



Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **7 (1905)**

Heft 1: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE**

PDF erstellt am: **15.09.2024**

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.

et $\bar{\xi}_{\lambda-k}$, embrasse à la fois l'intervalle $x_{\lambda-1} \dots x_{\lambda}$ et devient infiniment petit en même temps que $x_{\lambda-1} \dots x_{\lambda}$. La condition (3) est donc suffisante pour que S et T tendent vers une limite commune, *c. q. f. d.*

Il est évident que cette condition se trouve satisfaite, — aussi dans le sens étendu, — si $f(x)$ est une fonction continue, au sens de CAUCHY, dans l'intervalle $p \dots q$.

II

Soient $P(\xi, \eta)$, $Q(\xi, \eta)$ deux fonctions des variables réelles ξ, η qui, à l'intérieur d'un domaine S simplement connexe du plan des (ξ, η) , sont uniformes et finis et admettent des dérivées partielles par rapport à ξ et η . Si la condition d'intégrabilité.

$$(1) \quad \frac{\partial P}{\partial \eta} = \frac{\partial Q}{\partial \xi}$$

se trouve satisfaite à l'intérieur de S, l'équation différentielle

$$(2) \quad du = Pd\xi + Qd\eta$$

possède une solution u qui est une fonction des deux variables indépendantes ξ, η uniforme à l'intérieur de S, et qui s'évanouit pour un point (ξ_0, η_0) de S, donné arbitrairement. C'est ce que nous allons démontrer, sans faire usage des notions de l'intégrale curviligne et de l'intégrale double; au contraire, notre démonstration nous va permettre de démontrer d'une manière extrêmement simple les théorèmes classiques, relatifs aux intégrales curvilignes. Nous allons procéder suivant EULER¹.

1. Soient (ξ_0, η_0) et (ξ, η) deux points de S, tels que le rectangle déterminé par les points (ξ_0, η_0) , (ξ, η_0) , (ξ, η) , (ξ_0, η) — qui seront désignés aussi par A, B, C, D — se trouve entièrement à l'intérieur de S. Nous considérons les deux expressions

¹ Voir *Institutiones calculi integralis*, t. I, caput II, art. 448 et suiv.

$$(3) \quad v = \int_{\eta_0}^{\eta} Q(\xi_0, \eta) d\eta + \int_{\xi_0}^{\xi} P(\xi, \eta) d\xi ,$$

$$(4) \quad \bar{v} = \int_{\xi_0}^{\xi} P(\xi, \eta_0) d\xi + \int_{\eta_0}^{\eta} Q(\xi, \eta) d\eta ,$$

qui pourront être caractérisées de manière, que la première v se rapporte à la *marche supérieure* (AD, DC), l'autre \bar{v} à la *marche inférieure* (AB, BC), joignant les points A et C. Nous allons démontrer que v et \bar{v} satisfont à l'équation (2) et que ces deux expressions sont identiques, c'est-à-dire que l'on a les équations

$$(5) \quad \frac{\partial v}{\partial \xi} = P , \quad \frac{\partial \bar{v}}{\partial \eta} = Q ,$$

$$(6) \quad \frac{\partial v}{\partial \eta} = Q , \quad \frac{\partial \bar{v}}{\partial \xi} = P .$$

$$(7) \quad \bar{v} - v = 0 .$$

Les deux équations (5) se vérifient immédiatement; quant aux équations (6), il suffira de donner la démonstration de la première.

Posons à cet effet

$$(8) \quad w = \int_{\xi_0}^{\xi} P(\xi, \eta) d\xi ,$$

nous aurons ¹

$$(9) \quad \frac{\partial v}{\partial \eta} = Q(\xi_0, \eta) + \frac{\partial w}{\partial \eta} .$$

Mais

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(Q(\xi, \eta) - \frac{\partial w}{\partial \eta} \right) = \frac{\partial Q}{\partial \xi} - \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial w}{\partial \xi} \right) ,$$

¹ C. f. EULER, *l. c.*, art. 448. Pour que les calculs suivants soient légitimes, il faut imposer aux fonctions P, Q encore certaines conditions supplémentaires que l'on va tirer facilement de ces calculs mêmes.

donc en vertu de la condition d'intégrabilité (1)

$$(10) \quad \frac{\partial}{\partial \xi} \left(Q(\xi, \eta) - \frac{\partial \omega}{\partial \eta} \right) = 0 ,$$

c'est-à-dire que l'expression.

$$(11) \quad Q(\xi, \eta) - \frac{\partial \omega}{\partial \eta} = F(\eta)$$

est indépendante de ξ . Etant

$$(12) \quad \lim_{\xi \rightarrow \xi_0} \omega = 0 , \quad \lim_{\xi \rightarrow \xi_0} \frac{\partial \omega}{\partial \eta} = 0 ,$$

on aura donc

$$Q(\xi_0, \eta) = F(\eta) ,$$

et d'après les équations (11) et (9),

$$\frac{\partial \omega}{\partial \eta} = Q(\xi, \eta) - Q(\xi_0, \eta) ,$$

$$\frac{\partial v}{\partial \eta} = Q(\xi, \eta) , \quad \text{c. q. f. d.}$$

Pour démontrer l'équation (7), nous remplaçons dans les limites supérieures de v, \bar{v} les ξ, η par ξ_1, η_1 ; l'équation (7) s'écrit alors :

$$(7a) \quad \int_{\xi_0}^{\xi_1} P(\xi, \eta_0) d\xi + \int_{\eta_0}^{\eta_1} Q(\xi_1, \eta) d\eta + \int_{\xi_1}^{\xi_0} P(\xi, \eta_1) d\xi + \int_{\eta_1}^{\eta_0} Q(\xi_0, \eta) d\eta = 0 ,$$

équation qui peut s'énoncer en disant que l'intégrale de la différentielle exacte $P d\xi + Q d\eta$, menée au sens positif sur la périphérie du rectangle (A B C D) s'évanouit; l'équation (7) n'est donc autre chose que le théorème de RIEMANN-CAUCHY¹ pour le cas du rectangle (A B C D)².

¹ RIEMANN, Werke (1892), p. 15, I.

² Quant à l'équation (7), EULER n'en donne pas de démonstration explicite, il s'exprime comme il suit (l. c., art. 452) : « Ex rei natura patet, perinde esse ultra via procedatur necesse enim est ad eandem æquationem integram perveniri ». Mais la démonstration qu'on va lire dans le texte, ne fait usage que des moyens qu'EULER avait à sa disposition.

Soit (ξ, η) un point quelconque à l'intérieur de (A B C D) et posons

$$s(\xi, \eta) = \int_{\xi_0}^{\xi} P(\xi, \eta) d\xi + \int_{\eta_0}^{\eta} Q(\xi_0, \eta) d\eta,$$

nous aurons, d'après ce qui précède,

$$(13) \quad \frac{\partial s}{\partial \eta} = Q(\xi, \eta),$$

et le premier membre de l'équation (7a) pourra s'écrire :

$$\int_{\eta_0}^{\eta_1} Q(\xi_1, \eta) d\eta - s(\xi_1, \eta_1) + s(\xi_1, \eta_0)$$

ou encore

$$\int_{\eta_0}^{\eta_1} \left(Q(\xi_1, \eta) - \frac{\partial s(\xi_1, \eta)}{\partial \eta} \right) d\eta,$$

intégrale qui s'évanouit d'après l'équation (13).

2. Soient maintenant (ξ_0, η_0) et (ξ, η) deux points quelconques à l'intérieur du domaine S, on pourra intercaler d'une infinité de manières des points en nombre fini

$$(\xi_1, \eta_1), (\xi_2, \eta_2), \dots, (\xi_{n-1}, \eta_{n-1})$$

appartenant également à S et tels que pour deux points consécutifs $(\xi_{\lambda-1}, \eta_{\lambda-1})$ et $(\xi_{\lambda}, \eta_{\lambda})$ (ou $\xi_n = \xi, \eta_n = \eta$) ou la marche supérieure ou la marche inférieure, joignant ces deux points, se trouve entièrement à l'intérieur de S. Suivant le cas qui se présente désignons par ν_{λ} ou l'expression

$$(15) \quad \int_{\eta_{\lambda-1}}^{\eta_{\lambda}} Q(\xi_{\lambda-1}, \eta) d\eta + \int_{\xi_{\lambda-1}}^{\xi_{\lambda}} P(\xi, \eta_{\lambda}) d\xi$$

ou l'expression

$$(15 a) \quad \int_{\xi_{\lambda-1}}^{\xi_{\lambda}} P(\xi, \eta_{\lambda-1}) d\xi + \int_{\eta_{\lambda-1}}^{\eta_{\lambda}} Q(\xi_{\lambda}, \eta) d\eta ;$$

si toutes les deux marches étaient situées à l'intérieur de S, les deux expressions (15) et (15a) seraient identiques d'après le théorème (7). La somme

$$(16) \quad v_1 + v_2 + \dots + v_n$$

représente alors une fonction de ξ, η , satisfaisant à l'équation différentielle (2) et s'évanouissant pour ξ_0, η_0 . Pour démontrer que cette fonction est uniforme à l'intérieur de S, il suffit de faire voir qu'elle est indépendante du choix des points intercalés.

Soit donc

$$(14 a) \quad (\xi'_1, \eta'_1), \dots, (\xi'_{m-1}, \eta'_{m-1})$$

une autre série de points intercalés, et

$$(16 a) \quad v'_1 + v'_2 + \dots + v'_m$$

la somme des intégrales correspondantes ; les séries (14) et (14a) vont déterminer deux *escaliers*, joignant les points (ξ_0, η_0) et (ξ, η) et situés entièrement à l'intérieur de S. L'aire limitée par eux pourra évidemment être partagée en un nombre fini de rectangles, tels que (AB CD) ; en appliquant donc le théorème (7) sur chacun de ces rectangles, on démontrera immédiatement l'identité des sommes (16), (16a).

La somme (16) fournit la solution u de l'équation différentielle (2), dont nous nous sommes proposés de démontrer l'existence ; elle sera représentée par le symbole

$$u = S \int_{(\xi_0, \eta_0)}^{(\xi, \eta)} (Pd\xi + Qd\eta)^1 .$$

¹ Le principe de la définition de l'intégrale (17) indiqué dans le n° 2, a été imaginé à peu près en même temps par mon ami HEFFTER et par moi (voir la communication de M. HEFFTER, *Göttinger Nachrichten*, 1904, p. 196). Pour moi les considérations de la note pré-

3. Pour passer encore à l'application des résultats obtenus à la démonstration des théorèmes fondamentaux relatifs aux intégrales curvilignes, soit C une courbe menée dans l'intérieur de S entre les points (ξ_1, η_1) , (ξ_2, η_2) et représentée par les équations

$$\xi = \varphi(t) , \eta = \psi(t) ,$$

$\varphi(t)$, $\psi(t)$ étant deux fonctions uniformes du paramètre t , et admettant des dérivées $\varphi'(t)$, $\psi'(t)$ continues dans l'intervalle $t_1 \dots t_2$, où

$$\xi_i = \varphi(t_i) , \eta_i = \psi(t_i) \quad (i = 1, 2)^1.$$

Alors l'intégrale curviligne prise suivant C n'est autre chose que

$$(18) \quad \int_{(\xi_1, \eta_1)}^{(\xi_2, \eta_2)} (P d\xi + Q d\eta) = \int_{t_1}^{t_2} (P \cdot \varphi'(t) + Q \cdot \psi'(t)) dt .$$

Comme la fonction uniforme $u(\xi, \eta)$, donnée par l'expression (17) satisfait à l'équation différentielle (2), on a

$$P(\varphi(t), \psi(t)) \varphi'(t) + Q(\varphi(t), \psi(t)) \psi'(t) = \frac{du(\varphi(t), \psi(t))}{dt} ,$$

donc

$$\begin{aligned} \int_{(\xi_1, \eta_1)}^{(\xi_2, \eta_2)} (P d\xi + Q d\eta) &= u(\varphi(t_2), \psi(t_2)) - u(\varphi(t_1), \psi(t_1)) \\ &= u(\xi_2, \eta_2) - u(\xi_1, \eta_1) . \end{aligned}$$

ce qui montre que l'intégrale (18) est indépendante du chemin d'intégration C, et que partant l'intégrale relative à une courbe

sente ne forment qu'une application très particulière des développements analogues que j'ai établis relativement aux solutions des systèmes d'équations différentielles linéaires, et qui seront publiés ailleurs.

¹ On sait d'après les travaux de MM. GOURSAT, *Transactions of the American Math. Soc.*, I (1900), MOORE, *ibid.*, PRINGSHEIM, *ibid.*, II (1904), HEFFTER, *Gött. Nachrichten*, 1902, 1903, 1904, que la définition de l'intégrale curviligne peut être donné pour des courbes d'un caractère beaucoup plus général, mais comme pour la plupart des applications analytiques la définition adoptée dans le texte est assez générale, elle suffira pour les buts de l'enseignement, et c'est à quoi nous nous restreignons dans cette note.

fermée se réduit à zéro ¹. Le passage aux théorèmes de CAUCHY, relatifs aux intégrales de fonctions monogènes, se fait maintenant de la manière usuelle.

Remarquons enfin que les considérations du n° I s'étendent sans difficulté aux intégrales multiples, aussi bien que celles du n° II, aux intégrales des différentielles exactes, à un nombre quelconque de variables indépendantes.

Kolozsvar, 18 décembre 1904.

L. SCHLESINGER.

SUR UNE MANIÈRE
D'EXPOSER LA GÉOMÉTRIE PROJECTIVE

1. On sait que von STAUDT exposa, indépendamment de toute notion de distance, les principes de la Géométrie projective.

Son exposition est fondée sur les propriétés du quadrilatère complet. Je vais ici exposer la Géométrie projective d'une façon différente et que je crois plus simple. Je ne me servirai pas du quadrilatère complet.

J'admettrai les axiomes ordinaires concernant le point, la ligne droite, le plan.

On regardera deux droites situées dans un même plan comme se coupant toujours. Si le point d'intersection n'existe pas en réalité, on dira que les droites se coupent en un point fictif, ou idéal. Il sera toujours possible de projeter les droites sur un autre plan (en projection conique) de façon que leurs projections se coupent. Trois droites d'un plan se couperont en un même point idéal, si leurs projections se coupent en un même point réel.

¹ C. f. HEFFTER, *l. c.*, 1903, p. 123.