Le produit scalaire

dans le plan

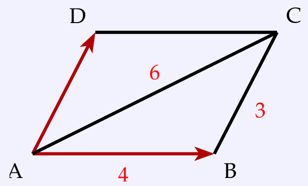
1^re^ définition : définition normative

Le produit scalaire de deux vecteurs $\vec{u}$ et $\vec{v}$ est le nombre réel, noté $\vec{u}\cdot\vec{v}$ et lu « $\vec{u}$ scalaire $\vec{v}$ » tel que :

$$\vec{u}\cdot\vec{v} = \frac{1}{2}\left(||\vec{u}+\vec{v}||^2 - ||\vec{u}||^2 - ||\vec{v}||^2\right)$$

Remarque : Cette définition mesure le défaut d'orthogonalité entre les vecteurs $\vec{u}$ et $\vec{v}$.

Soit ABCD un parallélogramme.
$\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AD} = \overrightarrow{AC}$



$$\overrightarrow{AB}\cdot\overrightarrow{AD} = \frac{1}{2}\left(||\overrightarrow{AB}+\overrightarrow{AD}||^2 - ||\overrightarrow{AB}||^2 - ||\overrightarrow{AD}||^2\right)$$
$$= \frac{1}{2}(AC^2 - AB^2 - AD^2) = \frac{11}{2}$$

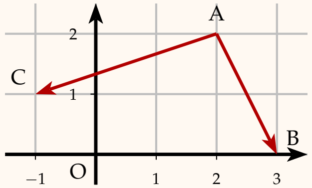
2^e^ définition : définition analytique

Dans un **repère orthonormé** $(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$, le produit scalaire de deux vecteurs $\vec{u}\begin{pmatrix}x\\y\end{pmatrix}$ et $\vec{v}\begin{pmatrix}x'\\y'\end{pmatrix}$ est égal à :

$$\vec{u}\cdot\vec{v} = \begin{pmatrix}x\\y\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}x'\\y'\end{pmatrix} = xx' + yy'$$

$$\overrightarrow{AB}\begin{pmatrix}1\\-2\end{pmatrix}$$

$$\overrightarrow{AC}\begin{pmatrix}-3\\-1\end{pmatrix}$$



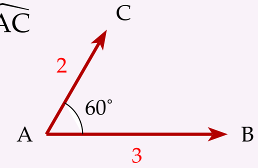
$$\overrightarrow{AB}\cdot\overrightarrow{AC} = \begin{pmatrix}1\\-2\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}-3\\-1\end{pmatrix} = 1(-3)+(-2)(-1) = -1$$

3^e^ définition : définition projective

Le produit scalaire de deux vecteurs $\vec{u}$ et $\vec{v}$ est défini par :

$$\vec{u}\cdot\vec{v} = ||\vec{u}|| \times ||\vec{v}|| \times \cos(\vec{u},\vec{v})$$

$$\begin{aligned}\overrightarrow{AB}\cdot\overrightarrow{AC} &= AB \times AC \times \cos\widehat{BAC}\\ &= 3 \times 2 \times \cos 60^\circ\\ &= 6 \times \frac{1}{2} = 3\end{aligned}$$



Remarque :
$\overrightarrow{AB}\cdot\overrightarrow{AC} > 0 \Leftrightarrow \widehat{BAC} < 90^\circ$
$\overrightarrow{AB}\cdot\overrightarrow{AC} < 0 \Leftrightarrow \widehat{BAC} > 90^\circ$

Propriétés algébriques du produit scalaire

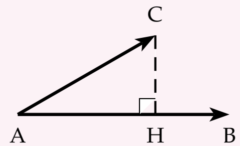
- Commutativité : $\forall\, \vec{u}, \vec{v}$

  $\vec{u}\cdot\vec{v} = \vec{v}\cdot\vec{u}$ car $\cos(\vec{u},\vec{v}) = \cos(\vec{v},\vec{u})$
- Bilinéarité : $\forall\, \vec{u}, \vec{v}, \vec{w}$ et $\forall a, b \in \mathbb{R}$

  $\vec{u}\,(\vec{v}+\vec{w}) = \vec{u}\cdot\vec{v} + \vec{u}\cdot\vec{w}$ et $(a\vec{u})\cdot(b\vec{v}) = ab \times \vec{u}\cdot\vec{v}$

Théorème de la projection

Soit H la projeté orthogonal de C sur la droite (AB), on a alors :
$\overrightarrow{AB}\cdot\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AH}$



Détecteur d'angle droit

Pour tous vecteurs $\vec{u}$ et $\vec{v}$ non nuls :

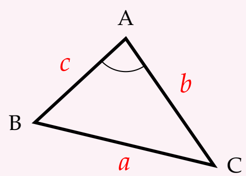
$$\vec{u}\cdot\vec{v} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases}\vec{u} \perp \vec{v} \quad \vec{u} \text{ et } \vec{v} \text{ sont orthogonaux}\\ \vec{u} \text{ et } \vec{v} \text{ sont portés par des droites}\\ \text{perpendiculaires}\end{cases}$$

Relation d'Al-Kashi

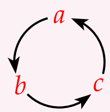
Généralisation du théorème de Pythagore.

a, b et c sont les longueurs des côtés opposés respectivement à A, B et C. On a :

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\cos\widehat{A}$$

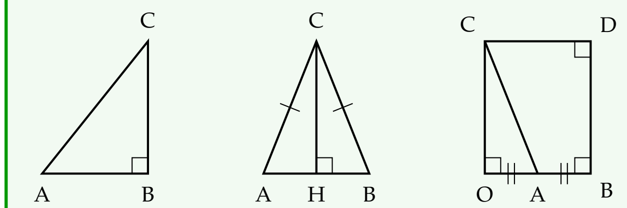


Par permutation circulaire :



- $b^2 = c^2 + a^2 - 2ca\cos\widehat{B}$
- $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\widehat{C}$

Quelques applications de la projection

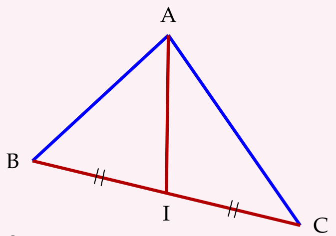


$\overrightarrow{AB}\cdot\overrightarrow{AC} = AB^2$ $\qquad$ $\overrightarrow{AB}\cdot\overrightarrow{AC} = \frac{1}{2}AB^2$ $\qquad$ $\overrightarrow{AB}\cdot\overrightarrow{AC} = -AB^2$

Théorème de la médiane
(à savoir démontrer !)

Soit I le milieu du segment [BC], alors pour tout point A du plan :

$$AB^2 + AC^2 = 2AI^2 + \frac{1}{2}BC^2$$



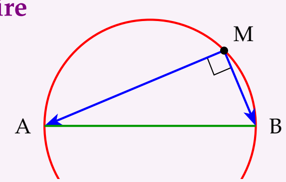
Démonstration

$$\begin{aligned} AB^2 + AC^2 &= (\overrightarrow{AI} + \overrightarrow{IB})^2 + (\overrightarrow{AI} + \overrightarrow{IC})^2 \\ &= AI^2 + 2 \times \overrightarrow{AI} \cdot \overrightarrow{IB} + IB^2 + AI^2 + 2 \times \overrightarrow{AI} \cdot \overrightarrow{IC} + IC^2 \\ &= 2AI^2 + 2 \times \overrightarrow{AI}\,\underbrace{(\overrightarrow{IB} + \overrightarrow{IC})}_{\overrightarrow{IB}+\overrightarrow{IC}=\overrightarrow{0}} + \underbrace{IB^2 + IC^2}_{IB=IC=\frac{BC}{2}} \end{aligned}$$

$$AB^2 + AC^2 = 2AI^2 + \frac{BC^2}{2}$$

Cercle et produit scalaire

$$\begin{cases} M \in \mathscr{C} \\ \text{de diamètre } [AB] \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} AMB \text{ est rectangle en } M \\ \overrightarrow{MA} \cdot \overrightarrow{MB} = 0 \end{cases}$$



On appelle $\mathscr{C}(\Omega, r)$ le cercle de centre Ω et de rayon r.

$$M\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \in \mathscr{C}(\Omega, r) \Leftrightarrow \begin{cases} \Omega M^2 = r^2 \\ (x - x_\Omega)^2 + (y - y_\Omega)^2 = r^2 \end{cases}$$

Méthode : savoir réduire une forme développée d'un cercle pour trouver ses éléments caractéristiques (centre et rayon). Soit le cercle $\mathscr{C}$ d'équation :

$$x^2 + y^2 - x + 6y + \frac{21}{4} = 0 \Leftrightarrow (x^2 - x) + (y^2 + 6y) + \frac{21}{4} = 0 \Leftrightarrow$$

$$\left(x - \frac{1}{2}\right)^2 - \frac{1}{4} + (y+3)^2 - 9 + \frac{21}{4} = 0 \Leftrightarrow \left(x - \frac{1}{2}\right)^2 + (y+3)^2 = 4$$

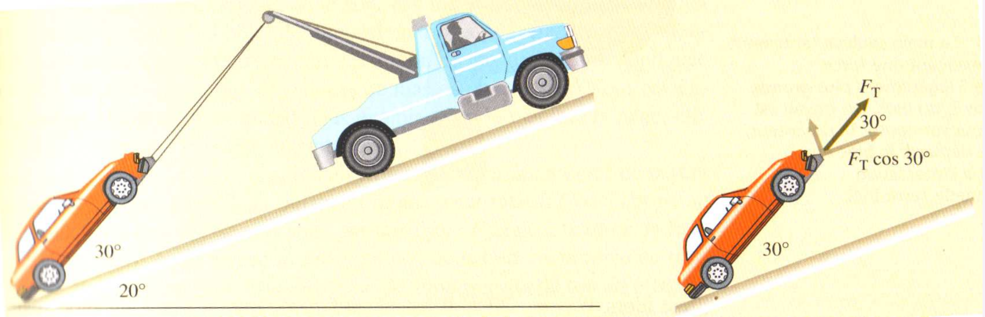
$\mathscr{C}$ est un cercle de centre $\Omega\left(\frac{1}{2}\,;\,-3\right)$ et de rayon $r = 2$

Application du produit scalaire à la physique : travail d'une force

Le travail d'une force est une des origines du produit scalaire en mathématique. Le travail d'une force W (« work ») mesure la participation d'une force dans le déplacement d'un mobile. Il est défini comme le produit scalaire du vecteur force $\overrightarrow{F}$ par le vecteur déplacement $\overrightarrow{\ell}$. Il se mesure en joules.

$$W = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{\ell}$$

Une dépanneuse remorque une voiture en panne sur une côte de 20˚. La tension du câble est constante et les deux véhicules ont une accélération constante. En supposant que le câble fait un angle de 30˚avec le plan de la route et que la tension est de 1600 N, quel est le travail effectué par la dépanneuse sur la voiture si celle-ci la remorque sur une distance de 500 m sur cette route en pente.



L'angle de la route n'a pas d'importance ici. On a alors :

$$W = \overrightarrow{F_T} \cdot \overrightarrow{\ell} = F_T \times \ell \times \cos 30^\circ = 1600 \times 500 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 400\,000\sqrt{3} \text{ J} \approx 692,82 \text{ kJ}$$