

SUR DES CYLINDROÏDES ASSOCIÉS A UN POINT D'UNE SURFACE

Autor(en): **Deaux, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **29 (1930)**

Heft 1: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE.**

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-23252>

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.

SUR DES CYLINDROÏDES ASSOCIÉS A UN POINT D'UNE SURFACE

PAR

R. DEAUX (Mons, Belgique).

La théorie de la courbure des lignes tracées sur une surface et celle des normales infiniment voisines conduisent à des cylindroïdes¹. En se servant du calcul vectoriel et de la théorie générale des surfaces, M. K. KOMMERELL vient d'établir l'existence d'un cylindroïde « indicateur » des courbures normales².

Le but du présent travail est de rattacher ces cylindroïdes à un même mode de génération. Nous y rencontrons un cylindroïde indicateur des torsions géodésiques et provenant de la formule d'EULER; celui de M. KOMMERELL s'obtient de la même manière à partir de la formule de O. BONNET.

1. — *Pour une normalie quelconque contenant la normale n à une surface (S) en un point M ni ombilic ni parabolique, le point central O de n et le centre de courbure C_0 en M de la section normale que détermine dans (S) le plan central de n sont conjugués dans l'involution ayant pour point central M et pour puissance le produit des rayons de courbure principaux R_1, R_2 de (S) en M.*

Soient MT_1, MT_2 les axes de l'indicatrice de DUPIN de (S); MT, MT_0 deux tangentes conjuguées quelconques; MT', MT'_0 les tangentes perpendiculaires à MT, MT_0 ; C_1, C_2 les centres de courbure en M des sections normales tangentes à MT_1, MT_2 .

¹ Voir G. SCHEFFERS, *Anwendung der Differential- und Integralrechnung auf Geometrie*, II, pp. 180-189, 209.

² *Journal f. d. r. u. a. Math.*, t. 161, pp. 113-122. Les équations vectorielles qui s'y trouvent sont utilisées en Belgique depuis plus de vingt ans, notamment celle de l'axe central. Voir F. BOUNY, *Leçons de Mécanique rationnelle*, I, p. 57.

Pour une normalie dont la directrice tracée sur (S) est tangente en M à MT, la projectivité du faisceau des plans tangents d'axe n et de la ponctuelle des points de contact permet d'écrire ¹

$$n(T_2 T_1 T_0 T'_0) = (C_1 C_2 O \infty)$$

et, pour une normalie dont la directrice est tangente en M à MT₀,

$$n(T_2 T_1 T_0 T'_0) = (C_1 C_2 M C_0) .$$

L'égalité

$$(C_1 C_2 O \infty) = (C_1 C_2 M C_0)$$

entraîne l'involution

$$C_1 C_2 , \quad M \infty , \quad O C_0$$

et on a

$$MO \cdot MC_0 = MC_1 \cdot MC_2 = R_1 R_2 .$$

REMARQUE. — L'équation différentielle des *directrices des normalies* telles que la ligne de striction est le lieu des centres de courbure des sections normales déterminées par les plans centraux correspondants s'obtient en exprimant que

$$\overline{MO}^2 = R_1 R_2$$

ou, suivant une formule classique ²,

$$\left(\frac{\cos^2 \theta}{R_1} + \frac{\sin^2 \theta}{R_2} \right)^2 = R_1 R_2 \left(\frac{\cos^2 \theta}{R_1^2} + \frac{\sin^2 \theta}{R_2^2} \right)^2 ,$$

si θ est l'angle (MT₁, MT). Cette relation s'écrit

$$\operatorname{tg}^4 \theta = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^3 .$$

En prenant pour lignes $v = C^{\text{te}}$ et $u = C^{\text{te}}$ les lignes de courbure tangentes à MT₁, MT₂ on a

$$R_1 = \frac{E}{L} , \quad R_2 = \frac{G}{N} , \quad \operatorname{tg} \theta = \sqrt{\frac{G}{E}} \frac{dv}{du}$$

¹ MANNHEIM, *Géométrie descriptive*, pp. 279, 300.

² Voir p. e. DEMARTRES, *Cours de Géométrie infinitésimale*, p. 245.

et l'équation différentielle est

$$\left(\frac{dv}{du}\right)^4 = \frac{G^2 L^3}{E^2 N^3}.$$

Lorsque $\frac{R_2}{R_1}$ est constant, les lignes cherchées sont des trajectoires des lignes de courbure. Ainsi, si (S) est engendrée par la révolution d'une cycloïde autour de sa base, ces lignes sont les loxodromies inclinées de $\arctg \sqrt[4]{\frac{1}{8}}$ sur les méridiens.

2.— Etant données sur deux droites gauches n , i une ponctuelle (n) et une involution (i) projectives, les droites qui joignent les points de (n) aux couples homologues de (i) engendrent une surface cubique (S_3) ayant n pour droite double et i pour droite simple; les points-pinces sont sur (n) les homologues des points doubles de (i). (S_3) est un cylindroïde lorsque, i étant à l'infini dans un plan μ normal à n en un point M, les points cycliques forment dans (i) le couple homologue du point à l'infini de (n).

Un point quelconque G de (n) est fixé par MG et une droite quelconque MT du plan μ est connue par son angle θ avec une droite fixe de ce plan. La droite MT décrit une involution projective à (n) si, a , b , c , a' , b' , c' étant des constantes, on a

$$MG(a' \operatorname{tg}^2 \theta + b' \operatorname{tg} \theta + c') = a \operatorname{tg}^2 \theta + b \operatorname{tg} \theta + c. \quad (1)$$

La ponctuelle (n) est alors projective à l'involution (i) marquée sur la droite à l'infini du plan μ par l'involution des droites MT, et la parallèle g à MT menée par G engendre une surface cubique. Celle-ci est un cylindroïde si, pour MG croissant indéfiniment, les racines de (1) sont celles de

$$\operatorname{tg}^2 \theta + 1 = 0.$$

Il faut

$$a' = c', \quad b' = 0$$

et la relation (1) est de la forme

$$MG = a \sin^2 \theta + b \sin \theta \cos \theta + c \cos^2 \theta. \quad (2)$$

Mais on sait que si on choisit pour droite fixe à partir de laquelle

se compte l'angle θ l'une ou l'autre des droites doubles, rectangulaires d'ailleurs, de l'involution équilatère engendrée par les droites MT, le terme en $\sin \theta \cos \theta$ disparaît et la relation (2) peut donc se ramener à la forme

$$MG = c \cos^2 \theta + a \sin^2 \theta . \quad (3)$$

Les points-pinces G_1 , G_2 et le point principal G_0 du cylindroïde sont fournis par

$$MG_1 = c , \quad MG_2 = a , \quad MG_0 = \frac{a + c}{2} , \quad (4)$$

et si on pose

$$h = G_0 G_1 = MG_1 - MG_0 = \frac{c - a}{2} \quad (5)$$

il vient

$$G_0 G = G_0 M + MG = h \cos 2\theta . \quad (6)$$

3. — Soient G le pied de la perpendiculaire abaissée d'un point quelconque D sur l'axe central g d'un complexe linéaire; γ , δ les plans focaux de G , D dans l'espace focal qui définit le complexe. Le paramètre de celui-ci est

$$k = - \frac{GD}{\operatorname{tg} (\gamma \delta)} ,$$

si l'angle $(\gamma \delta)$ est apprécié positivement dans le sens positif des rotations autour de l'axe arbitraire qui porte GD .

Dans le cylindroïde considéré (2), soit d l'une des génératrices s'appuyant sur n en un point quelconque D . Par le point D' symétrique de D par rapport à G_0 passent deux génératrices d' , d'' dont l'une, d'' , est orthogonale à d . Les génératrices d , d' sont dites *associées* parce qu'elles sont les directrices d'une congruence linéaire base d'un faisceau de complexes linéaires dont les axes centraux sont les génératrices du cylindroïde¹. Si φ , θ sont les angles que font les génératrices d , g (2) avec la génératrice torsale g_1 issue du point-pince G_1 , le paramètre du complexe d'axe g est

$$k = \frac{GD}{\operatorname{tg} (\theta + \varphi)}$$

¹ Voir REYE, *Geometrie der Lage*, II, éd. 1907, p. 142; Ch. MICHEL, *Compléments de Géométrie moderne*, p. 261.

ou, en vertu de la relation (6),

$$k = (G_0 D - G_0 G) \cot(\theta + \varphi) = h(\cos 2\varphi - \cos 2\theta) \cot(\theta + \varphi),$$

$$k = h(\sin 2\theta - \sin 2\varphi). \quad (7)$$

Les valeurs extrêmes k_1, k_2 de k , atteintes pour $\theta = \frac{\pi}{4}$ ou $-\frac{\pi}{4}$, sont

$$k_1 = h(1 - \sin 2\varphi), \quad k_2 = -h(1 + \sin 2\varphi). \quad (8)$$

Si donc on compte les angles à partir de la droite g'_1 obtenue en faisant tourner la droite g_1 de $\frac{\pi}{4}$, et si on pose

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \theta', \quad \varphi = \frac{\pi}{4} + \varphi', \quad (9)$$

il vient

$$k_1 = h(1 - \cos 2\varphi'), \quad k_2 = -h(1 + \cos 2\varphi'). \quad (10)$$

$$k = h(\cos 2\theta' - \cos 2\varphi') = h[\cos^2 \theta' - \sin^2 \theta' - (\cos^2 \theta' + \sin^2 \theta') \cos 2\varphi'],$$

d'où la relation bien connue

$$k = k_1 \cos^2 \theta' + k_2 \sin^2 \theta'. \quad (11)$$

4. — Si p_g et p_d sont les paramètres de distribution des plans tangents au cylindroïde le long des génératrices g et d (3), on a

$$k = \frac{1}{2}(p_g - p_d). \quad (12)$$

En effet, si g_v est une génératrice infiniment voisine de g , qui s'appuie sur n en G_v et qui forme l'angle θ_v avec la droite g_1 (3), on a¹ en vertu de la relation (6)

$$p_g = - \lim \frac{GG_v}{\sin(\theta_v - \theta)} = - \lim h \frac{\cos 2\theta_v - \cos 2\theta}{\sin(\theta_v - \theta)} = 2h \sin 2\theta$$

et les égalités (7), (12) sont équivalentes.

Si sur la génératrice variable g on porte à partir de G et dans les deux sens deux segments égaux à $|k|$, leurs extrémités

¹ Voir *Enseignement mathématique*, XXVII^e année, p. 294.

décrivent une courbe caractéristique du cylindroïde, de laquelle on déduit toutes les autres en faisant varier φ ¹. Si $\varphi = 0$, on a

$$k = \frac{1}{2} \rho_g .$$

Les plans tangents ϖ au cylindroïde aux points P de g tels que $GP = \pm p_g$ sont inclinés de $\frac{\pi}{4}$ sur l'axe n , car si γ est le plan tangent en G, on a²

$$p_g = \pm \frac{p_g}{\text{tg}(\gamma\varpi)} .$$

Dés lors, si (C) est la ligne de contact du cylindroïde avec la développable circonscrite dont le cône directeur est de révolution autour de l'axe n du cylindroïde et a un angle au sommet de 90° , on obtient une courbe caractéristique en prenant l'homologue de (C) dans la projectivité gauche qui, réduisant les longueurs de moitié, a pour axes n et la droite à l'infini dans un plan normal à n .

Le lecteur pourra vérifier que l'arête de rebroussement de cette développable se projette orthogonalement sur le plan principal du cylindroïde suivant une astroïde³ ayant le point principal G_0 pour centre et dont les rebroussements sont situés sur les parallèles aux génératrices torsales, à une distance de G_0 qui est double de la hauteur du cylindroïde.

5. — La relation (11) ayant la même forme que (3), si à partir d'un point quelconque, soit M, de n on porte $MG_k = \lambda k$, λ étant une constante, la parallèle g_k menée par G_k à la génératrice g du cylindroïde (Γ) considéré engendre un nouveau cylindroïde (Γ_k).

On choisit sur (Γ_k) deux génératrices associées dont l'une fait l'angle ψ' avec g'_1 (3). En vertu des relations (5), (11), (10), on a

$$h_k = \frac{\lambda}{2} (k_1 - k_2) = \lambda h ,$$

¹ Voir R. STURM, *Liniengeometrie*, I, p. 166; K. ZINDLER, *id.*, I, p. 292.

² *Ens. Math.*, loc. cit.

³ Pour la bibliographie de cette courbe, voir BROCARD et LEMOYNE, *Courbes géométriques remarquables*, pp. 38-48; G. LORIA, *Spezielle ebene Kurven*, I, pp. 265-270; WIELEITNER, *id.*, pp. 110 et suivantes.

de sorte que le paramètre z du complexe d'axe g_k et défini par les génératrices associées choisies est, par analogie avec l'expression (7) de h ,

$$z = \lambda h (\sin 2\theta' - \sin 2\psi')$$

ou, en repassant aux angles θ et ψ ,

$$z = -\lambda h (\cos 2\theta - \cos 2\psi) . \quad (13)$$

Si on porte sur n un segment $MG_z = \mu z$, μ étant une constante, la parallèle à g_k menée par G_z engendre un troisième cylindroïde; celui-ci coïncide avec le premier (Γ) si, quel que soit θ , on a

$$MG = \mu z$$

ou, en vertu des relations (3), (5), (13), si

$$\left. \begin{aligned} \lambda \mu &= -1 \\ \cos 2\psi &= \frac{c+a}{c-a} \end{aligned} \right\} . \quad (14)$$

En supposant $\lambda = -1$ et $\mu = 1$, on a le théorème remarquable suivant: *Soient M un point fixe choisi arbitrairement sur la droite double n , orientée arbitrairement, d'un cylindroïde (Γ); g une génératrice variable s'appuyant sur n en G ; d , d' deux génératrices associées quelconques mais fixes; k le paramètre du complexe linéaire d'axe g et admettant d , d' pour droites conjuguées; g_k la parallèle à g menée par le point G_k tel que $MG_k = -k$. Dans le cylindroïde (Γ_k) engendré par g_k , il est possible de choisir deux génératrices associées et conjuguées dans le complexe d'axe g_k pour que le paramètre de celui-ci soit, en grandeur et en signe, la valeur algébrique du segment MG .*

Chacun des cylindroïdes est un indicateur des paramètres des complexes d'un faisceau lié à l'autre, mais avec changement de signe pour l'un d'eux. On voit aisément qu'une courbe caractéristique (4) sur l'un permet d'en construire une pour l'autre.

6. — La forme de la relation (3) conduit naturellement à examiner les formules d'EULER et de BONNET relatives aux courbures normales et aux torsions géodésiques en un point M non

ombilic d'une surface (S) (1). Le théorème du n° 5 montrera d'ailleurs que le cylindroïde amené par l'une de ces formules conduit forcément à la considération de celui qui est lié à l'autre.

En désignant maintenant par θ l'angle de MT et de MT₁, et par C le centre de courbure en M de la section normale tangente à MT, on a, λ étant une constante,

$$\frac{\lambda}{MC} = \frac{\lambda}{R_1} \cos^2 \theta + \frac{\lambda}{R_2} \sin^2 \theta. \quad (15)$$

Donc (2) si sur la normale n en M à (S) on porte en MG la courbure $\frac{1}{MC}$, multipliée par une constante λ , de la section normale tangente à une tangente variable MT de (S), la parallèle g menée à MT par G engendre un cylindroïde (Γ_λ) qui contient les tangentes principales à (S) en M, et dont les points pincés G₁, G₂ sont obtenus à l'aide des sections principales.

COROLLAIRES. 1° Soit C' le centre de courbure en M d'une deuxième section normale. Si on prend $\lambda = MC \cdot MC'$, on a le théorème: *Etant données deux tangentes quelconques MT, MT' à (S), les pieds des perpendiculaires abaissées d'un point quelconque sur les tangentes principales en M et sur les parallèles à MT, MT' menées respectivement par les centres de courbure C', C en M des sections normales tangentes à MT', MT sont quatre points coplanaires, car la podaire de (Γ_λ) pour un point quelconque est une ellipse*

2° Si $\lambda = R_1 R_2$, G est le point central de n pour une normale admettant le plan central nT (1); la droite g , normale au plan asymptote de n , l'est aussi à la génératrice infiniment voisine de g . Donc, si M n'est pas parabolique, la perpendiculaire à n et aux normales de (S) infiniment voisines de n engendrent un cylindroïde ($\Gamma_{R_1 R_2}$) ayant pour génératrices torsales les parallèles à MT₁, MT₂ menées par C₁, C₂; il contient les tangentes principales en M (SCHEFFERS, p. 209).

3° Si $\lambda = 1$, l'inverse de g dans l'inversion de pôle M et de puissance 1 est la circonférence de diamètre MC et située dans le plan Mg; tournée de 90° autour de n , elle devient le lieu des centres de courbure en M des lignes tracées sur (S) et tangentes à

MT. Par suite, si sur la normale principale en M à toute ligne tracée sur (S) on porte la courbure de cette ligne, le point obtenu décrit un cylindroïde (Γ'_1) (SCHEFFERS, p. 189).

Si on porte au contraire le quotient de cette courbure par la courbure totale de (S) en M, on obtient un cylindroïde qui, tourné de 90° autour de n, coïncide avec le cylindroïde ($\Gamma_{R_1 R_2}$).

4° Les axes de courbure en M des sections normales de (S) engendrent la surface cubique qui est la polaire réciproque du cylindroïde ($\Gamma_{R_1 R_2}$) par rapport à la sphère de centre M et dont le carré du rayon est $R_1 R_2$ (1).

5° Pour le cylindroïde (Γ_1) répondant à $\lambda = 1$, on a, par les relations (5), (7), (15)

$$k = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) (\sin 2\theta - \sin 2\varphi) .$$

En choisissant $\varphi = 0$, on voit que: La parallèle g menée à une tangente variable MT par le point G obtenu en portant sur la normale n, à partir de M, un segment égal à la courbure normale relative à la direction MT, engendre un cylindroïde (Γ) dont les génératrices torsales g_1, g_2 sont parallèles à MT_1, MT_2 . Le paramètre du complexe linéaire d'axe g et conjugué aux droites g_1, g_2 est la torsion géodésique relative à la direction MT.

Par suite (5) si on porte sur n à partir de M un segment MG_k égal à la torsion géodésique changée de signe et relative à la direction MT, la parallèle g_k menée par G_k à MT engendre un cylindroïde (Γ_k). Si on choisit sur celui-ci deux génératrices associées dont l'une fait avec g_1 l'angle réel ou imaginaire ψ donné par

$$\cos 2\psi = \frac{R_2 + R_1}{R_2 - R_1}$$

le paramètre du complexe d'axe g_k et conjugué à ces génératrices est la courbure normale relative à MT. C'est le théorème de M. KOMMERELL.

4 février 1930.

Ecole des Mines de Mons.