

## Solutions de questions proposées

*Nouvelles annales de mathématiques 3<sup>e</sup> série*, tome 18  
(1899), p. 473-484

<[http://www.numdam.org/item?id=NAM\\_1899\\_3\\_18\\_\\_473\\_1](http://www.numdam.org/item?id=NAM_1899_3_18__473_1)>

© Nouvelles annales de mathématiques, 1899, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Nouvelles annales de mathématiques » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques  
<http://www.numdam.org/>

---

---

## SOLUTIONS DE QUESTIONS PROPOSÉES.

---

### Question 1740.

(1896, p. 392 et 1898, p. 330.)

Note par M. A. DE SAINT-GERMAIN.

Dans sa réponse à la question 1740 (*Nouvelles Annales*, juillet 1899), M. Boulanger est loin de faire connaître toutes les quadriques orthogonales à un ellipsoïde donné. Il dit avec

raison que le premier membre  $f(x, y, z)$  de l'équation d'une de ces quadriques doit vérifier une identité de la forme

$$(1) \quad \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} - 1 \equiv \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda}{a^2} + \mu \right) x f'_x + \dots + \frac{1}{2} \mu t f'_t;$$

mais il a tort d'en conclure que  $f$  ne doit renfermer ni rectangles, ni termes du premier degré. Soit

$$f(x, y, z) \equiv A x^2 + A' y^2 + A'' z^2 + 2 B y z + \dots + 2 C'' z + D;$$

l'identité (1) entraîne dix équations que je réparties en deux groupes :

$$(2) \quad \begin{cases} \left( \frac{\lambda}{a^2} + \mu \right) A = \frac{1}{a^2}, & \left( \frac{\lambda}{b^2} + \mu \right) A' = \frac{1}{b^2}, \\ \left( \frac{\lambda}{c^2} + \mu \right) A'' = \frac{1}{c^2}, & \mu D = -1; \end{cases}$$

$$(3) \quad \left( \frac{\lambda}{b^2} + \frac{\lambda}{c^2} + 2\mu \right) B = 0, \quad \dots, \quad \left( \frac{\lambda}{a^2} + 2\mu \right) C = 0, \quad \dots$$

Pour des valeurs quelconques de  $\lambda$  et de  $\mu$ , les équations (3) exigent que  $B, B', B'', C, C', C''$  soient nuls; on trouve alors, à l'aide des équations (2), le faisceau de quadriques homofocales signalé par l'Auteur. Mais il n'en est plus de même si l'on établit entre  $\lambda$  et  $\mu$  des relations convenables. Soit d'abord  $\mu = -\frac{1}{2} \left( \frac{\lambda}{b^2} + \frac{\lambda}{c^2} \right)$  : la première équation (3) sera satisfaite sans que  $B$  soit nul; les équations (2) donnent  $A, A', A'', D$ , et, en remplaçant  $B$  par  $\frac{2B_1 b^2 c^2}{\lambda}$ , on aura un faisceau de quadriques orthogonales à l'ellipsoïde, dont on peut mettre les équations sous la forme

$$\frac{x^2}{2b^2c^2 - a^2(b^2 + c^2)} + \frac{y^2}{b^2(c^2 - b^2)} + \frac{z^2}{c^2(b^2 - c^2)} + 2B_1 y z - \frac{1}{b^2 + c^2} = 0.$$

On aurait deux faisceaux analogues contenant des termes en  $zx$  ou en  $xy$ .

Faisons maintenant  $\mu = -\frac{\lambda}{2a^2}$  : la quatrième équation (3) est vérifiée sans que  $C$  soit nul; les équations (2) donnent les

valeurs correspondantes de  $A, A', A'', D$  et l'on trouve un nouveau faisceau de quadriques orthogonales dont les équations ont la forme

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{2a^2 - b^2} + \frac{z^2}{2a^2 - c^2} + 2C_1x + 1 = 0.$$

On aurait deux autres faisceaux analogues.

Pour les quadriques orthogonales au parabolôïde

$$\frac{x^2}{p} + \frac{y^2}{q} - 2z = 0,$$

on trouve, par une analyse semblable, le faisceau des parabolôïdes homofocaux, et trois autres faisceaux de parabolôïdes définis par des équations de la forme

$$\frac{x^2}{p(q-p)} + \frac{y^2}{q(p-q)} + 2B_1xy + \frac{2z}{p+q} - \frac{2pq}{(p+q)^2} = 0,$$

$$\frac{x^2}{p} + \frac{y^2}{2p-q} + 2C_1x + 2z - 2p = 0,$$

$$\frac{x^2}{2q-p} + \frac{y^2}{q} + 2C_1'y + 2z - 2q = 0.$$

Il sera facile de compléter cette analyse.

### Question 1739.

(1895, p. 392; 1899, p. 384.)

*On donne une ellipse de centre  $o$ . On mène une corde quelconque  $ab$  et l'on prend son pôle  $c$  par rapport à l'ellipse. Le point  $p$  étant la projection sur  $oc$  de l'orthocentre  $h$  du triangle  $abc$ , démontrer que le produit  $op$  par  $oc$  est égal à la somme des carrés des demi-axes de l'ellipse donnée.* (MANNHEIM.)

AUTRES SOLUTIONS GÉOMÉTRIQUES,

PAR M. MANNHEIM.

Les droites  $ca, co, cb$  et la parallèle à  $ab$  menée du point  $c$ , forment un faisceau harmonique. Les perpendiculaires à ces droites, abaissées de l'orthocentre  $h$ , rencontrent alors  $ab$  en

des points  $a, e, b, f$  tels que  $e, f$  sont conjugués harmoniques par rapport à  $a, b$ . Par suite, le triangle  $cef$  est conjugué à l'ellipse et le cercle, qui lui est circonscrit, coupe orthogonalement le cercle orthoptique de l'ellipse; donc, etc.

*Autrement.* — Le cercle décrit sur  $ch$  comme diamètre coupe à angle droit le cercle dont  $ab$  est un diamètre; on a alors, en appelant  $m$  le milieu de  $ab$  :  $\overline{ma}^2 = mp \times mc$ . Par suite le cercle, qui contient  $a, p, c$ , est tangent en  $a$  à  $ab$ ; il est alors circonscrit au triangle aplati suivant  $ca$ . Ce triangle est conjugué à l'ellipse; donc, etc.

### Question 1769 (1).

( 1897, p. 291. 1898, p. 384. )

*Par le foyer d'une conique donnée on mène des cordes; les circonférences de cercles, qui ont ces cordes pour diamètres, sont tangentes à deux cercles.* (MANNHEIM.)

#### SOLUTION GÉOMÉTRIQUE,

PAR M. MANNHEIM.

Appelons  $f$  le foyer de la conique par lequel passe l'une des cordes  $mn$ . Par rapport à un cercle de centre  $f$ , la polaire réciproque de la conique est un cercle de centre  $o$  et de rayon  $R$ . Les polaires de  $m, n$  sont des tangentes à ce cercle, elles sont parallèles, distantes de  $2R$  et coupent  $mn$  aux points  $m', n'$ . Prenons  $f$  pour pôle d'inversion. Le cercle décrit sur  $mn$  comme diamètre a pour transformée par inversion le cercle  $C$  décrit sur  $m'n'$  comme diamètre. Ce cercle, dont le

(1) Au sujet de cette question MM. Mannheim et Barisien nous font remarquer avec raison que la solution de M. Audibert est incomplète. M. Audibert démontre en effet que le lieu des centres des cercles en question est une conique et se borne ensuite à faire observer que le lieu des centres des cercles tangents à deux cercles fixes est une conique. Or de ce que le centre d'un cercle décrit une conique, on ne peut évidemment pas conclure que ce cercle enveloppe deux autres cercles, puisqu'il faut une autre condition pour définir le déplacement du cercle mobile.

diamètre est égal à  $2R$ , a son centre au pied de la perpendiculaire abaissée de  $o$  sur  $mn$ , c'est-à-dire en un point du cercle décrit sur  $of$  comme diamètre.

Lorsque  $mn$  tourne autour de  $f$ , le cercle  $C$  de grandeur constante, se déplace de façon que son centre reste sur un cercle; son enveloppe se compose alors de deux cercles concentriques; donc, etc.

### Question 1773.

(1897, p. 340)

*Étant donnés une cycloïde de base AB et un cercle ayant son centre au milieu C de AB, on prend la podaire de la cycloïde par rapport à un point quelconque M du cercle. Prouver que l'aire comprise entre la podaire, la droite AB et les deux tangentes A et B à la cycloïde est constante.*  
(E.-N. BARISIEN.)

NOTE.

Par UN ABONNE.

Je crois que la proposition énoncée n'est pas exacte. En effet, si l'on prend pour axe polaire la droite parallèle à AB menée par le pôle M, et que l'on désigne par  $\omega$  l'angle polaire, par  $a$  le rayon du cercle générateur de la cycloïde, par  $\alpha$  et  $\beta$  les coordonnées de M relatives à deux axes dont l'un est AB et l'autre une perpendiculaire à cette droite menée par C milieu de AB, l'équation de la podaire sera

$$\rho = (2a - \beta) \sin \omega + (a\pi + \alpha - 2a\omega) \cos \omega.$$

L'aire  $S$  de la podaire comprise entre l'axe polaire et la courbe est déterminée par l'intégrale

$$\begin{aligned} S &= \int_0^\pi \rho^2 d\omega \\ &= \int_0^\pi [\cos^2 \omega (a\pi + \alpha)^2 + (2a - \beta)^2 \sin^2 \omega \\ &\quad + (2a - \beta)(a\pi + \alpha) \sin 2\omega - 4a^2 \omega^2 \cos^2 \omega \\ &\quad - 4a(a\pi + \alpha)\omega \cos^2 \omega + 2a(2a - \beta)\omega \sin 2\omega] d\omega \\ &= \frac{a^2 \pi^3}{6} + 5a^2 \pi + \frac{\pi}{2} (a^2 + \beta^2) - 3a\pi\beta. \end{aligned}$$

Si le point M est sur un cercle ayant son centre en C, le terme  $\frac{\pi}{2} (\alpha^2 + \beta^2)$  est constant, mais en ajoutant à 2S le double de l'aire du rectangle dont les côtés sont AB et  $\beta$ , on a

$$2S + 2AB\beta = \frac{\alpha^2\pi^3}{6} + 5\alpha^2\pi + \frac{\pi}{2} (\alpha^2 + \beta^2) + \alpha\pi\beta,$$

expression qui varie avec  $\beta$ .

### Question 1774.

(1897, p 310.)

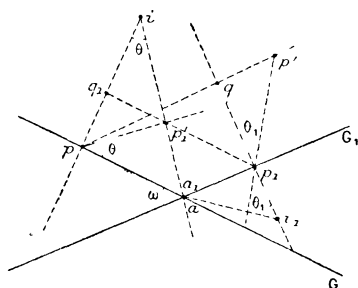
*Le produit des paramètres de distribution des plans tangents à un parabolôïde hyperbolique, pour deux génératrices du même système et rectangulaires, est égal au carré de la plus courte distance de ces droites.*

(MANNHEIM.)

#### GÉNÉRALISATION

Par M. D'OCAGNE.

Soient G et G<sub>1</sub> deux génératrices *quelconques* de même système projetées sur le plan directeur de ce système pris pour plan horizontal. Leur plus courte distance ( $aa_1$ ) se projette suivant un point. Soient, en outre, p et p<sub>1</sub> les points centraux correspondants. Les plans centraux sont respectivement les



plans verticaux passant par G et G<sub>1</sub>. Le plan tangent en a est défini par les génératrices G et ap<sub>1</sub>, en a<sub>1</sub> par les génératrices G<sub>1</sub> et a<sub>1</sub>p,

Faisons une projection sur le plan vertical perpendiculaire

en  $p$  à  $ap$ . Le point  $p_1$  se projette sur la perpendiculaire  $p_1q_1$  à la trace  $pq_1$  de ce plan vertical, au point  $p'_1$  tel que  $q_1p'_1 = \delta$ ,  $\delta$  étant la plus courte distance de  $G$  et  $G_1$ .

Dès lors, l'angle  $\theta$  que le plan tangent en  $a$  fait avec le plan central en  $p$  est projeté en vraie grandeur en  $app'_1$ . Abaissons du point  $a$  la perpendiculaire  $ai$  sur  $pp'_1$ . Elle coupe  $pq_1$  au point  $i$ , et ce point est le point représentatif de la distribution des plans tangents pour la génératrice  $G$ . En effet, d'une part,  $pi$  est la perpendiculaire élevée à  $G$  par le point central  $p$ , de l'autre, l'angle  $pia$  sous lequel on voit du point  $i$  le segment  $pa$  est égal à l'angle  $\theta$  que le plan tangent en  $a$  fait avec le plan central.

Par suite, le paramètre de distribution  $k$  de la génératrice  $G$  est égal à  $pi$ .

On obtient de même le paramètre de distribution  $p_1i_1 = k_1$  de  $G_1$ .

Si maintenant nous appelons  $l$  et  $l_1$  les segments  $ap$  et  $a_1p_1$ ,  $\omega$  l'angle des génératrices  $G$  et  $G_1$ , la similitude des triangles  $api$  et  $pq_1p'_1$ , qui ont leurs côtés respectivement perpendiculaires, nous donne

$$\frac{pi}{pa} = \frac{q_1p'_1}{q_1p}$$

ou

$$\frac{k}{l} = \frac{\delta}{l_1 \sin \omega},$$

d'où

$$k = \frac{\delta l}{l_1 \sin \omega}.$$

De même,

$$k_1 = \frac{\delta l_1}{l \sin \omega}.$$

Faisant le produit, on a

$$kk_1 = \frac{\delta^2}{\sin^2 \omega}.$$

C'est-à-dire que *le produit des paramètres de distribution de deux génératrices QUELCONQUES de même système du parabolöide, est égal au carré du quotient de leur plus courte distance par le sinus de leur angle.*

Dans le cas où l'on suppose  $\omega = \frac{\pi}{2}$ , on retrouve le théorème de l'énoncé.

**Question 1778.**

( 1897, p. 388. )

Une conique rencontre les côtés BC, CA, AB d'un triangle en D, D', E, E', F, F'. Les tangentes en D, D' rencontrent AB, AC en K, K'. L est le conjugué harmonique de B par rapport aux points F, F', M celui de C par rapport à E, E'.

Démontrer que D'L, DM, KK' concourent en un même point.

( W. J. GREENSTREET. )

**SOLUTIONS**

Par M. G. LEINEKUGEL.

*Solution géométrique.* — On sait que l'enveloppe des droites rencontrant deux coniques (S), ( $\Sigma$ ) en quatre points formant une division harmonique, est une conique tangente aux huit droites menées aux quatre points communs à (S), ( $\Sigma$ ) et tangentes à ces coniques.

Considérons la conique (S) donnée et la conique ( $\Sigma$ ) formée des droites (BC.LM), nous en déduisons, dans ce cas particulier, qu'il existe une conique tangente à DK, D'K', BC et LM qui font partie des tangentes aux points communs aux coniques (S), (BC, LM); et de plus aux droites CA, BA, puisque

$$(CMEE') = -1, \quad (BLFF') = -1.$$

L'hexagone IMKDD'K' étant circonscrit à une conique, les trois diagonales concourent en un même point.

*Solution analytique.* — Prenons comme (fig. 1) triangle de référence DD'D'' et pour équations de (S), AB, AC,

$$(S) \quad \beta\gamma - \mu^2\alpha^2 = 0 \quad (1)$$

$$AB \quad l\alpha + m\beta + n\gamma = 0, \quad (2)$$

$$AC \quad l'\alpha + m'\beta + n'\gamma = 0 \quad (3)$$

l'ensemble des droites D'F', D'F obtenues par l'élimination de  $\beta$  entre (1) et (2), est

$$\mu^2 m \alpha^2 + l \alpha \gamma + n \gamma^2 = 0;$$

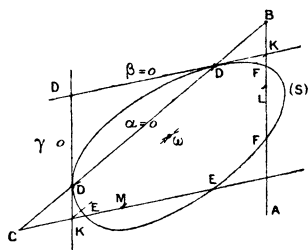
la conjuguée harmonique D'L de  $\alpha = 0$ , par rapport à ces

droites, a pour equation

$$(D L) \quad \alpha + \frac{2n}{l} \gamma = 0 \quad (4)$$

de même, on a

$$(DM) \quad \alpha + \frac{2m'}{l} \beta = 0 \quad (5)$$



Quant a l'equation de KK', elle est

$$(KK) \quad \alpha + \frac{n}{l} \gamma + \frac{m'}{l} \beta = 0 \quad (6)$$

puisqu'elle doit passer par les deux points

$$K \left\{ \begin{array}{l} \beta = 0, \\ \alpha + \frac{n}{l} \gamma = 0, \end{array} \right. \quad K' \left\{ \begin{array}{l} \gamma = 0, \\ \alpha + \frac{m'}{l} \beta = 0 \end{array} \right.$$

Ces trois droites D'L, DM, KK' passent par un meme point  $\omega$ , puisqu'en ajoutant (4) et (5), on tombe sur l'equation (6)

Autres solutions de MM. W GREENSTREET et J RICHARD

### Question 1786

(1898 p 99)

A, B, C, D etant quatre quantites imaginaires donnees et X une quantite imaginaire variable, on forme le determinant

$$\begin{vmatrix} A + X & B + X \\ C + X & D + X \end{vmatrix} = \Delta$$

Démontrer :

1° Que si le module de  $\Delta$  reste constant, le point X, affixe de X, parcourt une circonférence;

2° Que si l'argument de  $\Delta$  reste constant, le point X parcourt une droite.

Trouver le centre de cette circonférence et la direction de cette droite lorsque l'argument de  $\Delta$  est nul.

( C. -A. LAISANT. )

SOLUTION

Par M. DULIMBERT.

Je pose

$$\begin{aligned} A &= a + a' i, & B &= b + b' i, & C &= c + c' i, & D &= d + d' i, \\ X &= x + y i, & \Delta &= \xi + \eta i = \rho (\cos \omega + i \sin \omega). \end{aligned}$$

Le développement du déterminant donne immédiatement

$$\begin{aligned} \xi &= (a + d - b - c)x + (b' + c' - a' - d')y \\ &\quad + ad - a' d' - (bc - b' c'), \\ \eta &= (a' + d' - b' - c')x + (a + d - b - c)y \\ &\quad + ad' + a' d - (bc' + b' c). \end{aligned}$$

Les équations  $\xi = 0, \eta = 0$  représentent deux droites rectangulaires dont les directions sont faciles à déterminer. En effet, la quantité

$$\frac{a' + d' - (b' + c')}{a + d - (b + c)}$$

est le coefficient angulaire de la droite qui joint le milieu de AD au milieu de BC. La droite  $\eta = 0$  est symétrique de cette droite par rapport aux axes coordonnés et la droite  $\xi = 0$  perpendiculaire à  $\eta = 0$ .

Si  $\rho$  est constant, on a

$$\rho^2 = \xi^2 + \eta^2,$$

équation d'un cercle qui a pour centre le point d'intersection des droites  $\xi = 0, \eta = 0$ .

Si  $\omega$  est constant, on a

$$\tan \omega = \frac{\eta}{\xi}$$

ou

$$\eta - \xi \tan \omega = 0,$$

équation d'une droite qui passe par le point d'intersection des deux mêmes droites.

Enfin, si  $\omega$  est nul, le point X décrit la droite  $\eta = 0$ , dont la direction a été déterminée précédemment <sup>(1)</sup>.

Autre solution de M. E.-N. BARISIEN.

### Question 1787.

(1898, p. 148.)

*On considère les points de contact des coniques inscrites à un quadrilatère avec un des côtés du quadrilatère et l'on demande :*

1° *Le lieu des centres de courbure de ces coniques correspondant aux points de contact;*

2° *L'enveloppe des cercles osculateurs qui correspondent aux centres de courbure précédents.* (G. TZITZÉICA.)

### SOLUTION

Par M. AUDIBERT.

1° Prenons pour axes des coordonnées deux côtés quelconques du quadrilatère se coupant à l'origine et faisant entre eux un angle  $\alpha$ ; soient

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} - 1 = 0, \quad \frac{x}{c} + \frac{y}{d} - 1 = 0$$

les équations des deux autres côtés, celle d'une conique inscrite sera

$$\frac{\left[ \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{c} \right) x + \left( \frac{1}{b} - \frac{1}{d} \right) y \right]^2}{\lambda} + \frac{\left( \frac{y}{b} + \frac{x}{c} - 1 \right)^2}{1 - \lambda} - \left( \frac{x}{a} + \frac{y}{d} - 1 \right)^2 = 0.$$

<sup>(1)</sup> *Note de la Rédaction.* —  $\Delta$  se mettant sous la forme immédiate  $P + QX$ , il est évident que si le module de X est constant l'extrémité de  $\Delta$  décrit une circonférence dont le centre est l'extrémité de P; et que si l'argument de  $\Delta$  est constant, on a une droite passant par l'extrémité de P. (C.-A. L.)

Cette courbe touche l'axe des X au point

$$y = 0, \quad x = \frac{ac\lambda}{a - c(1 - \lambda)} = m.$$

Transportons l'origine à ce point, en conservant l'axe des X et prenant pour ligne des ordonnées la normale à la courbe. Les formules de transformation sont

$$x = m + x_1 - y_1 \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad y = \frac{y_1}{\sin \alpha},$$

et le rayon de courbure à l'origine,  $\rho$ , sera égal au coefficient de  $y$ , divisé par le coefficient de  $x_1^2$ , dans l'équation transformée.

On trouve, d'après ces données,

$$\rho = \frac{\left[ \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{c} \right) \left( \frac{1}{b} - \frac{1}{d} \right) \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{bc(1 - \lambda)} - \frac{1}{ad} \right] m - \frac{d - b(1 - \lambda)}{db(1 - \lambda)}}{\frac{[a - c(1 - \lambda)]^2}{a^2 c^2 \lambda (1 - \lambda)} \sin \alpha}.$$

Reportons le système rectangulaire d'axes parallèlement à lui-même à l'origine primitive; nous aurons,  $x$  et  $y$  étant les coordonnées du lieu cherché,

$$y = \rho, \quad x = m, \quad \lambda = \frac{x(a - c)}{c(a - x)},$$

$$1 - \lambda = \frac{a(c - x)}{c(a - x)}, \quad \frac{[a - c(1 - \lambda)]^2}{a^2 c^2 \lambda (1 - \lambda)} = \frac{a - c}{a(c - x)}.$$

Il en résulte l'équation

$$(1) \quad y \frac{bd(a - c)}{2(b - d)} \sin \alpha = x(x - a)(x - c).$$

2° L'équation de l'enveloppe des cercles osculateurs tangents à l'axe des X, s'obtiendra en substituant dans (1)  $\frac{y}{2}$  à  $y$ .