

**Zeitschrift:** L'Enseignement Mathématique  
**Herausgeber:** Commission Internationale de l'Enseignement Mathématique  
**Band:** 39 (1993)  
**Heft:** 1-2: L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE

**Artikel:** GÈBRES  
**Autor:** Serre, Jean-Pierre  
**Kapitel:** §4. Enveloppes  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-60413>

### **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:** 15.01.2026

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

DÉFINITION 3. Soit  $C$  une bigèbre possédant une inversion. Un  $C$ -comodule  $E$  de rang fini est dit fidèle si  $C(E \oplus \check{E}) = C$ .

Vu ce qui précède,  $E$  est fidèle si et seulement si  $G \rightarrow G_E$  est un isomorphisme.

PROPOSITION 8. Si  $E$  est fidèle, toute représentation linéaire de  $G$  est quotient d'une sous-représentation d'une somme directe de représentations  $\bigotimes_n (E \oplus \check{E})$ .

Cela résulte du lemme 1 du n° 2.4.

COROLLAIRE. Tout  $G$ -module simple est quotient de Jordan-Hölder d'un  $\bigotimes_n (E \oplus \check{E})$ .

### Remarques

1) Dans le corollaire ci-dessus, on peut remplacer les puissances tensorielles de  $E \oplus \check{E}$  par les représentations  $\bigotimes_n E \otimes_m \det(E)^{-1}$ , avec des notations évidentes.

2) Il se peut que  $G_E$  soit fermé dans  $\text{End}_E$  (et non pas seulement dans  $\text{GL}_E$ ), autrement dit que  $C(E) = C(E \oplus \check{E})$ . C'est le cas, par exemple, si  $G_E$  est contenu dans  $\text{SL}_E$ . Dans ce cas, la prop. 8 et son corollaire se simplifient: on peut remplacer les puissances tensorielles de  $E \oplus \check{E}$  par celles de  $E$ .

## §4. ENVELOPPES

### 4.1. COMPLÉTION D'UNE ALGÈBRE

[Ce sorite pourrait remonter au n° 2.2.]

Soit  $A$  une algèbre associative à élément unité. Soit  $S_d$  (resp.  $S_g, S$ ) l'ensemble des idéaux à droite (resp. à gauche, resp. bilatères) de codimension finie dans  $A$ . On a  $S_d \cap S_g = S$  et  $S$  est *cofinal* à la fois dans  $S_d$  et dans  $S_g$ ; en effet, si  $\alpha \in S_g$  par exemple, l'annulateur du  $A$ -module  $A/\alpha$  appartient à  $S$  et est contenu dans  $\alpha$ .

On posera:

$$\hat{A} = \varprojlim A/\alpha$$

la limite projective étant prise sur l'ensemble ordonné filtrant  $S$ . L'algèbre  $\hat{A}$  est l'*algèbre profinie complétée* de  $A$ , pour la topologie définie par  $S$  (ou  $S_d$ , ou  $S_g$ , cela revient au même). Il y a un isomorphisme évident de la catégorie

des  $A$ -modules de rang fini sur celle des  $\hat{A}$ -modules topologiques discrets de rang fini.

Soit  $F$  le dual de  $A$ ; on le munit de sa structure naturelle de  $A$ -bimodule. Si  $a \in S$ , soit  $F_a$  l'orthogonal de  $a$  dans  $F$ . Soit  $C$  la réunion des  $F_a$ , pour  $a \in S$ . Le dual de  $C$  (resp. le dual topologique de  $\hat{A}$ ) s'identifie de façon évidente à  $\hat{A}$  (resp. à  $C$ ). D'après le n° 2.2, il y a donc sur  $C$  une structure de *cogèbre*, caractérisée par la formule:

$$(1) \quad \langle d(c), a \otimes b \rangle = \langle c, ab \rangle \quad \text{si} \quad c \in C, a, b \in A.$$

De plus, tout  $A$ -module à droite de rang fini est muni canoniquement d'une structure de comodule à gauche sur  $C$ , et réciproquement; on a

$$(2) \quad \langle d_E(x), a \otimes x' \rangle = \langle xa, x' \rangle \quad \text{si} \quad x \in E, x' \in E', a \in A$$

d'après la formule (1) du n° 2.2.

Les éléments de la cogèbre  $C$  peuvent être caractérisés de la manière suivante:

LEMME 1. *Soit  $f$  un élément du dual  $F$  de  $A$ . Les conditions suivantes sont équivalentes:*

(a)  $f \in C$ .

(b) (resp. (b')) *Le sous- $A$ -module à gauche (resp. à droite) de  $F$  engendré par  $f$  est de rang fini.*

(c) *Il existe un  $A$ -module à droite  $E$  de rang fini, et des éléments  $x_i \in E, x'_i \in E'$  en nombre fini, tels que*

$$\langle f, a \rangle = \sum \langle x_i a, x'_i \rangle \quad \text{pour tout} \quad a \in A.$$

La condition (b) signifie que l'annulateur de  $f$  dans le  $A$ -module à gauche  $F$  appartient à  $S_g$ ; comme  $S$  est cofinal dans  $S_g$ , cela revient à dire que  $f$  appartient à  $C$ . On démontre de même que (a)  $\Leftrightarrow$  (b').

D'autre part, pour un module  $E$  donné, la condition (c) signifie que  $f$  appartient à la sous-cogèbre  $C_E$  de  $C$  attachée à  $E$  (cf. n° 2.1). Comme  $C$  est réunion des  $C_E$ , cela prouve que (a)  $\Leftrightarrow$  (c).

[On laisse au lecteur le plaisir de démontrer directement l'équivalence (b)  $\Leftrightarrow$  (c).]

#### 4.2. LA BIGÈBRE D'UN GROUPE

On applique ce qui précède à l'algèbre  $A = K[\Gamma]$  d'un groupe  $\Gamma$ . Le dual  $F = F(\Gamma)$  de  $A$  est l'espace des fonctions sur  $\Gamma$ ; la dualité entre  $A$  et  $F$  s'exprime par la formule:

$$\langle f, \sum \lambda_i \gamma_i \rangle = \sum \lambda_i f(\gamma_i) \quad \text{si} \quad f \in F, \lambda_i \in K, \gamma_i \in \Gamma.$$

La cogèbre correspondante est notée  $C = C(\Gamma)$ . Elle jouit des propriétés suivantes:

(i) La co-unité de  $C$  est l'application  $e: f \mapsto f(1)$ .

(ii) Pour qu'une fonction  $f$  appartienne à  $C$ , il faut et il suffit que ses *translatées* (à gauche ou à droite) *engendrent un  $K$ -espace vectoriel de dimension finie*. (C'est l'équivalence (a)  $\Leftrightarrow$  (b) du Lemme 1.)

(iii) Identifions à la façon habituelle les éléments de  $F \otimes F$  aux *fonctions décomposables* sur  $\Gamma \times \Gamma$ . Si  $f \in C$ , on a  $d(f) \in C \otimes C$  et  $C \otimes C$  est un sous-espace de  $F \otimes F$ ; ainsi  $d(f)$  peut être interprétée comme une fonction sur  $\Gamma \times \Gamma$ . On a:

$$(3) \quad d(f)(\gamma_1, \gamma_2) = f(\gamma_1 \gamma_2) \quad \text{si} \quad \gamma_1, \gamma_2 \in \Gamma.$$

(Cela ne fait que traduire la formule (1) du n° précédent.)

(iv)  $C$  contient 1, et est stable par le *produit*: cela résulte de (ii).

(v) Les structures de cogèbre et d'algèbre de  $C$  sont *compatibles* entre elles, i.e. elles font de  $C$  une *bigèbre*. Cette bigèbre vérifie les axiomes du n° 3.1. (L'axiome (i) dit que  $f \mapsto d(f)$  doit être un morphisme d'algèbres; c'est le cas. Les autres axiomes sont encore plus évidents.)

(vi) La bigèbre  $C$  possède une *inversion*  $i$  donnée par

$$(4) \quad i(f)(\gamma) = f(\gamma^{-1}).$$

(Il faut vérifier les conditions (a) et (b) du n° 3.1. La condition (a) est évidemment satisfaite. Pour (b), soit  $f \in C$  et écrivons  $d(f)$  sous la forme  $\sum_{\alpha} g_{\alpha} \otimes h_{\alpha}$ . On a

$$(1_C \otimes i)(d(f)) = \sum g_{\alpha} \otimes i(h_{\alpha})$$

et l'on doit voir que  $\sum g_{\alpha} \cdot i(h_{\alpha}) = e(f) \cdot 1$ . Or, si  $\gamma \in \Gamma$ , on a

$$\begin{aligned} \sum g_{\alpha}(\gamma) i(h_{\alpha})(\gamma) &= \sum g_{\alpha}(\gamma) h_{\alpha}(\gamma^{-1}) = d(f)(\gamma, \gamma^{-1}) \\ &= f(\gamma \cdot \gamma^{-1}) = f(1) = e(f), \end{aligned}$$

d'où la formule voulue.)

(vii) Soit  $G = \text{Spec}(C)$  le *schéma en groupes* attaché à  $C$ . Tout élément  $\gamma \in \Gamma$  définit un morphisme  $f \mapsto f(\gamma)$  de  $C$  dans  $K$ , donc un élément du groupe  $G(K)$  des points de  $G$  à valeurs dans  $K$ . L'application  $\Gamma \rightarrow G(K)$  ainsi définie est un *homomorphisme*; cela résulte de la définition de la loi de composition de  $G(K)$ .

(viii) D'après le n° 4.1, tout  $\Gamma$ -module à droite  $E$  de rang fini est muni canoniquement d'une structure de  $C$ -comodule à gauche de rang fini (et inversement). Plus précisément, si  $(v_i)_{i \in I}$  est une base de  $E$ , et si l'on a

$$(5) \quad v_i \gamma = \sum_{j \in I} c_{ij}(\gamma) v_j, \quad \text{avec} \quad c_{ij} \in C,$$

le coproduit de  $E$  est donné par:

$$(6) \quad d_E(v_i) = \sum_{j \in I} c_{ij} \otimes v_j.$$

(ix) La correspondance définie ci-dessus entre  $\Gamma$ -modules à droite de rang fini et  $C$ -comodules à gauche de rang fini est *compatible* avec les opérations «produit tensoriel» et «contragrédiente»; cela résulte de ce qui a été dit au n° 3.2, combiné avec (vii) ci-dessus.

*Remarque.* On peut caractériser  $G = \text{Spec}(C)$  par la propriété universelle suivante: tout homomorphisme de  $\Gamma$  dans le groupe  $H(K)$  des  $K$ -points d'un schéma en groupe affine  $H$  se prolonge de manière unique en un morphisme  $G \rightarrow H$ . Le foncteur  $\Gamma \mapsto G$  est donc *adjoint* du foncteur  $H \mapsto H(K)$ .

#### 4.3. L'ENVELOPPE D'UN GROUPE RELATIVEMENT À UNE CATÉGORIE DE REPRÉSENTATIONS

On conserve les notations du numéro précédent.

DÉFINITION 1. Soit  $L$  une sous-catégorie pleine de la catégorie des  $\Gamma$ -modules à gauche de rang fini. On dit que  $L$  est saturée si  $L$  vérifie les conditions suivantes:

a) Si  $E \in L$  et si  $F$  est isomorphe, soit à un quotient de  $E$ , soit à un sous-objet de  $E$ , on a  $F \in L$ .

b)  $L$  est stable par somme directe finie, produit tensoriel et contragrédiente.

c) La représentation unité (de module  $K$ ) appartient à  $L$ . (Bien entendu, on a une notion analogue pour les  $\Gamma$ -modules à droite.)

THÉORÈME 1. Si  $L$  est saturée, il existe une sous-bigèbre  $C_L$  de  $C(\Gamma)$  et une seule telle que  $L$  soit la catégorie des  $C_L$ -comodules à droite de rang fini. La bigèbre  $C_L$  contient l'élément 1, vérifie les axiomes du n° 3.1, et est stable par l'inversion  $i$ .

Cela résulte des props. 2 et 3 du n° 3.3.

DÉFINITION 2. Le schéma  $G_L = \text{Spec}(C_L)$  est appelé l'enveloppe de  $\Gamma$  relativement à la catégorie saturée  $L$ .

Les propriétés suivantes de  $G_L$  résultent de sa définition et de ce qui a été démontré dans les paragraphes précédents:

- a)  $G_L$  est un quotient du schéma en groupes  $G$  défini au n° précédent.
- b) On a un homomorphisme canonique  $\Gamma \rightarrow G_L(K)$ . De plus, tout sous-schéma fermé de  $G_L$  contenant l'image de  $\Gamma$  est égal à  $G_L$  (cela exprime simplement le fait que les éléments de  $C_L$  sont des *fonctions* sur  $\Gamma$ ). En particulier, l'image de  $\Gamma$  dans  $G_L(K)$  est dense pour la topologie de Zariski.
- c) Le schéma  $G_L$  est absolument réduit.
- d) La bigèbre  $C_L$  est réunion des cogèbres  $C_E$  attachées aux éléments  $E$  de  $L$ .
- e) Si  $E \in L$ , soit  $G_E$  l'image de la représentation  $\rho: G_L \rightarrow \mathbf{GL}_E$  attachée à  $E$  (cf. n° 3.5). Le groupe  $G_E$  est l'adhérence (pour la topologie de Zariski) de l'image de  $\Gamma$  dans  $\mathbf{GL}_E(K) = \text{Aut}(E)$ .
- f) Soient  $E_1, E_2 \in L$ . Pour qu'il existe un morphisme  $G_{E_1} \rightarrow G_{E_2}$  tel que le diagramme

$$\begin{array}{ccc} & \Gamma & \\ \swarrow & & \searrow \\ G_{E_1}(K) & \rightarrow & G_{E_2}(K) \end{array}$$

soit commutatif, il faut et il suffit que  $E_2$  soit isomorphe à un quotient d'une sous-représentation d'une somme directe de représentations  $\otimes^n (E_1 \oplus \check{E}_1)$ . L'homomorphisme  $G_{E_1} \rightarrow G_{E_2}$  est alors unique.

- g) On a  $G = \varprojlim G_E$  (vis-à-vis des morphismes définis ci-dessus).
- h) Soit  $K_1 \in \text{Alg}_K$  et soit  $\nu_{K_1}$  le foncteur de  $L$  dans  $\text{Mod}_{K_1}$  défini par  $E \mapsto K_1 \otimes E$ . Il y a une bijection canonique (cf. n° 3.4) du groupe  $G_L(K_1)$  sur le groupe des automorphismes du foncteur  $\nu_{K_1}$  commutant au produit tensoriel et triviaux sur le module unité  $K$ .

*Remarque.* La détermination explicite de  $G_L$  (pour  $\Gamma$  et  $L$  donnés) est souvent un problème non trivial. On en verra quelques exemples au §5 (voir aussi les exercices du §4).

### Exemples

- a) On peut prendre pour  $L$  la catégorie de *toutes* les représentations linéaires de  $\Gamma$ ; le groupe  $G_L$  est alors le groupe  $G$  du numéro précédent.

b) Supposons que  $K$  soit un *corps topologique* (resp. un *corps valué complet non discret*) et que  $\Gamma$  soit muni d'une structure de *groupe topologique* (resp. de *groupe de Lie* sur  $K$ ). On peut prendre pour  $L$  la catégorie des représentations *continues* (resp.  *$K$ -analytiques*) de rang fini. Une fonction  $f \in C$  appartient à la bigèbre  $C_L$  correspondante si et seulement si elle est continue (resp. analytique): cela se vérifie sans difficulté. Le schéma  $G_L$  est appelé simplement *l'enveloppe* du groupe topologique  $\Gamma$  (resp. du groupe de Lie  $\Gamma$ ). On peut le caractériser par la propriété universelle suivante: si  $H$  est un groupe algébrique linéaire, tout homomorphisme *continu* (resp. *analytique*) de  $\Gamma$  dans le groupe topologique (resp. de Lie)  $H(K)$  se prolonge de façon unique en un morphisme de  $G_L$  dans  $H$ . Cela résulte simplement de la description de  $C_L$  donnée ci-dessus.

On notera que, même lorsque  $\Gamma$  est un groupe de Lie connexe de dimension finie, son enveloppe n'est pas en général un groupe algébrique (i.e.  $G_L$  ne possède en général pas de module *fidèle*, cf. exercice 1).

c) Soit  $k$  un corps complet pour une valuation discrète; on suppose  $k$  d'inégale caractéristique et de corps résiduel algébriquement clos. Soit  $\bar{k}$  une clôture algébrique de  $k$  et soit  $\Gamma = \text{Gal}(\bar{k}/k)$ . Prenons pour  $K$  le corps  $\mathbf{Q}_p$  ( $p$  étant la caractéristique résiduelle de  $k$ ), et pour  $L$  la catégorie des  $\mathbf{Q}_p$ -représentations de  $\Gamma$  qui ont une «décomposition de Hodge» au sens de Tate (Driebergen). La catégorie  $L$  est saturée. Le groupe  $G_L$  correspondant est fort intéressant [du moins pour le rédacteur — les auditeurs du Collège, qui l'ont subi pendant trois mois, sont peut-être d'un avis différent].

## § 5. GROUPES COMPACTS ET GROUPES COMPLEXES

Dans ce paragraphe, le corps de base est  $\mathbf{R}$  ou  $\mathbf{C}$ .

### 5.1. ALGÈBRICITÉ DES GROUPES COMPACTS

PROPOSITION 1. *Soit  $K$  un groupe compact, opérant linéairement et continûment sur un espace vectoriel réel  $V$  de dimension finie. Toute orbite de  $K$  dans  $V$  est fermée pour la topologie de Zariski de  $V$  (relativement à  $\mathbf{R}$ ).*

Soit  $x \in V$ , et soit  $y$  un point de  $V$  n'appartenant pas à l'orbite  $Kx$  de  $x$ . Il nous faut construire une fonction polynomiale  $P$  sur  $V$  qui soit nulle sur  $Kx$  et non nulle en  $y$ . L'existence d'une telle fonction résulte du lemme plus précis suivant: