Exercices résolus de mathématiques.

Géométrie synthétique plane

GSP 3

EXGSP030 – EXGSP039

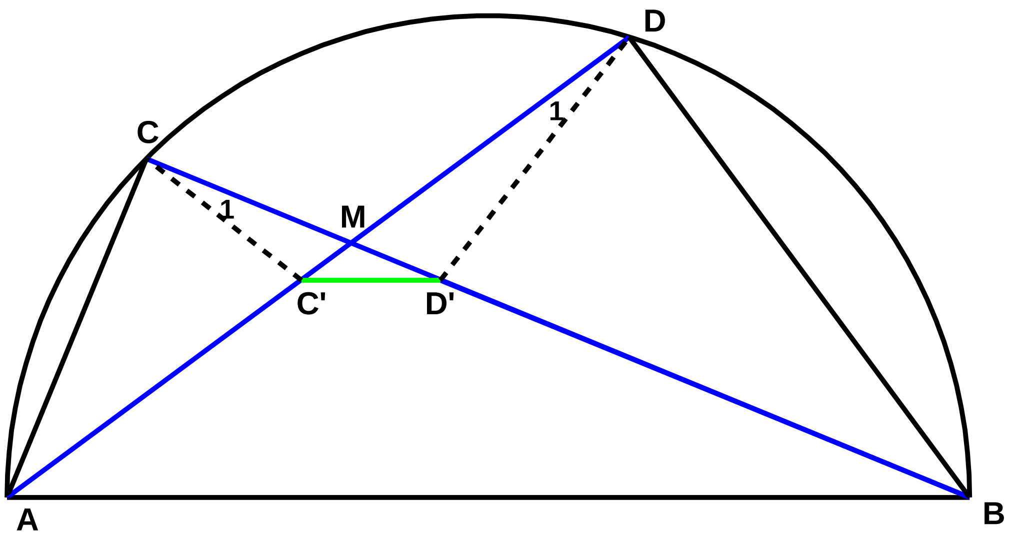
http://www.matheux.be.tf

Jacques Collot

1 avril 03

EXGSP030 – Liège, septembre 1997.

Soient un demi-cercle de diamètre AB et C et D deux points du demi-cercle de A et B.
On suppose que les cordes AD et BC se coupent en M.
On fixe C' sur la corde AD tel que | AC' | = | AC | et D' sur la corde BC tel que | BD' | = | BD |.
Démontrer que les triangles ACM et BDM sont semblables et que C'D' est parallèle à AB.



$CAD = CBD$ car interceptent le même arc.

$\to$ Les triangles rectangles ACM et BDM sont semblables

$$\to \frac{AC}{BD} = \frac{CM}{\underline{DM}} = \boxed{\frac{AM}{BM}}$$

Les triangle $CC'A$ et $DD'B$ sont aussi semblables

(car deux triangles isocèles, et l'angle au sommet égal).

$$\to \frac{CC}{\underline{\underline{DD'}}} = \frac{CA}{DB} = \boxed{\frac{C'A}{D'B}}$$

On déduit aussi que $\widehat{DD'B} = \widehat{AC'C} \to \pi - \widehat{DD'B} = \pi - \widehat{AC'C}$

$\to \widehat{MD'D} = \widehat{MC'C}$

De plus $\widehat{CMC'} = \widehat{DMD'}$ car angles opposés par le sommet

$\to \Delta CC'M$ et $\Delta DD'M$ sont semblables

$$\to \frac{CM}{\underline{DM}} = \boxed{\frac{C'M}{D'M}} = \frac{CC'}{\underline{\underline{DD'}}}$$

On déduit des égalités précédentes que :

$$\to \boxed{\frac{AM}{BM}} = \boxed{\frac{C'M}{D'M}} = \boxed{\frac{C'A}{D'B}}$$

Autrement dit, les $\Delta CC'M \ et \ \Delta DD'M$ sont semblables.

Par conséquent, $\boxed{C'D' /\!/ AB}$

EXGSP031– Liège, juillet 1996.

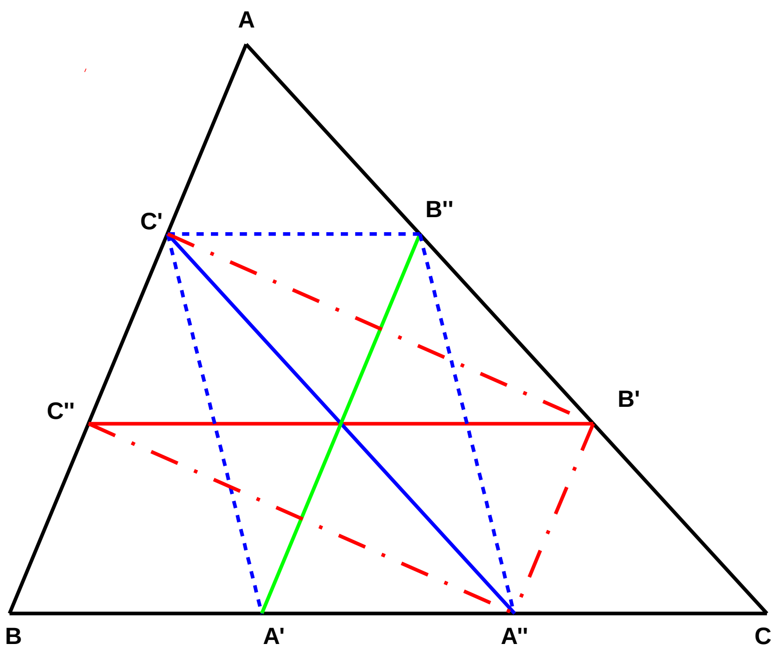
Soit ABC un triangle.
On fixe C’, C’’ sur le côté AB de sorte que :

$$|AC'| = |C'C''| = |C''B|$$

De même, on fixe A’, A’’ et B’, B’’ sur BC et CA de sorte que :

$$|BA'| = |A'A''| = |A''C|$$
$$|CB'| = |B'B''| = |B''A|$$

Démontrer que les segments A’B’’, B’C’’ et C’A’’ se coupent en leur milieu



On a immédiatement :

$$\begin{cases} C'B'' // AB \\ |C'B''| = |A'A''| \end{cases} \rightarrow A'A''B''C' \text{ est un parallélogramme.}$$

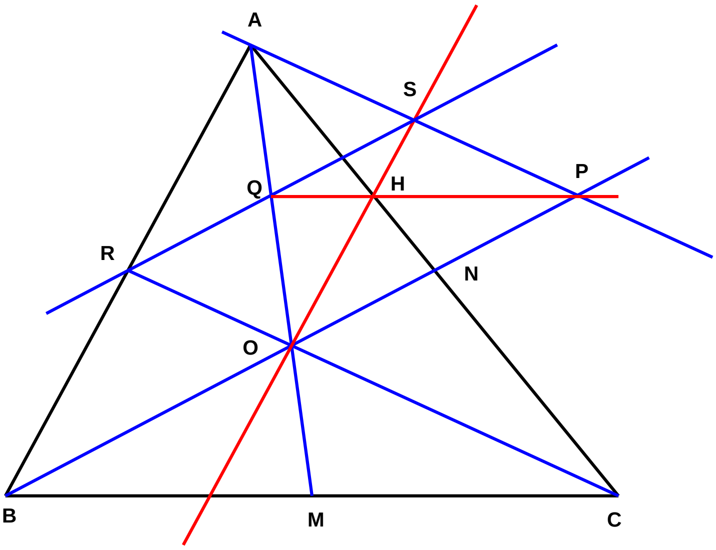
De même, on a $C'C''A''B'$ est un parallélogramme.

Ces deux parallélogrammes ont $C'A''$ comme diagonale commune, dont le milieu est unique.

$\rightarrow$ $A'B'$, $B'C''$ et $C'\,A''$ se coupent en leur milieu.

EXGSP032– Liège, septembre 1996.

Soit un triangle ABC. On désigne par M le milieu de BC, par N le milieu de AC et par O le point d'intersection de AM et BN.
La droite BN coupe la parallèle à CO passant par A en P.
Démontrer que la parallèle passant par O et la parallèle à BC passant par P se coupent en un point de AC.



$\Delta ANP = \Delta ONC$ car un côté égal compris entre deux angles égaux.

$\rightarrow$ ON=NP $\rightarrow$ AC est une médiane du ΔAOP

$OP = OB$ puisque $ON = \dfrac{1}{2}OB$ (O est centre de gravité).

$\rightarrow$ $\Delta BMO = \Delta OQP$ car un côté égal compris entre deux angles égaux.

$\rightarrow$ OQ=OM=$\dfrac{1}{2}OA$ $\rightarrow$ PQ est une médiane du ΔAOP

CO coupe AB en R. CR est une médiane de ΔABC.

$RQ \ // \ BP$ puisque RQ joint le milieu des deux côtés du ΔABO.

RQ passe par S puisque $ASOR$ est un parallélogramme dont AO est une diagonale et Q le milieu de celle-ci.

$\rightarrow$ Dans le ΔABP, comme $BR = RA$ $\rightarrow$ $AS = SP$.

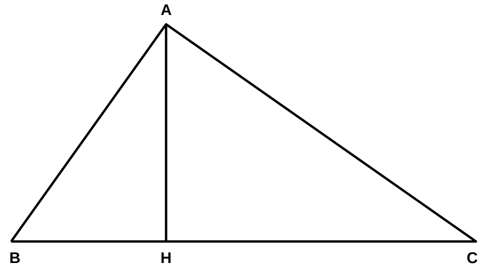
$\rightarrow$ OS est une médiane du ΔAOP

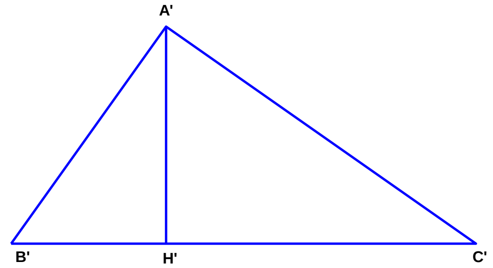
Les trois médianes d'un triangle se coupent en un même point:

$\rightarrow$ QP coupe OS en H situé sur AC.

EXGSP033– Liège, septembre 1996.

Soit un triangle ABC rectangle en A et H le pied de la hauteur issue de A.
De même, soient A'B'C' un triangle rectangle en A' et H' le pied de la hauteur issue de A'.
Démontrer que si | BC | = | B'C' | et | AH | = | A'H' |, les triangles ABC et A'B'C' sont isométriques.





$\begin{cases} AH^2 = BH.HC \\ A'H'^2 = B'H'.H'C' \end{cases}$ car dans un triangle rectangle la hauteur est moyenne proportionnelle entre les segments qu'elle détermine sur l'hypoténuse.

$\rightarrow \begin{cases} AH^2 = BH.(BC - BH) \\ A'H'^2 = B'H'.(B'C' - B'H') \end{cases}$

Comme $AH = A'H' = a$ et $BC = B'C' = b$, on obtient :

$\begin{cases} a^2 = BH.(b - BH) \\ a^2 = B'H'.(b - B'H') \end{cases}$ Ce sont deux équations du second degré qui la même forme et les mêmes coefficients. Les solutions sont donc identiques.

$\rightarrow$ $BH = B'H'$ et $CH = C'H'$

$\rightarrow$ ΔABC et $\Delta A'B'C'$ sont isométriques.

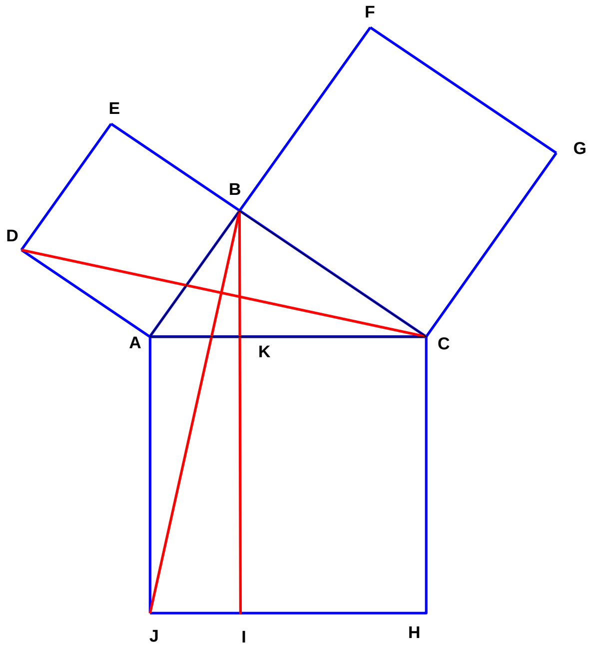
Note

Comme c'est une équation du second dégré, il y a deux solutions, qui correspondent aux symétriques.

EXGSP034 – Théorème de Pythagore, démonstration d'Euclide..

Dans un triangle rectangle ABC, si AC désigne l'hypoténuse, on a

$$|AB|^2 + |BC|^2 = |AC|^2|$$



On trace BJ et DC. On trace $BI \,//\, CH$.

$\Delta ADC = \Delta ABJ$ car $\angle DAC = \angle BAJ$, $DA = AB$ et $AC = AJ$

Le ΔADC a une surface moitié du carré $ADEB$, car $EC \,//\, DA$

$$\mathcal{S}_{ADC} = \frac{1}{2} DA.DE \quad \text{et} \quad \mathcal{S}_{ADEB} = DA.DE$$

De même $\mathcal{S}_{ABJ} = \frac{1}{2}\mathcal{S}_{AKIJ}$ car $BI \,//\, AJ$

$\rightarrow \quad \mathcal{S}_{ADEB} = \mathcal{S}_{AKIJ}$

On démontre de même, mutadis mutandis, que

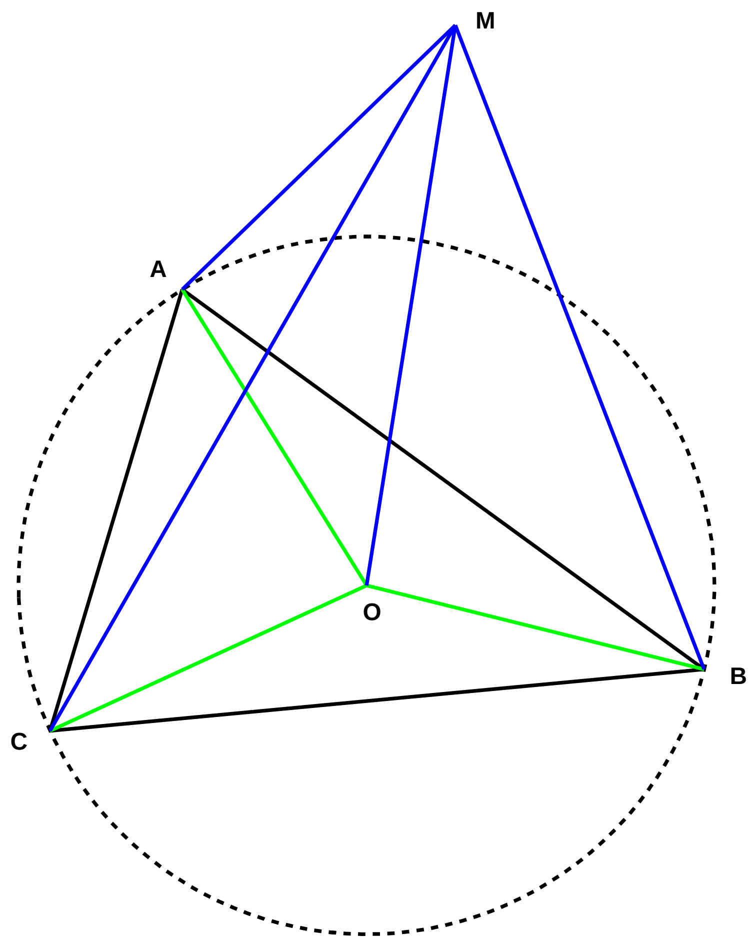
$$\mathcal{S}_{BFGC} = \mathcal{S}_{KCHI}$$

Conclusion : $\boxed{|AB|^2 + |BC|^2 = |AC|^2}$

EXGSP035 – Liège, juillet 2000.

Si O est le centre du cercle circonscrit à un triangle ABC (O est le point d'intersection des médiatrices) et si M est un point quelconque du plan, démontrer que le vecteur **OM** est orthogonal au vecteur :

$$|\mathbf{MA}|^2 . \mathbf{BC} + |\mathbf{MB}|^2 . \mathbf{CA} + |\mathbf{MC}|^2 . \mathbf{AB}|$$



$$\begin{cases} |\mathbf{MA}|^2 \,.\, \mathbf{BC} = \mathbf{MA}^2.\mathbf{BC} = \left(\mathbf{MO} + \mathbf{OA}\right)^2.\,\mathbf{BC} \\ \mathbf{MB}\,|^2 \,.\, \mathbf{BA} = \mathbf{MB}^2.\mathbf{CA} = \left(\mathbf{MO} + \mathbf{OB}\right)^2.\,\mathbf{CA} \\ \mathbf{MC}\,|^2 \,.\, \mathbf{AB} = \mathbf{MC}^2.\mathbf{AB} = \left(\mathbf{MO} + \mathbf{OC}\right)^2.\,\mathbf{AB} \end{cases}$$

$$\begin{cases} |\mathbf{MA}|^2 \,.\, \mathbf{BC} = \left(\mathbf{MO} + 2\,\mathbf{MO}\,.\,\mathbf{OA} + \mathbf{OA}\right)^2 .\,\mathbf{BC} & (1) \\ \mathbf{MB}\,|^2 \,.\, \mathbf{BA} = \left(\mathbf{MO} + 2\,\mathbf{MO}\,.\,\mathbf{OB} + \mathbf{OB}\right)^2 .\,\mathbf{CA} & (2) \\ \mathbf{MC}\,|^2 \,.\, \mathbf{AB} = \left(\mathbf{MO} + 2\,\mathbf{MO}\,.\,\mathbf{OC} + \mathbf{OC}\right)^2 .\,\mathbf{AB} & (3) \end{cases}$$

Or comme *O* est le centre du cercle inscrit :

$\mathbf{OA}^2 = |\mathbf{OA}|^2 = \quad \mathbf{OB}^2 = |\mathbf{OB}|^2 = \quad \mathbf{OC}^2 = |\mathbf{OC}|^2$

L'expression $\mathbf{BC} + \mathbf{CA} + \mathbf{AB} = 0$

peut s'écrire : $\mathbf{OA}^2.\mathbf{BC} + \mathbf{OB}^2.\mathbf{CA} + \mathbf{OC}^2.\mathbf{AB} = 0 \quad (4)$

De même : $\mathbf{MO}^2.\mathbf{BC} + \mathbf{MO}^2.\mathbf{CA} + \mathbf{MO}^2.\mathbf{AB} = 0 \quad (5)$

Additionnons les équations (1), (2) et (3) en tenant compte de (4) et (5).

Il reste :

$2\,\mathbf{MO}\left(\mathbf{OA}\;\mathbf{BC} + \mathbf{OB}\;\mathbf{CA} + \mathbf{OC}\;\mathbf{AB}\right) \qquad (6)$

$= 2\,\mathbf{MO}\left(\mathbf{OA}\left(\mathbf{BO} + \mathbf{OC}\right) + \mathbf{OB}\left(\mathbf{CO} + \mathbf{OA}\right) + \mathbf{OC}\left(\mathbf{AO} + \mathbf{OB}\right)\right)$

$= 2\,\mathbf{MO}\left(-\mathbf{OA}\;\mathbf{OB} + \mathbf{OA}\;\mathbf{OC} - \mathbf{OB}\;\mathbf{OC} + \mathbf{OA}\;\mathbf{OB} - \mathbf{OC}\;\mathbf{OA} + \mathbf{OC}\;\mathbf{OB}\right)$

$= 0$

Le deuxième vecteur est donc nul.

Par conséquent : les deux vecteurs sont orthogonaux, puisque leur produit est nul.

Remarque :

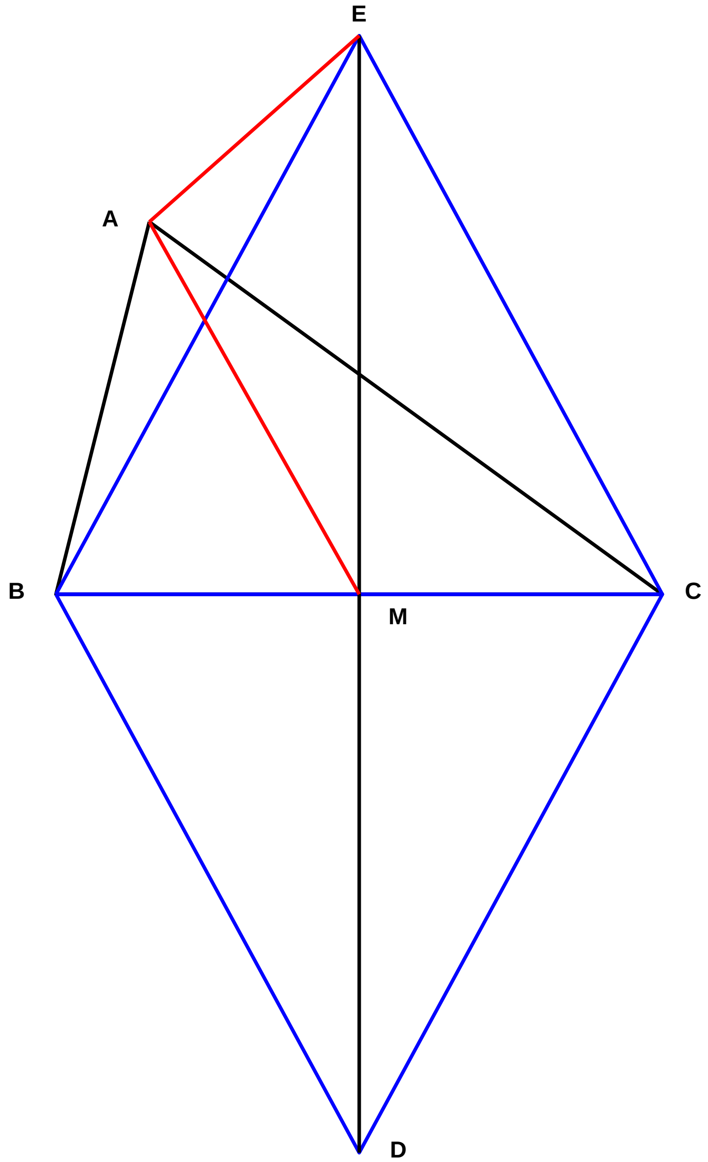
On ne peut pas déduire directement que l'équation (6) est nulle.

Il ne faut pas confondre le type de l'équation $\mathbf{OA}\;\mathbf{BC} + \mathbf{OB}\;\mathbf{CA} + \mathbf{OC}\;\mathbf{AB}$ (où chaque terme est le produit de deux vecteurs) avec le type de l'équation (4) $\mathbf{OA}^2.\mathbf{BC} + \mathbf{OB}^2.\mathbf{CA} + \mathbf{OC}^2.\mathbf{AB}$ (où chaque terme est le produit d'un scalaire par un vecteur).

EXGSP036 – Liège, septembre 2000.

On donne un triangle ABC et deux points distincts D et E tels que BCD et BCE soient des triangles équilatéraux.
Montrer que :

$$|AD|^2 + |AE|^2 = |AB|^2 + |BC|^2 + |CA|^2$$



Développons le premier membre de l'égalité :

$$\begin{cases} \mathbf{AD} = \mathbf{AM} + \mathbf{MD} & \rightarrow \ \mathbf{AD}^2 = \mathbf{AM}^2 + 2\,\mathbf{AM}\,\mathbf{MD} + \mathbf{MD}^2 \\ \mathbf{AE} = \mathbf{AM} + \mathbf{ME} & \rightarrow \ \mathbf{AE}^2 = \mathbf{AM}^2 + 2\,\mathbf{AM}\,\mathbf{ME} + \mathbf{ME}^2 \end{cases}$$

En additionnant membre à membres et en tenant compte que

$\mathbf{AM}\,\mathbf{MD} = -\mathbf{AM}\,\mathbf{ME}$ et que $\mathbf{MD}^2 = \mathbf{ME}^2$

On obtient:

$$|\mathbf{AD}|^2 + |\mathbf{AE}|^2 = 2\,|\mathbf{AM}|^2 + 2\,|\mathbf{ME}|^2$$

Or $|\mathbf{ME}|^2 = \frac{3}{4}|\mathbf{BC}|^2$ (car BE=BC=$\frac{1}{2}MB$)

Finalement: $|\mathbf{AD}|^2 + |\mathbf{AE}|^2 = 2\,|\mathbf{AM}|^2 + \frac{3}{2}|\mathbf{BC}|^2$ (1)

Développons le second membre de l'égalité.

$$\begin{cases} \mathbf{AB} = \mathbf{AM} + \mathbf{MB} = \mathbf{AM} + \frac{1}{2}\mathbf{CB} \\ \mathbf{BC} = \mathbf{BC} \\ \mathbf{CA} = \mathbf{CM} + \mathbf{MA} = \frac{1}{2}\mathbf{CB} + \mathbf{MA} \end{cases}$$

$$\begin{cases} |\mathbf{AB}|^2 = |\mathbf{AM}|^2 + \mathbf{AM}\,\mathbf{CB} + \frac{1}{4}|\mathbf{CB}|^2 \\ |\mathbf{BC}|^2 = |\mathbf{BC}|^2 \\ |\mathbf{CA}|^2 = \frac{1}{4}|\mathbf{CB}|^2 + \mathbf{CB}\,\mathbf{MA} + |\mathbf{MA}|^2 \end{cases}$$

On additionne membre à membre :

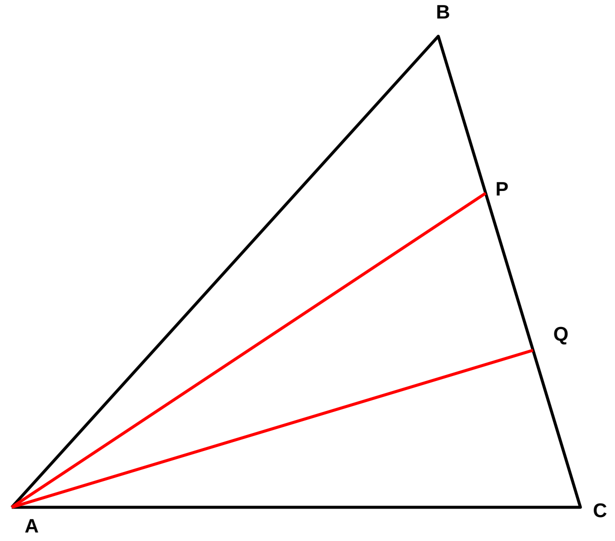
$$|\mathbf{AB}|^2 + |\mathbf{BC}|^2 + |\mathbf{CA}|^2 = \frac{3}{2}|\mathbf{CB}|^2 + 2\,|\mathbf{MA}|^2 \qquad (2)$$

Les équations (1) et (2) sont égales.

EXGSP037 – Liège, septembre 2000.

Soit ABC un triangle. Les points P et Q partagent le côté BC en trois parties égales.

a) Exprimer | **AB** | ² + | **AQ** | ² en fonction de | **AP** | ² + | **PQ** | ²
b) Démontrer que | **AB** | ² - | **AC** | ² = 3 (| **AP** | ² - | **AQ** | ²)



1) On a : $\mathbf{AB}+\mathbf{AQ}=2\,\mathbf{AP} \;\rightarrow\; \mathbf{AB}^2+2\,\mathbf{AB}\,\mathbf{AQ}+\mathbf{AQ}^2=4\,\mathbf{AP}^2$

or $\mathbf{AB}=\mathbf{AP}+\mathbf{PB}=\mathbf{AP}-\mathbf{PB}=\mathbf{AP}-\mathbf{PQ}$

et $\mathbf{AQ}=\mathbf{AP}+\mathbf{PQ}$

Donc $\mathbf{AB}^2+2\left(\mathbf{AP}-\mathbf{PQ}\right)\left(\mathbf{AP}+\mathbf{PQ}\right)+\mathbf{AQ}^2=4\,\mathbf{AP}^2$

$\rightarrow \quad \mathbf{AB}^2+2\,\mathbf{AP}^2-2\,\mathbf{PQ}^2+\mathbf{AQ}^2=4\,\mathbf{AP}^2$

$\rightarrow \quad \mathbf{AB}^2+\mathbf{AQ}^2=2\left(\mathbf{AP}^2+\mathbf{AQ}^2\right)$

Et finalement : $\boxed{\left|\mathbf{AB}\right|^2+\left|\mathbf{AQ}\right|^2=2\left(\left|\mathbf{AP}\right|^2+\left|\mathbf{AQ}\right|^2\right)}$

2) Développons le premier membre :

$$\left|\mathbf{AB}\right|^2-\left|\mathbf{AC}\right|^2=\mathbf{AB}^2-\mathbf{AC}^2=\left(\mathbf{AB}-\mathbf{AC}\right)\left(\mathbf{AB}+\mathbf{AC}\right)$$
$$=-\mathbf{BC}\left(\mathbf{AB}+\mathbf{AC}\right)=-3\,\mathbf{PQ}\left(\mathbf{AB}+\mathbf{AC}\right)$$

Développons le deuxième membre :

$$3\left(\left|\mathbf{AP}\right|^2-\left|\mathbf{AQ}\right|^2\right)=3\left(\mathbf{AP}^2-\mathbf{AQ}^2\right)=3\left(\mathbf{AP}-\mathbf{AQ}\right)\left(\mathbf{AP}+\mathbf{AQ}\right)$$
$$=-3\,\mathbf{PQ}\left(\mathbf{AP}+\mathbf{AQ}\right)=-3\,\mathbf{PQ}\left(\mathbf{AB}+\mathbf{BP}+\mathbf{AC}+\mathbf{CQ}\right)$$
$$=-3\,\mathbf{PQ}\left(\mathbf{AB}+\mathbf{AC}\right)$$

Ce qui vérifie l'égalité.

EXGSP038 – Liège, juillet 1999.

Si les quatre points A, B, C et H vérifient

$$\mathbf{AH}\ \mathbf{BC} + \mathbf{BH}\ \mathbf{CA} + \mathbf{CH}\ \mathbf{AB} = 0$$

Et si X est tel que :

$$2\,\mathbf{XH} = \mathbf{AH} + \mathbf{BH} + \mathbf{CH}$$

Démontrer que :

$$|\mathbf{AX}|^2 = |\mathbf{BX}|^2 = |\mathbf{CX}|^2$$

$$\begin{aligned} 2\,\mathbf{AX} &= 2\,\mathbf{AB} + 2\,\mathbf{BH} + 2\,\mathbf{HX} = 2\,\mathbf{AB} + 2\,\mathbf{BH} - \mathbf{AH} - \mathbf{BH} - \mathbf{CH} \\ &= 2\,\mathbf{AB} + \mathbf{BH} - \mathbf{AH} - \mathbf{CH} = 2\,\mathbf{AB} - \mathbf{AB} - \mathbf{CH} = \mathbf{AB} - \mathbf{CH} \end{aligned}$$

De même pour **BX** et **CX**. On aura donc :

$$\begin{cases} 2\,\mathbf{AX} = \mathbf{AB} - \mathbf{CH} & \rightarrow \quad 4\,|\mathbf{AX}|^2 = |\mathbf{AB}|^2 + |\mathbf{CH}|^2 \quad \textit{car} \quad \mathbf{AB}\,.\,\mathbf{CH} = 0 \\ 2\,\mathbf{BX} = \mathbf{BC} - \mathbf{AH} & \rightarrow \quad 4\,|\mathbf{BX}|^2 = |\mathbf{BC}|^2 + |\mathbf{AH}|^2 \quad \textit{car} \quad \mathbf{BC}\,.\,\mathbf{AH} = 0 \\ 2\,\mathbf{CX} = \mathbf{CA} - \mathbf{BH} & \rightarrow \quad 4\,|\mathbf{CX}|^2 = |\mathbf{CA}|^2 + |\mathbf{BH}|^2 \quad \textit{car} \quad \mathbf{CA}\,.\,\mathbf{BH} = 0 \end{cases}$$

Or $\quad 2\,\mathbf{AX} = \mathbf{AB} - \mathbf{CH}$ donne aussi:

$$2\left(\mathbf{AB} + \mathbf{BX}\right) = \mathbf{AB} - \mathbf{CH}$$

$$2\,\mathbf{BX} = -\mathbf{AB} - \mathbf{CH} \rightarrow 4\,|\mathbf{BX}|^2 = |\mathbf{AB}|^2 + |\mathbf{CH}|^2$$

Et donc $|\mathbf{AX}|^2 = |\mathbf{BX}|^2$

De même :

$2\,\mathbf{BX} = \mathbf{BC} - \mathbf{AH}$ donne aussi:

$$2\left(\mathbf{BC} + \mathbf{CX}\right) = \mathbf{BC} - \mathbf{AH}$$

$$2\,\mathbf{CX} = -\mathbf{BC} - \mathbf{AH} \rightarrow 4\,|\mathbf{CX}|^2 = |\mathbf{BC}|^2 + |\mathbf{AH}|^2$$

Et donc : $|\mathbf{CX}|^2 = |\mathbf{BX}|^2$

Finalement : $\boxed{|\mathbf{AX}|^2 = |\mathbf{BX}|^2 = |\mathbf{CX}|^2}$

Note : Ce théorème est aussi valide dans l'espace.

EXGSP039 – Liège, septembre 1999.

Démontrer que si

$$\mathbf{AB} \cdot \mathbf{CD} = \mathbf{AC} \cdot \mathbf{BD} = 0$$

Alors

1) $\mathbf{AD} \cdot \mathbf{BC} = 0$
2) $|\mathbf{AB}|^2 + |\mathbf{CD}|^2 = |\mathbf{AC}|^2 + |\mathbf{BD}|^2$

1) $\mathbf{AD} \cdot \mathbf{BC} = (\mathbf{AB} + \mathbf{BD})(\mathbf{BD} + \mathbf{DC})$

$$= \mathbf{AB} \cdot \mathbf{BD} + \mathbf{BD}^2 + \mathbf{AB} \cdot \mathbf{DC} + \mathbf{BD} \cdot \mathbf{DC}$$

$$= \mathbf{AB}(\mathbf{BC} + \mathbf{CD}) + \mathbf{BD}^2 + \mathbf{BD}(\mathbf{DA} + \mathbf{AC})$$

$$= \mathbf{AB} \cdot \mathbf{BC} + \mathbf{AB} \cdot \mathbf{CD} + \mathbf{BD}^2 + \mathbf{BD} \cdot \mathbf{DA} + \mathbf{BD} \cdot \mathbf{AC}$$

$$= \mathbf{AB} \cdot \mathbf{BC} + \mathbf{BD}(\mathbf{BD} + \mathbf{DA})$$

$$= \mathbf{AB} \cdot \mathbf{BC} + \mathbf{BD} \cdot \mathbf{BA} = \mathbf{AB}(\mathbf{BC} - \mathbf{BD}) = \mathbf{AB} \cdot \mathbf{CD} = 0$$

2) $(\mathbf{AB} + \mathbf{CD})^2 = (\mathbf{AD} + \mathbf{DB} + \mathbf{CA} + \mathbf{AD})^2$

$$\mathbf{AB}^2 + 2\,\mathbf{AB} \cdot \mathbf{CD} + \mathbf{CD}^2$$

$$= 4\,\mathbf{AD}^2 + \mathbf{DB}^2 + \mathbf{CA}^2 + 4\,\mathbf{AD} \cdot \mathbf{DB} + 4\,\mathbf{AD} \cdot \mathbf{CA} + 2\,\mathbf{DB} \cdot \mathbf{CA}$$

Or $4\,\mathbf{AD} \cdot \mathbf{DB} + 4\,\mathbf{AD} \cdot \mathbf{CA} = 4\,\mathbf{AD}(\mathbf{DB} + \mathbf{CA}) = 4\,\mathbf{AD}(\mathbf{DC} + \mathbf{CB} + \mathbf{CA})$

$$= 4\,\mathbf{AD} \cdot \mathbf{CB} + 4\,\mathbf{AD}(\mathbf{DC} + \mathbf{CA}) = -4\,\mathbf{AD}^2$$

$\rightarrow \quad \mathbf{AB}^2 + \mathbf{CD}^2 = \mathbf{DB}^2 + \mathbf{CA}^2$

Finalement : $\boxed{|\mathbf{AB}|^2 + |\mathbf{CD}|^2 = |\mathbf{DB}|^2 + |\mathbf{CA}|^2}$

Note : Ce théorème est aussi valide dans l'espace.