

**Zeitschrift:** L'Enseignement Mathématique  
**Herausgeber:** Commission Internationale de l'Enseignement Mathématique  
**Band:** 4 (1958)  
**Heft:** 1: L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE

**Artikel:** SUR LE PRINCIPE DE FERMAT  
**Autor:** Quan, Pham Mau  
**Kapitel:** 1. La variété espace-temps.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-34626>

### **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:** 28.01.2026

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

repérage de l'espace et du temps, il est naturel d'avoir recours à une variété  $V_4$  à quatre dimensions, trois d'espace et une de temps et qui sera telle qu'à chacun de ses points corresponde un événement déterminé. Cette variété est la variété *espace-temps* de la théorie de la relativité. On la rapporte à des systèmes de coordonnées curvilignes quelconques et on y cherche une représentation tensorielle des lois physiques<sup>1)</sup>. Aussi nous sera-t-il utile de rappeler certaines définitions classiques de la théorie de la relativité; mais nous supposerons connue la théorie des espaces de Riemann<sup>2)</sup>. Nous cherchons à préciser la notion d'inductions électromagnétiques dans le nouveau mode de représentation afin de formuler d'une manière correcte les équations correspondantes de la théorie de MAXWELL. C'est ce qui va faire l'objet de la première partie de notre exposé. Nous continuerons par une étude des caractéristiques de ces équations en établissant que les rayons électromagnétiques sont les géodésiques de longueur nulle d'une variété riemannienne associée  $\bar{V}_4$ . L'étude géométrique des rayons électromagnétiques dans l'espace à trois dimensions fournira l'énoncé du principe de FERMAT, dont l'existence est liée à celle d'univers stationnaire et de mouvements permanents.

Nous utiliserons les symboles  $\nabla_\alpha$  pour désigner les dérivées covariantes et  $\partial_\alpha$  pour désigner les dérivées partielles ( $\partial_\alpha = \frac{\partial}{\partial x_\alpha}$ ).

## I. INDUCTIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET ÉQUATIONS RELATIVISTES DE L'ÉLECTROMAGNÉTISME

### 1. La variété espace-temps.

Dans la théorie de la relativité générale, l'espace-temps est une variété différentiable à quatre dimensions  $V_4$  de classe de différentiabilité  $C^2$ ,  $C^4$  par morceaux, sur laquelle est définie une métrique riemannienne  $ds^2$  de type hyperbolique normal,

<sup>1)</sup> Cette représentation indépendante du mode de repérage dans la variété  $V_4$  a conduit historiquement à une meilleure intelligence des phénomènes de l'électrodynamique des corps en mouvement.

<sup>2)</sup> Lire par exemple A. LICHNEROWICZ, *Eléments de calcul tensoriel* (A. Colin, Paris, 1950).

à un carré positif et trois carrés négatifs. Cette métrique dite *métrique d'univers* a, dans un système de coordonnées admissibles  $(x^\alpha)$ , pour expression locale

$$(1.1) \quad ds^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta \quad (\alpha, \beta = 0, 1, 2, 3) .$$

La variété  $V_4$  possède en chaque point un espace vectoriel tangent du type de MINKOWSKI.

L'équation  $ds^2 = 0$  définit en chaque point  $x$  de  $V_4$  un cône réel  $C_x$  de directions tangentes à  $V_4$  dit *cône élémentaire* en  $x$ . Une direction  $\vec{dx}$  en  $x$  est dite orientée dans le temps ou dans l'espace selon qu'elle est intérieure ( $ds^2 > 0$ ) ou extérieure ( $ds^2 < 0$ ) au cône  $C_x$ . Une courbe  $\Gamma$  de  $V_4$  est orientée dans le temps si les tangentes en ses différents points sont orientées dans le temps. Un 3-plan tangent en  $x$  à  $V_4$  est orienté dans l'espace si toutes ses directions sont orientées dans l'espace. Il est orienté dans le temps s'il admet des directions orientées dans le temps. Une hypersurface  $S$  à trois dimensions est orientée dans le temps ou dans l'espace selon que ses éléments plans tangents aux différents points sont orientés dans le temps ou dans l'espace. Pour qu'une hypersurface  $S$ , définie localement par  $f(x^\alpha) = 0$ , soit orientée dans le temps, il faut et il suffit que

$$\Delta_1 f \equiv g^{\alpha\beta} \partial_\alpha f \partial_\beta f < 0 .$$

Pour qu'elle soit orientée dans l'espace, il faut et il suffit que  $\Delta_1 f > 0$ .

Les dix coefficients  $g_{\alpha\beta}$  sont dits les *potentiels de gravitation* relativement au système de coordonnées locales  $(x^\alpha)$ , parce que leurs écarts à la géométrie euclidienne tangente rendent compte de la gravitation. Pour limiter la généralité de la métrique dans le cadre de la relativité générale, le tenseur  $g_{\alpha\beta}$  est astreint à vérifier le système des dix équations d'EINSTEIN

$$S_{\alpha\beta} = \chi T_{\alpha\beta}$$

qui généralisent les équations de LAPLACE-POISSON.

$S_{\alpha\beta}$  est le tenseur d'EINSTEIN de la variété riemannienne  $V_4$ . Il est d'origine géométrique. La description de l'état de la

distribution énergétique est faite par le tenseur d'impulsion-énergie  $T_{\alpha\beta}$ , suivant des schémas de type hydrodynamique. On dit qu'un domaine  $D_4$  de l'espace-temps est occupé par une distribution énergétique schématisée sous forme de *fluide*, si sur le domaine  $D_4$  sont définis

- 1) un champ de scalaire  $\rho$  dit *densité propre* du fluide,
- 2) un champ de vecteur unitaire orienté dans le temps  $\vec{u}$  dit *vecteur vitesse unitaire* dont les trajectoires sont appelées les lignes de courant du fluide.

On appellera *repère propre* en un point  $x$  du domaine  $D_4$  un repère orthonormé dont le premier vecteur orienté dans le temps coïncide avec le vecteur vitesse unitaire  $\vec{u}$  et dont les trois autres vecteurs orientés dans l'espace définissent le tri-plan  $\pi_x$  orthogonal à  $\vec{u}$  qu'on appelle *espace associé* à la direction de temps  $\vec{u}$ .

Le repère propre précédent joue le rôle d'un repère galiléen local par rapport auquel la matière est au repos. Il suffit d'écrire, dans ce repère, les équations relatives à la matière au repos. Puis, par un changement de repère, on en déduit l'expression générale invariante des équations relativement au repère naturel associé à un système de coordonnées locales quelconque. Inversement, l'interprétation physique des équations se fait relativement au repère propre dans l'espace tangent au point considéré. On peut aussi considérer un espace-temps de la relativité restreinte rapporté à un système de coordonnées galiléennes réduites dans lequel la métrique a pour expression

$$ds^2 = (dx^0)^2 - (dx^1)^2 - (dx^2)^2 - (dx^3)^2$$

où  $x^0 = ct$ ,  $c$  désignant la vitesse de propagation de la lumière dans le vide.

## 2. Inductions électromagnétiques et équations de MAXWELL.

La théorie de MAXWELL pour la matière fait intervenir un champ électromagnétique variable avec le temps, défini par quatre vecteurs d'espace: champ électrique  $\vec{E}$  et induction