

Zeitschrift: L'Enseignement Mathématique
Herausgeber: Commission Internationale de l'Enseignement Mathématique
Band: 29 (1930)
Heft: 1: L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE.

Artikel: COURBURE GÉODÉSIQUE. LIGNES GÉODÉSIQUES
Autor: Tzénoff, Iv.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-23251>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 07.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

COURBURE GÉODÉSIQUE. LIGNES GÉODÉSIQUES

PAR

Iv. TZÉNOFF (Sofia).

1. — Soient

$$x = f(q_1, q_2), \quad y = \varphi(q_1, q_2), \quad z = \psi(q_1, q_2)$$

les équations paramétriques d'une surface (S). On définira une courbe (C) de la surface en établissant une relation entre les coordonnées curvilignes q_1 et q_2 ; ou, ce qui revient au même, en exprimant q_1, q_2 en fonction d'un même paramètre; nous prendrons l'arc s de la courbe pour ce paramètre.

Nous nous proposons de calculer d'une manière nouvelle la courbure géodésique et l'équation des lignes géodésiques.

Dans tout ce qui va suivre nous désignerons par x', y', \dots, q'_2 les dérivées par rapport à s de x, y, \dots, q_2 resp.

Considérons les fonctions

$$U^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 = f_1(q_1, q_2, q'_1, q'_2) = 1,$$

$$V^2 = x''^2 + y''^2 + z''^2 = f_2(q_1, q_2, q'_1, q'_2, q''_1, q''_2).$$

On a

$$\left\{ \begin{array}{l} x' = \frac{\partial x}{\partial q_1} q'_1 + \frac{\partial x}{\partial q_2} q'_2, \quad y' = \dots, \quad z' = \dots, \\ x'' = \frac{\partial x}{\partial q_1} q''_1 + \frac{\partial x}{\partial q_2} q''_2 + \frac{\partial^2 x}{\partial q_1^2} q'^2_1 + 2 \frac{\partial^2 x}{\partial q_1 \partial q_2} q'_1 q'_2 + \frac{\partial^2 x}{\partial q_2^2} q'^2_2, \quad y'' = \dots, \quad z'' = \dots \end{array} \right. \quad (1)$$

En tenant compte des formules classiques

$$E = \sum \left(\frac{\partial x}{\partial q_1} \right)^2, \quad F = \sum \frac{\partial x}{\partial q_1} \frac{\partial x}{\partial q_2}, \quad G = \sum \left(\frac{\partial x}{\partial q_2} \right)^2,$$

$$\sum \frac{\partial x}{\partial q_1} \frac{\partial^2 x}{\partial q_1^2} = \frac{1}{2} \frac{\partial E}{\partial q_1}, \quad \sum \frac{\partial x}{\partial q_1} \frac{\partial^2 x}{\partial q_1 \partial q_2} = \frac{1}{2} \frac{\partial E}{\partial q_2},$$

$$\sum \frac{\partial x}{\partial q_2} \frac{\partial^2 x}{\partial q_1 \partial q_2} = \frac{1}{2} \frac{\partial G}{\partial q_1}, \quad \sum \frac{\partial x}{\partial q_2} \frac{\partial^2 x}{\partial q_2^2} = \frac{1}{2} \frac{\partial G}{\partial q_2},$$

$$\sum \frac{\partial x}{\partial q_1} \frac{\partial^2 x}{\partial q_2^2} = \frac{\partial F}{\partial q_2} - \frac{1}{2} \frac{\partial G}{\partial q_1}, \quad \sum \frac{\partial x}{\partial q_2} \frac{\partial^2 x}{\partial q_1^2} = \frac{\partial F}{\partial q_1} - \frac{1}{2} \frac{\partial E}{\partial q_2},$$

pour les fonctions considérées on aura

$$U^2 = E q_1'^2 + 2F q_1' q_2' + G q_2'^2 = 1, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} V^2 = E q_1''^2 + 2F q_1'' q_2'' + G q_2''^2 \\ + 2q_1'' \left[E' q_1' + F' q_2' - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial E}{\partial q_1} q_1'^2 + 2 \frac{\partial F}{\partial q_1} q_1' q_2' + \frac{\partial G}{\partial q_1} q_2'^2 \right) \right] \\ + 2q_2'' \left[F' q_1' + G' q_2' - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial E}{\partial q_2} q_1'^2 + 2 \frac{\partial F}{\partial q_2} q_1' q_2' + \frac{\partial G}{\partial q_2} q_2'^2 \right) \right] + \dots \end{aligned} \quad (3)$$

Considérons un vecteur \vec{U} de grandeur un dirigé suivant la tangente de la courbe (C) et un autre vecteur \vec{V} de grandeur $\frac{1}{\rho}$, dirigé suivant la normale principale de (C). Le produit scalaire du vecteur \vec{V} et du vecteur $\vec{\delta s}(\delta x, \delta y, \delta z)$ [représentant le déplacement infinitésimal du point M (x, y, z) obtenu en donnant aux q_1, q_2 des variations infiniment petites $\delta q_1, \delta q_2$] est donné par la relation

$$\begin{aligned} V \delta s \cos(V, \delta s) &= x'' \delta x + y'' \delta y + z'' \delta z \\ &= \left(x'' \frac{\partial x}{\partial q_1} + y'' \frac{\partial y}{\partial q_1} + z'' \frac{\partial z}{\partial q_1} \right) \delta q_1 + \left(x'' \frac{\partial x}{\partial q_2} + y'' \frac{\partial y}{\partial q_2} + z'' \frac{\partial z}{\partial q_2} \right) \delta q_2, \end{aligned}$$

ou, en vertu des équations (1),

$$\begin{aligned} V \delta s \cos(V, \delta s) &= \left(x'' \frac{\partial x''}{\partial q_1} + y'' \frac{\partial y''}{\partial q_1} + z'' \frac{\partial z''}{\partial q_1} \right) \delta q_1 \\ &+ \left(x'' \frac{\partial x''}{\partial q_2} + y'' \frac{\partial y''}{\partial q_2} + z'' \frac{\partial z''}{\partial q_2} \right) \delta q_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V^2}{\partial q_1} \delta q_1 + \frac{\partial V^2}{\partial q_2} \delta q_2 \right); \quad (4) \end{aligned}$$

V^2 doit être remplacé par sa valeur (3).

Désignons par θ l'angle que fait la normale principale de la courbe (C) avec la normale de la surface (S) et appliquons la formule générale (4) au déplacement δs , perpendiculaire au vecteur \vec{U} . On aura

$$\frac{\sin \theta}{\rho} \delta s = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V^2}{\partial q''_1} \delta q_1 + \frac{\partial V^2}{\partial q''_2} \delta q_2 \right)$$

et la courbure géodésique est donnée par la formule

$$\frac{1}{\rho_g} = \frac{\sin \theta}{\rho} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V^2}{\partial q''_1} \frac{\delta q_1}{\delta s} + \frac{\partial V^2}{\partial q''_2} \frac{\delta q_2}{\delta s} \right). \quad (5)$$

Des équations

$$E \left(\frac{\delta q_1}{\delta s} \right)^2 + 2F \frac{\delta q_1}{\delta s} \frac{\delta q_2}{\delta s} + G \left(\frac{\delta q_2}{\delta s} \right)^2 = 1$$

et

$$E q'_1 \delta q_1 + F (q'_1 \delta q_2 + q'_2 \delta q_1) + G q'_2 \delta q_2 = 0.$$

[qui expriment que le déplacement δs est effectué sur la surface et qu'il est perpendiculaire au vecteur $\vec{U}(x', y', z')$], on tire facilement

$$\begin{aligned} \frac{\delta q_1}{\delta s} &= - \frac{F q'_1 + G q'_2}{\sqrt{EG - F^2}} = - \frac{1}{2\sqrt{EG - F^2}} \frac{\partial U^2}{\partial q'_2}, \\ \frac{\delta q_2}{\delta s} &= \frac{E q'_1 + F q'_2}{\sqrt{EG - F^2}} = \frac{1}{2\sqrt{EG - F^2}} \frac{\partial U^2}{\partial q'_1}. \end{aligned}$$

Par conséquent,

$$\frac{1}{\rho_g} = \frac{1}{4\sqrt{EG - F^2}} \begin{vmatrix} \frac{\partial U^2}{\partial q'_1} & \frac{\partial V^2}{\partial q''_1} \\ \frac{\partial U^2}{\partial q'_2} & \frac{\partial V^2}{\partial q''_2} \end{vmatrix}. \quad (6)$$

2. — Pour obtenir les lignes géodésiques de la surface, il faut exprimer que la courbure géodésique est nulle, ce qui donne l'équation

$$\frac{\partial V^2}{\partial q''_1} \frac{\partial U^2}{\partial q'_2} - \frac{\partial V^2}{\partial q''_2} \frac{\partial U^2}{\partial q'_1} = 0. \quad (7)$$

Les deux quantités $\frac{\partial V^2}{\partial q''_1}$, $\frac{\partial V^2}{\partial q''_2}$ sont liées par l'identité

$$\frac{\partial V^2}{\partial q''_1} q'_1 + \frac{\partial V^2}{\partial q''_2} q'_2 = 0 . \quad (8)$$

[On peut établir cette identité de la manière suivante. On a

$$\frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial q''_1} = x'' \frac{\partial x''}{\partial q''_1} + y'' \frac{\partial y''}{\partial q''_1} + z'' \frac{\partial z''}{\partial q''_1} = x'' \frac{\partial x}{\partial q_1} + y'' \frac{\partial y}{\partial q_1} + z'' \frac{\partial z}{\partial q_1} ,$$

$$\frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial q''_2} = x'' \frac{\partial x''}{\partial q''_2} + y'' \frac{\partial y''}{\partial q''_2} + z'' \frac{\partial z''}{\partial q''_2} = x'' \frac{\partial x}{\partial q_2} + y'' \frac{\partial y}{\partial q_2} + z'' \frac{\partial z}{\partial q_2} .$$

Multiplions par q'_1 , q'_2 les deux équations et ajoutons-les.
On aura

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V^2}{\partial q''_1} q'_1 + \frac{\partial V^2}{\partial q''_2} q'_2 \right) &= x'' \left(\frac{\partial x}{\partial q_1} q'_1 + \frac{\partial x}{\partial q_2} q'_2 \right) \\ &+ \dots = x'' x' + y'' y' + z'' z' = \frac{1}{2} \frac{dU^2}{ds} = 0 \end{aligned} .$$

Des relations (7) et (8) on tire

$$\frac{\partial V^2}{\partial q''_1} = 0 , \quad \frac{\partial V^2}{\partial q''_2} = 0 . \quad ^1 \quad (9)$$

ou bien, en tenant compte de (3),

$$\begin{cases} \frac{d}{ds} (E q'_1 + F q'_2) - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial E}{\partial q_1} q''_1 + 2 \frac{\partial F}{\partial q_1} q'_1 q'_2 + \frac{\partial G}{\partial q_1} q''_2 \right) = 0 , \\ \frac{d}{ds} (F q'_1 + G q'_2) - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial E}{\partial q_2} q''_2 + 2 \frac{\partial F}{\partial q_2} q'_1 q'_2 + \frac{\partial G}{\partial q_2} q''_1 \right) = 0 . \end{cases} \quad (9')$$

Ce sont les équations différentielles des lignes géodésiques. Ces deux équations rentrent d'ailleurs l'une dans l'autre moyennant la relation

$$U^2 = E q''_1 + 2 F q'_1 q'_2 + G q''_2 = 1 ,$$

¹ On sait que les lignes géodésiques d'une surface sont les trajectoires d'un point matériel qui n'est sollicité par aucune force. Les équations du mouvement sous la forme donnée par M. P. APPELL [Mécan. rat., t. II, § 465, IV^e éd.] coïncident avec les équations (9).

qui permet d'éliminer ds de l'une ou de l'autre, par exemple de $\frac{\partial V^2}{\partial q''_1} = 0$. L'équation obtenue est une équation différentielle du second ordre entre q_1 et q_2 . Son intégration conduit à la relation $q_2 = f(q_1)$ qui définit les lignes géodésiques de la surface (S).

Nous avons donc montré que la recherche des lignes géodésiques se ramène au problème d'Analyse suivant: trouver le minimum de la courbure $V = \frac{1}{\rho}$, considérée comme fonction explicite de deux variables indépendantes q''_1 , q''_2 (les dérivées secondees par rapport à l'arc s des deux coordonnées curvilignes q_1 , q_2).

3. — Nous allons faire une application de la méthode précédente à la recherche des lignes géodésiques des surfaces de révolution:

$$x = r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta, \quad z = \varphi(r).$$

On trouve

$$\begin{aligned} V^2 &= x''^2 + y''^2 + z''^2 = r''^2(1 + \varphi'^2) \\ &\quad + \theta''^2 r^2 - 2r''(\theta'^2 r - \varphi' \varphi'' r'^2) + 4rr'\theta'\theta'' + \dots . \end{aligned}$$

Alors les équations des lignes géodésiques sont:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial \theta''} &= \theta'' r^2 + 2\theta' rr' ; \quad \text{ou bien} \quad \frac{d}{ds}(r^2 \theta') = 0, \\ \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial r''} &= r''(1 + \varphi'^2) - \theta'^2 r + \varphi' \varphi'' r^2 = 0, \end{aligned}$$

auxquelles il faut joindre l'équation

$$U^2 = 1 = x'^2 + y'^2 + z'^2 = r'^2(1 + \varphi'^2) + r^2 \theta'^2.$$

En éliminant ds des équations

$$\begin{aligned} r^2 \frac{d\theta}{ds} &= C, \\ (1 + \varphi'^2) \left(\frac{dr}{ds} \right)^2 + r^2 \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 &= 1. \end{aligned}$$

on obtient l'équation différentielle de la projection des lignes géodésiques sur le plan Oxy

$$d\theta = \pm \frac{dr}{r} \sqrt{\frac{1 + \varphi'^2}{\frac{r^2}{c^2} - 1}}.$$

4. — Nous écrirons de même l'équation différentielle des lignes géodésiques en coordonnées rectangulaires. Soit

$$z = f(x, y)$$

l'équation de la surface (S). On a (avec les notations classiques)

$$z' = px' + qy' , \quad z'' = px'' + qy'' + rx'^2 + 2sx'y' + ty'^2 .$$

Par conséquent

$$U^2 = (1 + p^2)x'^2 + 2pqx'y' + (1 + q^2)y'^2 ,$$

$$\begin{aligned} V^2 = & (1 + p^2)x''^2 + 2pqx''y'' + (1 + q^2)y''^2 \\ & + 2x''p(rx'^2 + 2sx'y' + ty'^2) + 2y''q(rx'^2 + 2sx'y' + ty'^2) + \dots \end{aligned}$$

Les équations différentielles des lignes géodésiques sont

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial x''} = (1 + p^2)x'' + pqy'' + p(rx'^2 + 2sx'y' + ty'^2) = 0 , \\ \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial y''} = (1 + q^2)y'' + pqx'' + q(rx'^2 + 2sx'y' + ty'^2) = 0 . \end{array} \right. \quad (10)$$

Il suffit d'éliminer ds des équations (10). En posant pour abréger

$$rx'^2 + 2sx'y' + ty'^2 = m ,$$

on tire des équations (10)

$$x'' = -\frac{mp}{1 + p^2 + q^2} , \quad y'' = -\frac{mq}{1 + p^2 + q^2} .$$

En portant ces valeurs dans l'équation

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{x'y'' - y'x''}{x'^3} ,$$

on obtient finalement

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \left(q - p \frac{dy}{dx} \right) \frac{r + 2s \frac{dy}{dx} + t \left(\frac{dy}{dx} \right)^2}{1 + p^2 + q^2} .$$