

**Zeitschrift:** L'Enseignement Mathématique  
**Herausgeber:** Commission Internationale de l'Enseignement Mathématique  
**Band:** 27 (1928)  
**Heft:** 1: L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE

**Artikel:** ROTATIONNEL ET FORMULE DE STOKES  
**Autor:** Bouligand, Georges / Roussel, André  
**Kapitel:** 10. Formule de Stokes.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-21866>

### **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:** 16.01.2026

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

cas contraire pour justifier la définition fournie par l'équation (8) il faut :

1° Que  $\vec{V} \wedge \vec{u}$  ait une divergence (au sens généralisé défini plus haut).

2° Que (8) définisse alors bien un vecteur et un seul. Examinons le premier point : la condition énoncée sera remplie si l'intégrale :

$$\frac{1}{\frac{4}{3}\pi\rho^3 S} \int (\vec{V} \wedge \vec{u}) \cdot \vec{v} d\sigma \quad (9)$$

prise sur la sphère  $S$  de centre  $M$  et de rayon  $\rho$  admet une limite, quand  $\rho$  tend vers zéro, continue avec  $M$ , et reste inférieure quel que soit  $\rho$  à un nombre fixe  $\Lambda$ . Or, on peut écrire (9), en désignant par  $\varpi$  le volume de  $S$  :

$$\frac{\vec{u}}{\varpi} \int_S (\vec{v} \wedge \vec{V}) d\sigma \quad (10)$$

Alors 1° sera satisfaite si la longueur du vecteur  $\vec{W}(\rho, M)$

$$\frac{1}{\frac{4}{3}\pi\rho^3 S} \int (\vec{v} \wedge \vec{V}) d\sigma$$

reste inférieure à  $\Lambda$  quel que soit  $\rho$  et  $M$ , et si  $\vec{W}$  tend vers une limite continue quand  $\rho$  tend vers zéro. On aura alors d'après (8), (9) et (10) :

$$\vec{\text{rot}} \vec{V} = \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{1}{\varpi} \int_S (\vec{v} \wedge \vec{V}) d\sigma ; \quad (11)$$

cette relation (11) définit alors complètement le rotationnel et la condition 2° est bien remplie.

#### 10. Formule de Stokes.

Nous allons montrer que l'existence et la continuité du rotationnel généralisé que nous venons de définir dans le paragraphe précédent suffisent pour assurer l'exactitude de la formule de Stokes :

$$\int_C \vec{V} \cdot d\vec{M} = \int_{\Sigma} \vec{\text{rot}} \vec{V} \cdot \vec{v} d\sigma \quad (12)$$

$\Sigma$  étant une portion de surface admettant un champ de normales

continu, limité par une courbe fermée simple  $C$  admettant une tangente continue.

Nous allons commencer par établir (12) en prenant pour  $C$  un contour triangulaire  $A_1, A_2, A_3$ :  $\Sigma$  sera alors la portion de plan intérieure à ce triangle,  $\vec{v}$  sera un vecteur fixe  $\vec{u}$  perpendiculaire au plan  $A_1 A_2 A_3$  et tel que l'observateur disposé suivant  $\vec{u}$  voit un mobile décrivant  $A_1 A_2 A_3$  tourner dans le sens d'orientation des axes de coordonnées. Nous voulons calculer l'intégrale:

$$I = \int_{\Sigma} \overrightarrow{\text{rot } \vec{V}} \cdot \vec{u} \, d\sigma ;$$

elle est, d'après (8) égale à:

$$\int_{\Sigma} \text{div} (\vec{V} \wedge \vec{u}) \, d\sigma ;$$

transformons cette intégrale de surface, en intégrale de volume à l'aide de l'artifice suivant: formons un prisme droit de bases  $(A'_1, A'_2, A'_3), (A_1, A_2, A_3)$  distantes d'une quantité infiniment petite  $l$ . Nous ferons de plus:

$$\overrightarrow{A'_1 A_1} = \overrightarrow{A'_2 A_2} = \overrightarrow{A'_3 A_3} = \lambda^2 \vec{u} .$$

On a alors, à un infiniment petit près:

$$I = \frac{1}{l} \int_{\Omega} \text{div} (\vec{V} \wedge \vec{u}) \, d\omega$$

$\Omega$  étant le domaine prismatique,  $d\omega$  l'élément de volume. Mais le théorème flux-divergence nous donne:

$$I = \frac{1}{l} \int_S (\vec{V} \wedge \vec{u}) \cdot \vec{v} \, dS$$

$S$  étant la surface du prisme,  $\vec{v}$  la normale extérieure à  $S$ . Mais on peut encore écrire:

$$I = \frac{1}{l} \int_S (\vec{u} \wedge \vec{v}) \cdot \vec{V} \, dS .$$

Cette intégrale se scinde en 5 intégrales partielles étendues respectivement aux deux bases et aux trois faces latérales. Les deux premières sont nulles car on a alors :

$$\vec{u} \wedge \vec{v} = \vec{u} \wedge \vec{u} = 0 \quad \text{ou} \quad \vec{u} \wedge \vec{v} = \vec{u} \wedge (-\vec{u}) = 0.$$

Considérons donc la portion  $I_1$  de  $I$  relative à la face  $A_1 A_2 A_2' A_1'$ . Nous avons :

$$\vec{u} \wedge \vec{v} = \frac{\overrightarrow{A_1 A_2}}{A_1 A_2}.$$

D'autre part, soit  $d\vec{M}$  un vecteur infiniment petit colinéaire et de même sens que  $\overrightarrow{A_1 A_2}$ . Nous avons :

$$dS = l \cdot dM$$

et nous pouvons écrire, à un infiniment petit près :

$$I_1 = \int \frac{\overrightarrow{A_1 A_2}}{A_1 A_2} \cdot \vec{V} \cdot d\vec{M}.$$

ou encore :

$$I_1 = \int_{\overline{A_1 A_2}} \vec{V} \cdot d\vec{M}.$$

En raisonnant de même pour  $I_1, I_2, I_3$ , on voit immédiatement que l'on a :

$$I = \int_C \vec{V} \cdot d\vec{M}$$

$C$  étant le contour  $A_1 A_2 A_3$ .

Il est alors facile d'établir la formule (12) pour toutes les surfaces  $\Sigma$ . En effet, en vertu des hypothèses relatives à la continuité du champ de normales à  $\Sigma$  et à celle du rotationnel on peut trouver une surface polyédrale  $\Sigma_n$  inscrite dans  $\Sigma$ , limitée par un contour  $\Gamma_n$  inscrit dans  $\Gamma$  telle que la différence

$$\left| \int_{\Sigma} \overrightarrow{\text{rot}} \vec{V} \cdot \vec{v} \cdot d\sigma - \int_{\Sigma_n} \overrightarrow{\text{rot}} \vec{V} \cdot \vec{v}_n \cdot d\sigma_n \right|$$

tende vers zéro quand  $n$  augmente indéfiniment, ainsi que :

$$\left| \int_{\Gamma} \vec{V} \cdot d\vec{M} - \int_{\Gamma_n} \vec{V} \cdot d\vec{M}_n \right|$$

Or :

$$\int_{\Sigma_n} \overrightarrow{\text{rot } \vec{V}} \cdot \vec{v}_n d\sigma_n = \int_{\Gamma_n} \vec{V} \cdot d\vec{M}_n \quad (13)$$

car il est clair que l'on a :

$$\int_{\Gamma_n} \vec{V} \cdot d\vec{M}_r = \sum_{i=1}^{i=n} \int_{C_i} \vec{V} \cdot d\vec{M}$$

$C_i$  étant une face triangulaire quelconque de  $\Sigma_n$ , car tout côté appartenant à deux triangles à la fois de  $\Sigma_n$  sera parcouru dans les deux sens, et les intégrales de  $\vec{V} \cdot d\vec{M}$  correspondantes se détruiront; finalement il ne restera que les intégrales relatives aux côtés de la courbe limite  $\Gamma_n$ . On déduit alors immédiatement l'identité (12) de l'équation (13) en tenant compte de ce que nous avons dit plus haut. Le théorème de Stokes se trouve ainsi établi.

*Remarque:* La formule de Stokes montre que l'intégrale :

$$\int_{\Sigma} \overrightarrow{\text{rot } \vec{V}} \cdot \vec{v} d\sigma$$

prise sur toute surface fermée  $\Sigma$  est identiquement nulle. On en déduit alors facilement que le champ vectoriel  $\overrightarrow{\text{rot } \vec{V}}$ , défini par l'équation (11) admet partout une divergence qui satisfait à l'identité remarquable :

$$\text{div} (\overrightarrow{\text{rot } \vec{V}}) = 0$$

comme dans le cas classique où les composantes de  $\vec{V}$  auraient des dérivées des deux premiers ordres.

#### 11. Composantes du rotationnel.

Nous allons établir le théorème fondamental suivant :

*Soit le vecteur :*

$$\vec{V} = \vec{x} P(x, y, z) + \vec{y} Q(x, y, z) + \vec{z} R(x, y, z)$$