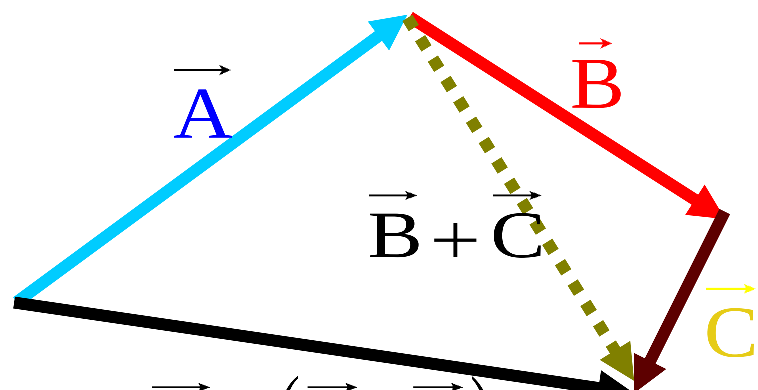


$$\left(\vec{A}+\vec{B}\right)+\vec{C}$$



$$\left(\vec{A}+\vec{B}\right)+\vec{C}$$

$$\vec{A}+\left(\vec{B}+\vec{C}\right)$$



$$\vec{A}+\left(\vec{B}+\vec{C}\right)$$

$$\left(\vec{A}+\vec{B}\right)+\vec{C}=\vec{A}+\left(\vec{B}+\vec{C}\right)$$

VI- Multiplication de vecteurs par un scalaire :

La multiplication d'un vecteur $\vec{A}$ par un scalaire p est un vecteur :

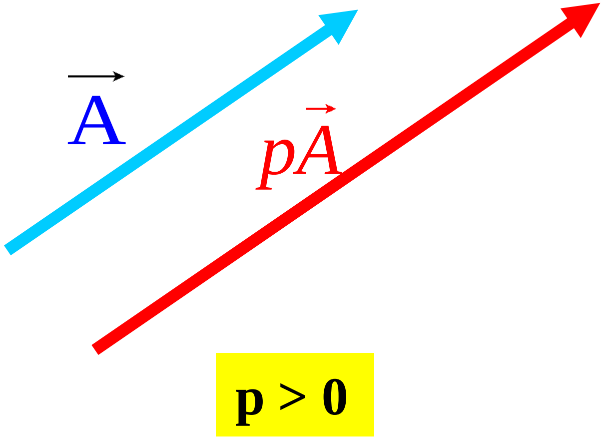
$$\vec{C} = p\vec{A}$$

Dont la direction est celle de $\vec{A}$, et le module est :

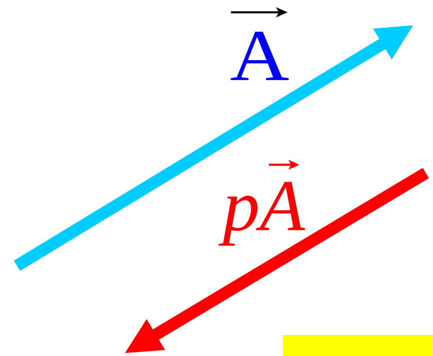
$$C = pA$$

Le sens est :

Celui de $\vec{A}$ si p est positif



VI- Multiplication de vecteurs par un scalaire :



Contraire à $\vec{A}$ si p est positif

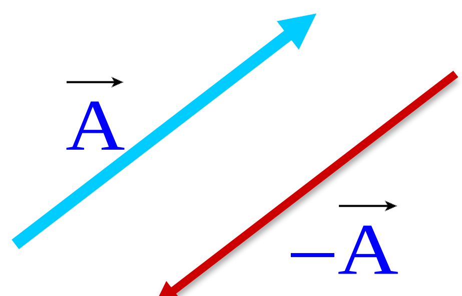
$p < 0$

VII- Vecteurs opposés:

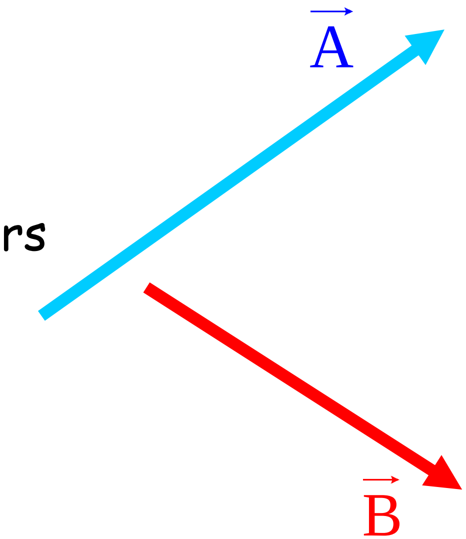
Si p=-1

On a les vecteurs

$$\vec{A} \text{ et } -\vec{A}$$

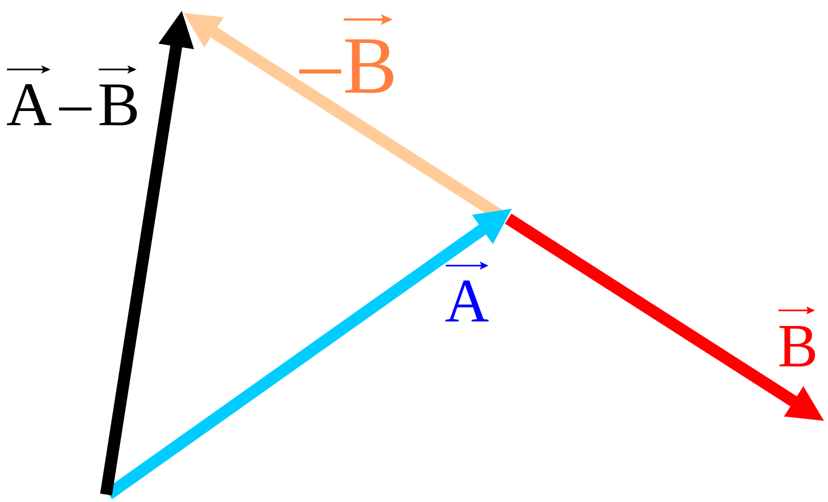


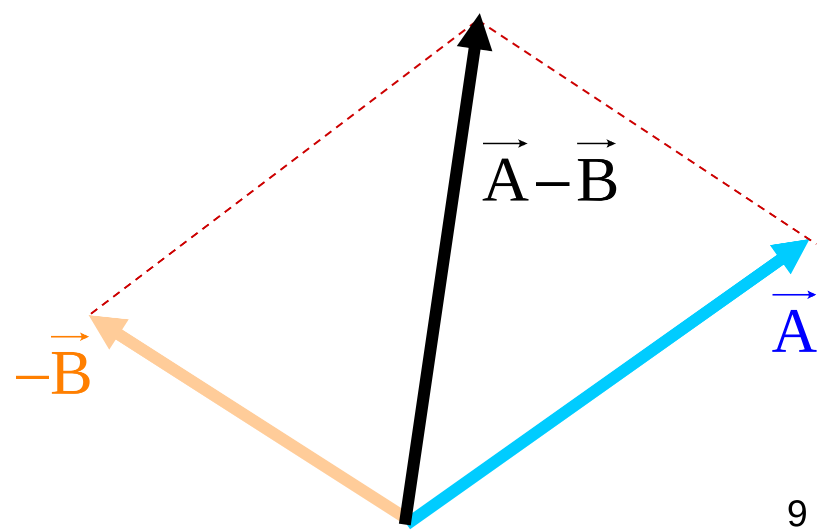
III- Soustraction de deux Vecteurs:



On veut calculer le vecteur différence de deux vecteurs

$$\vec{D} = \vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + \left(-\vec{B}\right)$$





EXEMPLES

Exercice 1:

Soient les vecteurs $\vec{V}_1 = 2\left(\vec{i} + \vec{j}\right)$, $\vec{V}_2 = -4\vec{i}$, $\vec{V}_3 = 4\vec{i} - 2\vec{j}$

Construire sur une feuille de papier millimétré les vecteurs :

$\vec{A} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$ $\vec{B} = \vec{V}_3 - \vec{V}_2$ $\vec{C} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 + 2\vec{V}_3$

Exercice 2 :

Soient les vecteurs $\vec{V}_1 = 3\vec{i} - 2\vec{j} + \vec{k}$, $\vec{V}_2 = 2\vec{i} - 4\vec{j} - 3\vec{k}$ et $\vec{V}_3 = -\vec{i} + 2\vec{j} + 2\vec{k}$

Trouver les modules de $\vec{V}_3$, $\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3$ et $2\vec{V}_1 - 3\vec{V}_2 - 5\vec{V}_3$

Exercice 1:

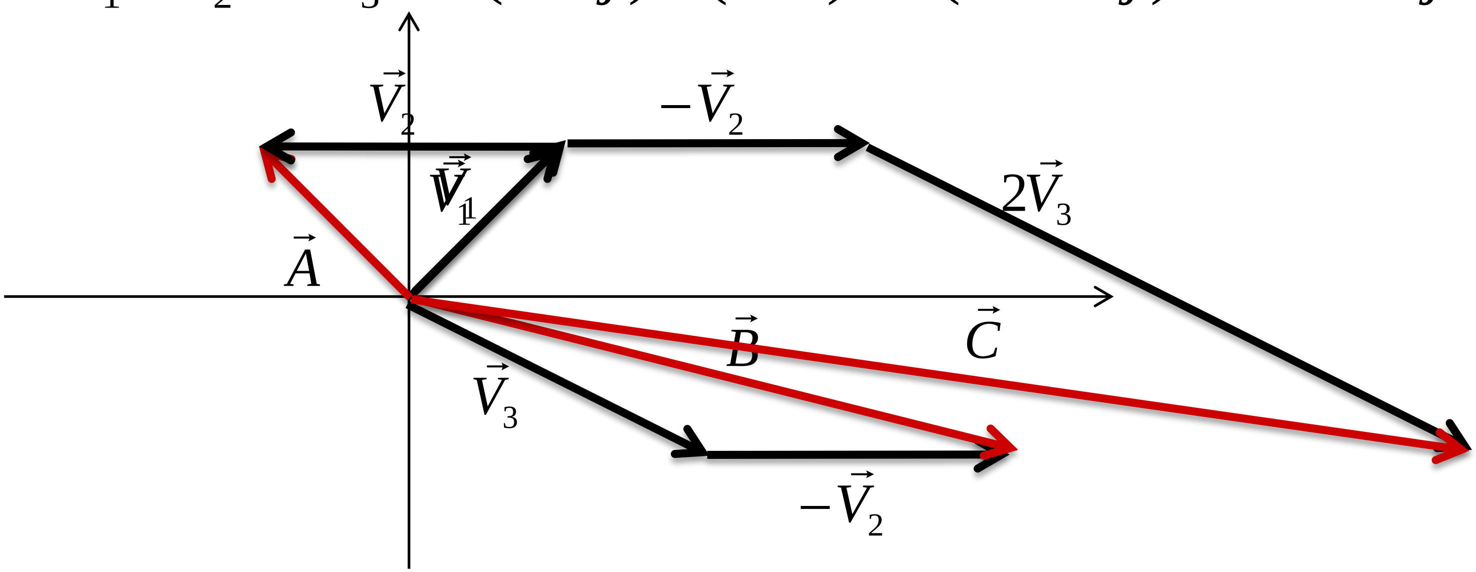
Corrigé :

On peut calculer analytiquement ou graphiquement

$$\vec{A}=\vec{V}_1+\vec{V}_2=2(\vec{i}+\vec{j})-4\vec{i}=-2\vec{i}+2\vec{j}$$

$$\vec{B}=\vec{V}_3-\vec{V}_2=(4\vec{i}-2\vec{j})-(-4\vec{i})=8\vec{i}-2\vec{j}$$

$$\vec{C}=\vec{V}_1-\vec{V}_2+2\vec{V}_3=2(\vec{i}+\vec{j})-(-4\vec{i})+2(4\vec{i}-2\vec{j})=14\vec{i}-2\vec{j}$$



Exercice 2: Soient les vecteurs :

$$\vec{V}_1 = 3\vec{i} - 2\vec{j} + \vec{k} \quad \vec{V}_2 = 2\vec{i} - 4\vec{j} - 3\vec{k} \quad \text{et} \quad \vec{V}_3 = -\vec{i} + 2\vec{j} + 2\vec{k}$$

Trouver les modules de : $\vec{V}_3$ $\quad \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3$ $\quad$ et $\quad 2\vec{V}_1 - 3\vec{V}_2 - 5\vec{V}_3$

$$\vec{V}_3 = -\vec{i} + 2\vec{j} + 2\vec{k}$$

$$\left\|\vec{V}_3\right\| = \sqrt{(-1)^2 + (2)^2 + (2)^2} = \sqrt{9} = 3$$

$$\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 = 4\vec{i} - 4\vec{j} + 0\vec{k}$$

$$\left\|\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3\right\| = \sqrt{(4)^2 + (-4)^2 + (0)^2} = \sqrt{32} = 4\sqrt{2}$$

$$2\vec{V}_1 - 3\vec{V}_2 - 5\vec{V}_3 = 5\vec{i} - 2\vec{j} + \vec{k}$$

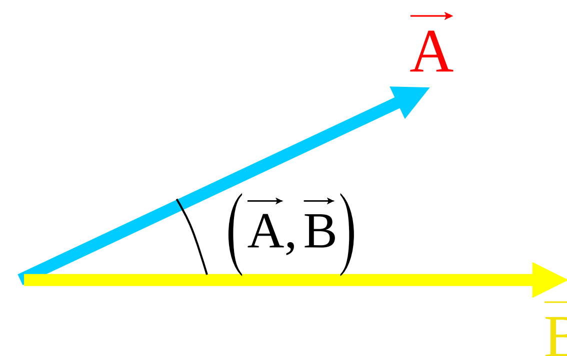
$$\left\|2\vec{V}_1 - 3\vec{V}_2 - 5\vec{V}_3\right\| = \sqrt{(5)^2 + (-2)^2 + (1)^2} = \sqrt{30}$$

VIII- Produit scalaire de deux vecteurs

Définition

Le produit scalaire de deux vecteurs est un scalaire qui s'écrit:

$$\vec{A}.\vec{B}$$



La valeur de ce produit est donnée par:

$$\vec{A}.\vec{B} = \left|\vec{A}\right|\left|\vec{B}\right|\cos\left(\vec{A},\vec{B}\right)$$

C'est donc un nombre qui peut être donc positif ou négatif

VIII- Produit scalaire de deux vecteurs

Propriétés

$$\vec{\mathrm{A}}.\vec{B}=\vec{\mathrm{B}}.\vec{\mathrm{A}}$$

$$\vec{\mathrm{A}}.\vec{B}=\vec{0}\ \ si \quad \vec{A}\perp\vec{B}$$

$$\vec{\mathrm{A}}.\vec{B}=AB\ \ si \quad \vec{A}//\vec{B}$$

$$\vec{\mathrm{A}}.\left(\vec{\mathrm{B}}+\vec{\mathrm{C}}\right)=\vec{\mathrm{A}}.\vec{B}+\vec{\mathrm{A}}.\vec{\mathrm{C}}$$

$$p\left(\vec{\mathrm{A}}.\vec{\mathrm{B}}\right)=\left(p\vec{\mathrm{A}}\right).\vec{\mathrm{B}}=\vec{\mathrm{A}}.\left(p\vec{\mathrm{B}}\right)=p\vec{\mathrm{A}}.\vec{\mathrm{B}}$$

VIII- Produit scalaire de deux vecteurs

Expression en composantes cartésiennes

Si on connait les composantes des vecteurs A et B alors:

$$\vec{A} = A_x\vec{i} + A_y\vec{j} + A_z\vec{k}$$

$$\vec{B} = B_x\vec{i} + B_y\vec{j} + B_z\vec{k}$$

$$\vec{A}.\vec{B} = (A_x\vec{i} + A_y\vec{j} + A_z\vec{k}).(A_x\vec{i} + A_y\vec{j} + A_z\vec{k})$$

En appliquant les propriétés du produit scalaire on a:

$$\vec{i}.\vec{i} = \vec{j}.\vec{j} = \vec{k}.\vec{k} = 1 \qquad \vec{i}.\vec{k} = \vec{j}.\vec{i} = \vec{j}.\vec{k} = 0$$

Et enfin:

$$\vec{A}.\vec{B} = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z$$

IX- Produit vectoriel de deux vecteurs

Définition: **Le produit vectoriel de deux vecteurs est un vecteur**

$$\vec{V} = \vec{A} \wedge \vec{B}$$

Le module est :

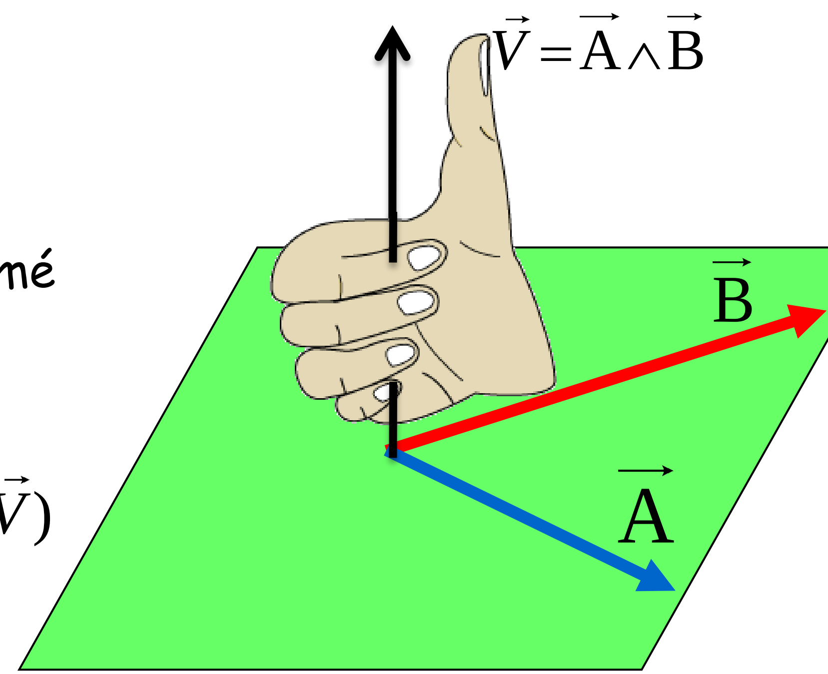
$$\left|\vec{V}\right| = \left|\vec{A}\right| . \left|\vec{B}\right| \sin\left(\vec{A}, \vec{B}\right)$$

Caractéristiques:

- Le vecteur $\vec{V}$ est perpendiculaire au plan formé par $\vec{A}$ et $\vec{B}$.

-Orienté de telle sorte que le trièdre $(\vec{A}, \vec{B}, \vec{V})$ soit direct.

On utilise donc la règle de la main droite



VIII- Produit scalaire de deux vecteurs

Propriétés:

$$\vec{A} \wedge \vec{B} = -\vec{B} \wedge \vec{A}$$

$$\vec{A} \wedge \left(\vec{B} + \vec{C}\right) = \vec{A} \wedge \vec{B} + \vec{A} \wedge \vec{C}$$

$$p\left(\vec{A} \wedge \vec{B}\right) = \left(p\vec{A}\right) \wedge \vec{B} = \vec{A} \wedge \left(p\vec{B}\right)$$

$$\vec{A} \wedge \vec{B} = \vec{0} \quad \textit{soit} : \vec{A} = \vec{0} \qquad \textit{soit} : \vec{B} = \vec{0} \qquad \textit{ou alors} : \vec{A} \,//\, \vec{B}$$

$$\left|\vec{A} \wedge \vec{B}\right| = \left|\vec{A}\right|\left|\vec{B}\right| \quad \textbf{alors} \quad \vec{A} \perp \vec{B}$$

$$\vec{A} \wedge \left(\vec{B} \wedge \vec{C}\right) = \vec{B}\left(\vec{A}.\vec{C}\right) - \vec{C}\left(\vec{A}.\vec{B}\right)$$

VIII- Produit scalaire de deux vecteurs

Expression cartésienne

$$\overrightarrow{\mathrm{A}} \wedge \overrightarrow{\mathrm{B}} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

$$\overrightarrow{\mathrm{A}} \wedge \overrightarrow{\mathrm{B}} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} = +\begin{vmatrix} A_y & A_z \\ B_y & B_z \end{vmatrix}\vec{i} - \begin{vmatrix} \mathrm{A}_x & \mathrm{A}_z \\ \mathrm{B}_x & \mathrm{B}_z \end{vmatrix}\vec{j} + \begin{vmatrix} \mathrm{A}_x & \mathrm{A}_y \\ \mathrm{B}_x & \mathrm{B}_y \end{vmatrix}\vec{k}$$

$$\overrightarrow{\mathrm{A}} \wedge \overrightarrow{\mathrm{B}} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} = \left(\mathrm{A}_y\mathrm{B}_z - \mathrm{A}_z\mathrm{B}_y\right)\vec{i} + \left(\mathrm{A}_z\mathrm{B}_x - \mathrm{A}_x\mathrm{B}_z\right)\vec{j} + \left(\mathrm{A}_x\mathrm{B}_y - \mathrm{A}_y\mathrm{B}_x\right)\vec{k}$$

EXEMPLES

Exercice 3 :

Soient les vecteurs

$\vec{V}_1 = 3\vec{i} - 2\vec{j} + \vec{k}$ $\quad \vec{V}_2 = 2\vec{i} - 4\vec{j} - 3\vec{k}$ $\quad$ et $\quad \vec{V}_3 = -\vec{i} + 2\vec{j} + 2\vec{k}$

Trouver les angles $\left(\vec{V}_1, \vec{V}_2\right)$ et $\left(\vec{V}_2, \vec{V}_3\right)$

Exercice 4 :

Déterminer la valeur de a telle que les vecteurs $\vec{V}_1 = 2\vec{i} + a\,\vec{j} + \vec{k}$ et $\vec{V}_2 = 4\vec{i} - 2\vec{j} - 2\vec{k}$ soient perpendiculaires.

Exercice 5 :

Soient les vecteurs $\vec{V}_1 = 3\vec{i} - \vec{j} + 2\vec{k}$ $\quad \vec{V}_2 = 2\vec{i} + \vec{j} - \vec{k}$ $\quad$ et $\quad \vec{V}_3 = \vec{i} - 2\vec{j} + 2\vec{k}$

.Trouver, en précisant sa nature (vecteur ou scalaire), lorsque le résultat existe :

$$(\vec{V}_1 \wedge \vec{V}_2).\vec{V}_3 \qquad (\vec{V}_1 \wedge \vec{V}_2).\,\vec{V}_3$$

Exercice 3 :

Soient les vecteurs

$$\vec{V}_1 = 3\vec{i} - 2\vec{j} + \vec{k} \quad \vec{V}_2 = 2\vec{i} - 4\vec{j} - 3\vec{k} \text{ et } \vec{V}_3 = -\vec{i} + 2\vec{j} + 2\vec{k}$$

Trouver les angles $\left(\vec{V}_1, \vec{V}_2\right)$ et $\left(\vec{V}_2, \vec{V}_3\right)$

Corrigé Exercice 3 :

Par définition le produit scalaire s'écrit:

$$\vec{V}_1 . \vec{V}_2 = V_1 V_2 \cos(\vec{V}_1, \vec{V}_2)$$

Calculons les modules des vecteurs V_1 et V_2

$$V_1 = \sqrt{(3)^2 + (-2)^2 + (1)^2} = \sqrt{14}$$

$$V_2 = \sqrt{(2)^2 + (-4)^2 + (-3)^2} = \sqrt{29}$$

On calcule le produit scalaire des deux vecteurs:

$$\vec{V}_1 . \vec{V}_2 = (3)(2) + (-2)(-4) + (1)(-3) = 11$$

On en déduit l'angle entre les deux vecteurs:

$$\cos(\vec{V}_1, \vec{V}_2) = \frac{\vec{V}_1 . \vec{V}_2}{V_1 V_2} = \frac{11}{\sqrt{14}\sqrt{29}}$$

Exercice 3 :

Soient les vecteurs

$$\vec{V}_1 = 3\vec{i} - 2\vec{j} + \vec{k} \quad \vec{V}_2 = 2\vec{i} - 4\vec{j} - 3\vec{k} \quad \text{et} \quad \vec{V}_3 = -\vec{i} + 2\vec{j} + 2\vec{k}$$

Trouver les angles $\left(\vec{V}_1, \vec{V}_2\right)$ et $\left(\vec{V}_2, \vec{V}_3\right)$

Corrigé de l'exercice 3 :

Par définition le produit scalaire s'écrit:

$$\vec{V}_2 . \vec{V}_3 = V_2 V_3 \cos(\vec{V}_2, \vec{V}_3)$$

Calculons les modules des vecteurs V_1 et V_2

$$V_2 = \sqrt{(2)^2 + (-4)^2 + (-3)^2} = \sqrt{29}$$

$$V_3 = \sqrt{(-1)^2 + (2)^2 + (2)^2} = \sqrt{9}$$

On calcule le produit scalaire des deux vecteurs:

$$\vec{V}_2 . \vec{V}_3 = (2)(-1) + (-4)(2) + (-3)(2) = -16$$

On en déduit l'angle entre les deux vecteurs:

$$\cos(\vec{V}_2, \vec{V}_3) = \frac{\vec{V}_2 . \vec{V}_3}{V_2 V_3} = \frac{(-16)}{\sqrt{29}\sqrt{9}}$$

Exercice 4 :

Déterminer la valeur de a telle que les vecteurs

$$\vec{V}_1 = 2\vec{i} + a\vec{j} + \vec{k} \quad \text{et} \quad \vec{V}_2 = 4\vec{i} - 2\vec{j} - 2\vec{k}$$

soient perpendiculaires.

Corrigé de l'exercice 4 :

On calcule le produit scalaire des deux vecteurs:

$$\vec{V}_1.\vec{V}_2 = (+2)(+4) + (+a)(-2) + (+1)(-2) = -2a + 6$$

Deux vecteurs sont perpendiculaires si leur produit scalaire est nul:

$$\vec{V}_1.\vec{V}_2 = 0$$

On obtient donc:

$$-2a + 6 = 0 \Rightarrow a = 3$$

Exercice 5 :

Soient les vecteurs

$$\vec{V}_1 = 3\vec{i} - \vec{j} + 2\vec{k} \qquad \vec{V}_2 = 2\vec{i} + \vec{j} - \vec{k} \quad \text{et} \quad \vec{V}_3 = \vec{i} - 2\vec{j} + 2\vec{k}$$

Trouver, en précisant sa nature (vecteur ou scalaire), lorsque le résultat existe :

$$(\vec{V}_1 \wedge \vec{V}_2).\vec{V}_3 \qquad\qquad (\vec{V}_1 \wedge \vec{V}_2).\vec{V}_3$$

Corrigé de l'exercice 5 :

On calcule d'abord le produit vectoriel des vecteurs V_1 et V_2

$$(\vec{V}_1 \wedge \vec{V}_2) = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 3 & -1 & 2 \\ 2 & 1 & -1 \end{vmatrix} = -\vec{i} + 7\vec{j} + 5\vec{k} = \vec{V}_4$$

Le résultat est un vecteur et on calcule le produit vectoriel de ce vecteur avec V_3

$$(\vec{V}_4 \wedge \vec{V}_3) = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ -1 & 7 & 5 \\ 1 & -2 & 2 \end{vmatrix} = 24\vec{i} + 7\vec{j} - 5\vec{k}$$

Le résultat final est un vecteur

Exercice 5 :

Soient les vecteurs

$$\vec{V}_1 = 3\vec{i} - \vec{j} + 2\vec{k} \qquad \vec{V}_2 = 2\vec{i} + \vec{j} - \vec{k} \quad \text{et} \quad \vec{V}_3 = \vec{i} - 2\vec{j} + 2\vec{k}$$

Trouver, en précisant sa nature (vecteur ou scalaire), lorsque le résultat existe :

$$(\vec{V}_1 \wedge \vec{V}_2).\vec{V}_3 \qquad (\vec{V}_1 \wedge \vec{V}_2).\,\vec{V}_3$$

Corrigé de l'exercice 5 :

On calcule d'abord le produit vectoriel des vecteurs V_1 et V_2

$$(\vec{V}_1 \wedge \vec{V}_2) = \begin{pmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 3 & -1 & 2 \\ 2 & 1 & -1 \end{pmatrix} = -\vec{i} + 7\vec{j} + 5\vec{k} = \vec{V}_4$$

Le résultat est un vecteur et on calcule le produit scalaire de ce vecteur avec V_3

$$(\vec{V}_4.\vec{V}_3) = (-1)(1) + (+7)(-2) + (+5)(+2)$$

$$(\vec{V}_4.\vec{V}_3) = -5$$

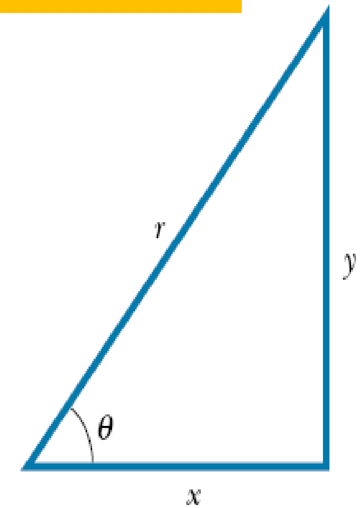
Le résultat final est un scalaire

Rappel de trigonométrie:

$$\sin\theta = \frac{y}{r}$$

$$\cos\theta = \frac{x}{r}$$

$$\tan\theta = \frac{y}{x}$$



$$\sin(a+b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b$$
$$\cos(a+b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$$
$$\sin(a-b) = \sin a \cos b - \cos a \sin b$$
$$\cos(a-b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b$$
$$\sin 2a = 2\sin a \cos a$$
$$\cos 2a = 2\cos^2 a - 1 = 1 - \sin^2 a$$
$$\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$$
$$\sin\theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i}$$
$$\cos\theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2}$$

$$\sin p + \sin q = 2\sin\frac{p+q}{2} \times \cos\frac{p-q}{2}$$
$$\sin p - \sin q = 2\cos\frac{p+q}{2} \times \sin\frac{p-q}{2}$$
$$\cos p + \cos q = 2\cos\frac{p+q}{2} \times \cos\frac{p-q}{2}$$
$$\cos p - \cos q = -2\sin\frac{p+q}{2} \times \sin\frac{p-q}{2}$$
$$e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta$$
$$e^{-i\theta} = \cos\theta - i\sin\theta$$

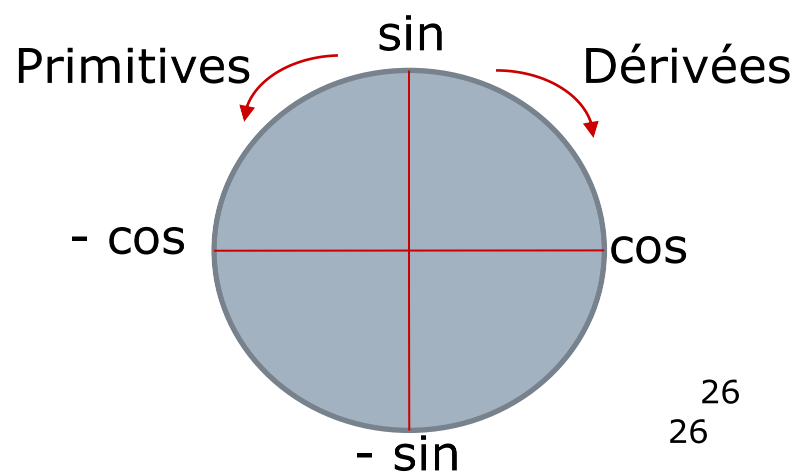
Propriétés de trigonométrie:

Angle	Sinus	Cosinus	Tangente
0	**0**	**1**	**0**
$\pi/6$ (30°)	1/2	$\sqrt{3}/2$	$\sqrt{3}/3$
$\pi/3$ (60°)	$\sqrt{3}/2$	1/2	$\sqrt{3}$
$\pi/4$ (45°)	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$	1
$\pi/2$ (90°)	**1**	**0**	**$+\infty$**
π (180°)	0	-1	0
$-\alpha$	$-\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$-\tan\alpha$
$\pi-\alpha$	$\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$-\tan\alpha$
$\pi+\alpha$	**$-\sin\alpha$**	**$-\cos\alpha$**	**$\tan\alpha$**
$\pi/2-\alpha$	$\cos\alpha$	$\sin\alpha$	$1/\tan\alpha$

Dérivées de trigonométrie

$(\sin\theta)'=\cos\theta$

$(\cos\theta)'=-\sin\theta$



26

Calcul infinitésimal

Isaac Newton
(1643–1727)

$x = t^n$	$\frac{dx}{dt} = nt^{n-1}$
$x = c$	$\frac{dx}{dt} = 0$
$x = cu$	$\frac{dx}{dt} = c\frac{du}{dt}$
$x = u + v$	$\frac{dx}{dt} = \frac{du}{dt} + \frac{dv}{dt}$
$x = f(u)$	$\frac{dx}{dt} = \frac{df}{du}\frac{du}{dt}$

Gottfried Wilhelm Leibniz
(1646 –1716)

Rappel de Mathématique

Différentielle d'une fonction:

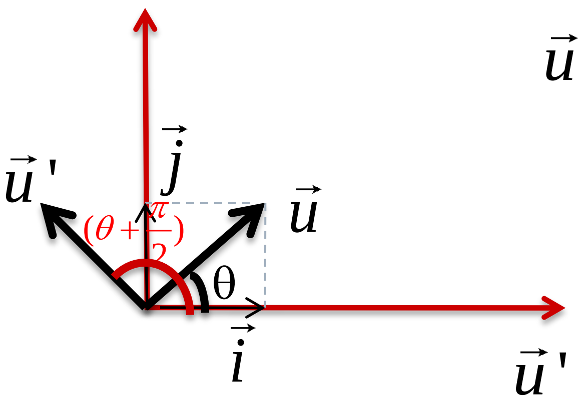
$$df = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \frac{\partial f}{\partial z} dz$$

$\dfrac{\partial f}{\partial x}, \dfrac{\partial f}{\partial y}$ et $\dfrac{\partial f}{\partial z}$: sont les dérivées partielles de f(x, y, z)

gradian d'une fonction:

$$\overrightarrow{grad}\, f = \frac{\partial f}{\partial x}\,\bar{i} + \frac{\partial f}{\partial y}\,\vec{j} + \frac{\partial f}{\partial z}\,\vec{k}$$

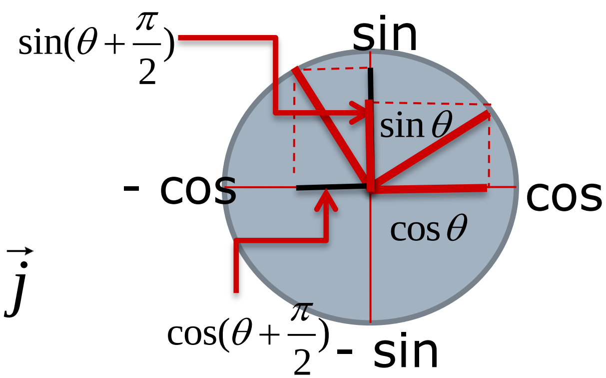
Dérivée d'un vecteur unitaire:



$$\vec{u} = \cos\theta\vec{i} + \sin\theta\vec{j}$$

$$\vec{u}\,' = \cos(\theta+\frac{\pi}{2})\vec{i} + \sin(\theta+\frac{\pi}{2})\vec{j}$$

$$\cos(\theta+\frac{\pi}{2}) = -\sin\theta \qquad \sin(\theta+\frac{\pi}{2}) = \cos\theta$$



$$\vec{u}\,' = -\sin\theta\vec{i} + \cos\theta\vec{j}$$

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = -\sin\theta\frac{d\theta}{dt}\vec{i} + \cos\theta\frac{d\theta}{dt}\vec{j} = \frac{d\theta}{dt}(-\sin\theta\vec{i} + \cos\theta\vec{j})$$

Donc: $$\frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{d\theta}{dt}\vec{u}\,'$$ Et : $$\boxed{\frac{d\vec{u}\,'}{dt} = -\frac{d\theta}{dt}\vec{u}}$$

tème international d'unités (SI)

lopté par la 11e Conférence générale des poids et mesures (1960)

Tableau 5. Préfixes SI

Facteur	Nom	Symbole	Facteur	Nom	Symbole
10^{1}	déca	da	10^{-1}	déci	d
10^{2}	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^{3}	kilo	k	10^{-3}	milli	m
10^{6}	méga	M	10^{-6}	micro	µ
10^{9}	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	téra	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	péta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

La mécanique classique et ses héros

Galileo Galilei *dit* Galilée
(1594–1642)

Isaac Newton
(1643–1727)

Pierre Varignon
(1654–1722)

Leonhard Euler
(1707–1783)