

**Zeitschrift:** L'Enseignement Mathématique  
**Herausgeber:** Commission Internationale de l'Enseignement Mathématique  
**Band:** 35 (1936)  
**Heft:** 1: L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE

**Artikel:** LA TOPOLOGIE DES ESPACES REPRÉSENTATIFS DES GROUPES DE LIE  
**Autor:** Cartan, Elie  
**Kapitel:** VII. — Dernières recherches sur les groupes SIMPLES CLOS.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-27310>

### **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:** 27.04.2026

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

VII. — DERNIÈRES RECHERCHES SUR LES GROUPES  
SIMPLES CLOS.

L'importance, dans la topologie des groupes, des groupes simples clos appelle l'attention sur les propriétés topologiques de ces groupes dont nous n'avons donné qu'une faible partie, à savoir que leurs deux premiers nombres de Betti sont nuls.

La première recherche plus approfondie sur ce sujet repose sur un théorème, susceptible du reste de s'appliquer à tout espace riemannien symétrique clos, et qui s'énonce ainsi [15]:

*Le p<sup>ième</sup> nombre de Betti d'un groupe de Lie clos est égal au nombre des invariants intégraux linéairement indépendants de degré p de l'espace du groupe, et ce nombre est lui-même égal au nombre des formes extérieures de degré p linéairement indépendantes qui sont invariantes par le groupe adjoint.*

La démonstration de ce théorème fait appel aux théorèmes de M. de RHAM [18].

D'après cela le premier nombre de Betti du groupe adjoint d'un groupe dont la forme  $\varphi(e)$  est définie est évidemment nul. En effet ce groupe adjoint est clos et il n'admet aucun invariant linéaire, car l'existence d'un tel invariant prouverait l'existence d'un sous-groupe invariant d'ordre  $r - 1$ , ce qui est absurde.

On peut démontrer presque aussi facilement que le second nombre de Betti est nul; s'il ne l'était pas, le groupe adjoint laisserait invariante une forme  $a_{ij}[e^i e^j]$  non identiquement nulle, les coefficients  $a_{ij}$  étant antisymétriques. L'invariance s'exprime par les relations

$$c_{ij}^r a_{rk} = c_{ik}^r a_{rj} ;$$

si nous désignons par  $\{ijk\}$  le premier membre de cette relation, nous voyons qu'il se reproduit par l'échange des deux derniers indices et que d'autre part il change de signe par l'échange des deux premiers. On en déduit facilement qu'il est nul. Mais alors chacune des formes linéaires  $a_{1i}e^i, a_{2i}e^i, \dots, a_{ri}e^i$  est invariante; cela n'est possible que si elles sont toutes nulles, ce qui est absurde.

Cette démonstration du théorème relatif aux deux premiers nombres de Betti est beaucoup plus simple que celle qui a été indiquée plus haut, mais elle va moins loin. En revanche il nous est maintenant bien facile de voir que *le troisième nombre de Betti d'un groupe simple clos n'est jamais nul*. Cela tient à l'existence de la forme invariante

$$\gamma_{ijk} [e^i e^j e^k] ,$$

où l'on a posé

$$\gamma_{ijk} = c_{ij}^m A_{mk} = c_{jk}^m A_{mi} = c_{ki}^m A_{mj} ,$$

les  $A_{ij}$  étant les coefficients de la forme  $\varphi(e)$ . Ces coefficients  $\gamma_{ijk}$  se reproduisent avec ou sans changement de signe suivant qu'on effectue sur les indices une permutation impaire ou paire.

En m'appuyant sur la théorie de la représentation linéaire des groupes simples sous la forme que lui a donnée M. H. WEYL [4], j'ai pu démontrer [15] deux autres résultats remarquables :

1° *La somme des nombre de Betti d'un groupe clos de rang  $l$  est  $2^l$ ;*

2° *Le polynome de Poincaré du groupe, c'est-à-dire le polynome  $t^r + P_1 t^{r-1} + \dots + P_{r-1} t + 1$  dont les coefficients sont les nombres de Betti successifs du groupe, est divisible par  $(t + 1)^l$ .*

Ces résultats ne supposent pas le groupe semi-simple. Ils donnent immédiatement le polynome de Poincaré

$$(t^3 + 1)(t^{r-3} + 1)$$

d'un groupe simple clos de rang 2.

Les théorèmes précédents ramènent la recherche des nombres de Betti d'un groupe simple clos à un problème d'Algèbre. A ce point de vue il a été résolu récemment par M. Richard BRAUER [22] qui a indiqué les polynomes de Poincaré pour les quatre grandes classes de groupes simples, à savoir :

$$(A) : \quad (t^3 + 1)(t^5 + 1) \dots (t^{2l+1} + 1) \quad r = l(l + 2) ;$$

$$(B) \text{ et } (C) : \quad (t^3 + 1)(t^7 + 1) \dots (t^{4l-1} + 1) \quad r = l(2l + 1) ;$$

$$(D) : \quad (t^3 + 1)(t^7 + 1) \dots (t^{4l-5} + 1)(t^{2l-1} + 1) \quad r = l(2l - 1) .$$

Ces résultats, dont j'avais indiqué les deux premiers comme probables, avaient été trouvés un peu auparavant par M. Pontrjagin, qui a employé une méthode de nature topologique, d'abord en utilisant le théorème relatif à la somme  $2^l$  des nombres de Betti [20], ensuite en s'en affranchissant [21]. Cette méthode consiste essentiellement à montrer l'existence, dans un groupe simple clos  $G$  de rang  $l$ , d'un sous-groupe simple  $G'$  d'ordre  $r'$  et de rang  $l-1$  et, dans l'espace de  $G$ , d'une variété orientable fermée  $V$  à  $r-r'$  dimensions ayant un seul élément commun avec  $G'$ . On obtient alors une base complète des homologies de  $G$  en prenant une base des homologies de  $G'$  et en lui adjoignant les variétés obtenues par multiplication (au sens des groupes) des éléments de chaque variété de cette base par les éléments de  $V$ .

En supposant que cette manière de procéder puisse s'appliquer aussi aux groupes simples exceptionnels, on peut encore énoncer les résultats suivants.

Etant donné un groupe simple clos de rang  $l$ , il existe, dans l'espace du groupe,  $l$  variétés fermées orientables fondamentales  $V_1, V_2, \dots, V_l$  toutes de dimensions impaires, telles que les  $2^l - 1$  variétés

$$V_{i_1} V_{i_2} \dots V_{i_h} \quad (i_1 < i_2 < \dots < i_h)$$

obtenues par multiplication au sens précédemment indiqué, jointes à la variété  $V_0$  réduite au point unité, forment une base des homologies.

Cela posé considérons deux de ces variétés,

$$\begin{aligned} W &= V_{i_1} V_{i_2} \dots V_{i_k}, \\ W' &= V_{j_1} V_{j_2} \dots V_{j_h}, \end{aligned}$$

dont la somme des dimensions soit supérieure ou égale à  $r$ . On a les théorèmes suivants:

1° *L'intersection  $W \cdot W'$  est homologue à zéro si l'une des  $l$  variétés fondamentales n'entre dans la composition d'aucune des deux variétés  $W, W'$ .*

2° *L'intersection est homologue au produit des variétés fondamentales entrant à la fois dans la composition de  $W$  et de  $W'$ ,*

si toutes les variétés fondamentales entrent dans la composition soit de  $W$ , soit de  $W'$ , soit de  $W$  et  $W'$ .

Ces théorèmes rapprochent l'espace d'un groupe simple clos simplement connexe de l'espace produit topologique de  $l$  espaces sphériques ayant les dimensions de  $V_1, V_2, \dots, V_l$ : ces deux espaces ont les mêmes nombres de Betti, les mêmes groupes d'homologie et les mêmes lois d'intersections; mais on ne sait pas s'ils sont homéomorphes.

Comme vous le voyez, si les recherches toutes récentes sur la topologie des groupes simples nous ont apporté des résultats très intéressants, elles nous posent par cela même de nouveaux problèmes. Mais même en nous bornant à la simple détermination des nombres de Betti des groupes simples, on ne devra pas s'estimer complètement satisfait si on arrive à faire cette détermination pour les cinq groupes exceptionnels. C'est en quelque sorte une loi historique que les propriétés générales des groupes simples ont presque toutes été vérifiées d'abord sur les différents groupes et qu'on a ensuite cherché et trouvé une raison générale dispensant de l'examen des cas particuliers; je ne connais guère qu'une exception à cette loi: elle est fournie par le théorème sur la somme  $2^l$  des nombres de Betti. Il faut espérer qu'on trouvera aussi une raison de portée générale expliquant la forme si particulière des polynomes de Poincaré des groupes simples clos.

## BIBLIOGRAPHIE

1. S. LIE und F. ENGEL. Theorie der Transformationsgruppen (B. G. Teubner, Leipzig, Berlin, 2<sup>me</sup> éd., 1930).
2. E. CARTAN. Sur la structure des groupes de transformations finis et continus (Thèse, 2<sup>me</sup> éd., Paris, Vuibert, 1933).
3. — Les groupes réels simples finis et continus (*Ann. Ec. Norm.*, 31, 1914, p. 265-355).
4. H. WEYL. Theorie der Darstellung kontinuierlicher halb-einfacher Gruppen durch lineare Transformationen (*Math. Zeitschr.*, 23, 1925, p. 271-309; 24, 1925, p. 328-395).
5. E. CARTAN. Les tenseurs irréductibles et les groupes linéaires simples et semi-simples (*Bull. Sc. Math.*, 49, 1925, p. 130-152).
6. — Sur certains systèmes différentiels dont les inconnues sont des formes de Pfaff (*Comptes rendus*, 182, 1926, p. 956-958).
7. O. SCHREIER. Abstrakte kontinuierliche Gruppen (*Abh. math. Seminar Hamburg*, 4, 1926, p. 15-32).