



Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **20 (1918)**

Heft 1: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE**

PDF erstellt am: **25.09.2024**

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

### **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

qu'on y remplace  $\mathbf{r}_0$  par  $V\mathfrak{b}\mathfrak{f}$ . En tenant compte de ce que

$$[\mathbf{r}_0 \mathbf{r}_1 \mathbf{r}_4] = V\mathfrak{b}\mathfrak{f} \cdot V\mathbf{r}_1 \mathbf{r}_4 = \mathfrak{b} \cdot V\mathfrak{f} \cdot \mathbf{r}_1 \mathbf{r}_4$$

nous trouvons en effet qu'elle prend la forme

$$\begin{aligned} & [\mathfrak{b} \cdot V\mathfrak{f}, \mathbf{r}_1 \mathbf{r}_4][\mathfrak{b} \cdot V\mathfrak{f}, \mathbf{r}_2 \mathbf{r}_3] + [\mathfrak{b} \cdot V\mathfrak{f}, \mathbf{r}_2 \mathbf{r}_4][\mathfrak{b} \cdot V\mathfrak{f}, \mathbf{r}_3 \mathbf{r}_1] \\ & + [\mathfrak{b} \cdot V\mathfrak{f}, \mathbf{r}_3 \mathbf{r}_4][\mathfrak{b} \cdot V\mathfrak{f}, \mathbf{r}_1 \mathbf{r}_2] \equiv 0 . \end{aligned}$$

Or, si  $\mathfrak{f}$  est une droite sphérique quelconque, le point d'intersection de cette droite avec le côté  $(\mathbf{r}_i \mathbf{r}_k)$  du quadrangle complet des  $\mathbf{r}_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ), point que nous voulons appeler  $P_{ik}$ , sera  $V\mathfrak{f}, \mathbf{r}_i \mathbf{r}_k$ . L'identité nous apprend la propriété connue de l'involution des six points

$$P_{14}, P_{23}; \quad P_{24}, P_{31}; \quad P_{34}, P_{12}$$

pourvu que  $\mathfrak{b}$  soit toujours le vecteur symbolique du paragraphe 17 correspondant à certain conique.

### III

22. — Nous arrivons maintenant à une identité nouvelle, qui admet plusieurs interprétations et qui, peut-être plus que les précédentes, montre tout le profit qu'on peut tirer de ces relations vectorielles, non seulement pour démontrer facilement et pour relier entre eux des théorèmes assez différents connus, mais encore pour en trouver des nouveaux.

C'est l'identité

$$[V\mathbf{a}\mathbf{a}' V\mathfrak{b}\mathfrak{b}' V\mathbf{c}\mathbf{c}'] + [V\mathfrak{b}\mathbf{c}' V\mathbf{c}\mathbf{a}' V\mathfrak{a}\mathbf{b}'] + [V\mathbf{c}\mathfrak{b}' V\mathbf{a}\mathbf{c}' V\mathfrak{b}\mathbf{a}'] \equiv 0 . \quad (\text{IX})$$

La démonstration en est simple, quand on remarque que le second et le troisième terme se déduisent du premier par permutation circulaire positive des vecteurs  $\mathbf{a}, \mathfrak{b}, \mathbf{c}$  et par permutation circulaire négative des vecteurs  $\mathbf{a}', \mathfrak{b}', \mathbf{c}'$ . Nous obtenons ainsi en développant les trois produits pseudo-scalaires

$$\begin{aligned} & [aa'c'][\mathfrak{b}'\mathfrak{b}\mathbf{c}] - [a'ac][\mathfrak{b}\mathfrak{b}'c'] \\ & [\mathfrak{b}\mathbf{c}'\mathfrak{b}'][a'ca] - [c'ba][ca'b'] \\ & [c\mathfrak{b}'a'][c'ab] - [\mathfrak{b}'c\mathfrak{b}][ac'a'] \end{aligned}$$

dont la somme est identiquement nulle.

23. — *Applications.* — 1. Si les vecteurs  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$  déterminent les *sommets*  $A_i$  d'un premier,  $\mathbf{a}'$ ,  $\mathbf{b}'$ ,  $\mathbf{c}'$  les *sommets*  $B_i$  d'un second triangle sphérique ou plan, les produits vectoriels du premier et du second terme désignent les trois droites  $A_i B_i$  resp.  $A_i B_{i+1}$ , etc. L'identité tout entière nous apprend que *les triangles sont triplement perspectifs, lorsqu'ils sont doublement perspectifs*, autrement dit: lorsque les droites  $(A_i, B_i)$  et les droites  $(A_i B_{i+1})$  sont concourantes, il en est de même des droites  $(A_i, B_{i-1})$ , car la disparition des deux premiers termes de l'identité entraîne celle du dernier.

2. Si les vecteurs  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$  déterminent les *sommets*  $A_i$  d'un premier,  $\mathbf{a}'$ ,  $\mathbf{b}'$ ,  $\mathbf{c}'$  les *côtés*  $a'_i$  d'un second triangle sphérique ou plan, les produits vectoriels du premier terme désignent les normales abaissées des sommets  $A_i$  sur les côtés  $a'_i$ , etc., et la même identité nous apprend que *deux triangles sphériques ou plans sont triplement orthologiques lorsqu'ils sont doublement orthologiques*, autrement dit: lorsque les normales abaissées des sommets  $A_i$  sur les côtés  $a'_i$  et les normales abaissées des sommets  $A_i$  sur les côtés  $a'_{i+1}$  sont concourantes; il en est de même des normales abaissées des sommets  $A_i$  sur les côtés  $a'_{i-1}$ .

3. Supposons en troisième lieu que nous ayons deux triangles sphériques ou plans, dont les sommets sont  $A_i$ ,  $A'_i$  et les côtés  $a_i$ ,  $a'_i$ . Supposons en outre que les vecteurs  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$  déterminent les *sommets* du premier,  $\mathbf{a}'$ ,  $\mathbf{b}'$ ,  $\mathbf{c}'$  les « *milieux extérieurs* »<sup>1</sup> du second triangle. Dans ce cas les produits externes du premier terme de notre identité sont trois droites par les  $A_i$  et « parallèles » aux  $a'_i$ , de même ceux du second terme désignent trois droites passant par les  $A_i$  et « parallèles » aux  $a'_{i+1}$ , ceux du troisième terme enfin correspondent aux droites qui, passant par les  $A_i$  sont « parallèles » aux  $a'_{i-1}$ .

On dit que deux triangles sont simplement métaparallèles, lorsque les trois premières droites sont concourantes, doublement lorsque les trois droites suivantes sont également

<sup>1</sup> Nous entendons par « milieu extérieur » du côté  $(\mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3)$  du triangle sphérique le point  $\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_3$  qui est à une distance  $\pi/2$  du « milieu intérieur »  $\mathbf{r}_2 + \mathbf{r}_3$ .

concourantes, triplement enfin lorsque les trois dernières le sont aussi. Or, notre identité nous apprend : *lorsque deux triangles sphériques ou plans sont doublement métaparallèles, ils sont aussi triplement métaparallèles*<sup>1</sup>.

4. Une application toute différente de notre identité nous est fournie par la théorie des coniques. Soient

$$\begin{array}{cccccc} a & c' & b & a' & c & b' & (a) \\ r_2 & r_1' & r_3 & r_2' & r_1 & r_3' & (r_2) \end{array}$$

les vecteurs des *côtés* et des *sommets* d'un hexagone inscrit dans une conique sphérique ou plane. Dans ce cas les points d'intersection

$$V_{aa'}, \quad V_{bb'}, \quad V_{cc'}$$

sont collinéaires d'après le théorème de Pascal, et notre identité (IX) nous donne

$$[V_{bc'} V_{ca'} V_{ab'}] + [V_{cb'} V_{ac'} V_{ba'}] = 0.$$

Or, si nous remarquons 1° que chaque terme de cette équation contient les six vecteurs une seule fois, 2° que  $b, c'$ , etc., sont, abstraction faite de certains coefficients scalaires,

$$V_{r_1' r_3}, \quad V_{r_2 r_1'}, \quad V_{r_2' r_1}, \quad V_{r_3 r_2'}, \quad V_{r_3' r_2}, \quad V_{r_1 r_3'},$$

3° que par conséquent les six produits vectoriels qui se trouvent dans la dernière équation peuvent être remplacés par

$$\begin{array}{ccc} [r_1' r_2 r_3] r_1', & [r_1 r_2' r_3] r_2', & [r_1 r_2 r_3'] r_3' \\ - [r_1 r_2' r_3'] r_1, & - [r_1' r_2 r_3] r_2, & - [r_1' r_2' r_3] r_3 \end{array}$$

nous voyons sans peine que la dernière équation donne pour la sphère comme pour le plan *le théorème de Pappus*, d'après lequel pour six points  $r_i$  et  $r_i'$  d'une conique

$$[r_1' r_2 r_3][r_1 r_2' r_3][r_1 r_2 r_3'] [r_1' r_2' r_3] = [r_1 r_2' r_3'] [r_1' r_2 r_3] [r_1' r_2' r_3] [r_1 r_2 r_3].$$

Il est évident que nous obtenons un autre hexagone ins-

<sup>1</sup> Pour deux triangles plans voir J. NEUBERG, *Mathesis*, 1883, p. 216, 1886, p. 134, 1914, p. 92.

crit dans la même conique en soumettant les  $r_1, r_2, r_3$  seuls à une permutation circulaire; dans ce cas nous trouvons :

$$[r_1 r_3 r_1][r_2 r_2 r_1][r_2 r_3 r_3][r_1 r_2 r_3] = [r_2 r_2 r_3][r_1 r_3 r_3][r_1 r_2 r_1][r_1 r_2 r_3].$$

La division des deux dernières équations conduit pour six points d'une conique sphérique à la relation

$$\frac{[r_1 r_2 r_3][r_1 r_2 r_3][r_1 r_2 r_3]}{[r_1 r_3 r_1][r_2 r_2 r_1][r_2 r_3 r_3]} = \frac{[r_1 r_2 r_3][r_1 r_2 r_3][r_1 r_2 r_3]}{[r_2 r_2 r_3][r_1 r_3 r_3][r_1 r_2 r_1]}$$

qui n'est autre chose que *le théorème bien connu de Carnot*.

Nous interrompons ici les applications de l'identité pour y revenir au paragraphe 30.

#### IV

24. — Les identités entre *six* vecteurs des paragraphes précédents ne sont pas les seules possibles. Il y en a d'autres; ainsi on démontre sans peine que

$$\begin{aligned} & [a'b'c'] [\lambda_1 b + \mu_1 c \quad \lambda_2 c + \mu_2 a \quad \lambda_3 a + \mu_3 b] \\ & \pm [abc] [\lambda'_1 b' + \mu'_1 c' \quad \lambda'_2 c' + \mu'_2 a' \quad \lambda'_3 a' + \mu'_3 b'] \end{aligned}$$

est identiquement nul, pourvu que l'expression scalaire

$$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \mu_1 \mu_2 \mu_3$$

ne change pas en valeur absolue, lorsque les  $a, b, c$  sont remplacés par les  $a', b', c'$  et inversement.

25. — On satisfait déjà à la condition imposée aux  $\lambda_i$  et  $\mu_i$  en prenant

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= c.a' & \lambda_2 &= a.b' & \lambda_3 &= b.c' \\ \mu_1 &= -b.a' & \mu_2 &= -c.b' & \mu_3 &= -a.c' \end{aligned}$$

et c'est ainsi qu'on arrive à l'identité

$$[a'b'c'] [Va', bc \quad Vb', ca \quad Vc', ab] + [abc] [Va, b'c' \quad Vb, c'a' \quad Vc, a'b'] \equiv 0 \quad (X)$$

*Applications.* — 1. Supposons que les sommets et les côtés de deux triangles sphériques aient les vecteurs

$$\begin{aligned} A_i &\equiv a; b; c & A'_i &\equiv Vb'c'; Vc'a'; Va'b' \\ a_i &\equiv Vbc; Vca; Vab & a'_i &\equiv a'; b'; c' \end{aligned}$$