MÉMOIRES DE LA S. M. F.

JEAN-MARC FONTAINE

Sur les représentations d'Artin

Mémoires de la S. M. F., tome 25 (1971), p. 71-81
<http://www.numdam.org/item?id=MSMF_1971__25__71_0>

Colloque Th. Nombres [1969, Bordeaux]
Bull. Soc. math. France,
Mémoire 25, 1971, p. 71 à 81

SUR LES REPRESENTATIONS D'ARTIN

par

Jean-Marc FONTAINE

-:-:-:-

Soit K un corps local et soit L une extension galoisienne totalement ramifiée de K. Soit G le groupe de Galois de l'extension. Les groupes de ramification de l'extension munissent G d'une structure de groupe filtré. On peut associcer à cette filtration des représentations linéaires de G, les représentations d'Artin et de Swan (voir n° 4.1) définies à un isomorphisme près par leurs caractères.

On peut se demander à quelles conditions ces représentations sont rationnelles sur un corps E de caractéristique 0 (c'est-à-dire réalisables par des matrices carrées à coefficients dans E). Le but de cet exposé est d'indiquer comment ce problème peut se ramener au cas où G a une structure très simple ; puis de montrer que, dans ce cas, les représentations d'Artin et de Swan sont rationnelles si et seulement si l'algèbre $E[G]$ est décomposée. On en déduit que les représentations d'Artin et de Swan de l'extension L/K sont rationnelles sur le corps des vecteurs de Witt du corps résiduel de K.

I - Indices de Schur.

I.1. - Rappels (cf par exemple [2], chap. II, § 11).

Soit G un groupe fini et soit χ un caractère de G. Soit E un corps de caractéristique 0. Si χ est le caractère d'une représentation de G rationnelle sur E, nous dirons, par abus de langage, que χ est rationnel sur E.

Si χ est le caractère d'une représentation absolument irréductible de G, et si $E(\chi)$ désigne le corps engendré sur E par les valeurs de χ, l'ensemble des entiers n strictement positifs tels que $n\chi$ soit rationnel sur $E(\chi)$ n'est pas vide. On démontre que le plus petit élément de cet ensemble est le p.g.c.d. des éléments de l'ensemble. Il est appelé l'<u>indice de Schur</u> de χ sur E et se note $m_E(\chi)$. L'entier $m_E(\chi)$ divise le degré de χ et, si F est une extension de E, $m_F(\chi)$ divise $m_E(\chi)$.

Si φ est un caractère de G , φ est rationnel sur E si et seulement si les deux conditions suivantes sont réalisées :

(i) le caractère φ est à valeurs dans E ;

(ii) quel que soit le caractère absolument irréductible χ de G , $m_E(\chi)$ divise (φ,χ) .

L'algèbre $E[G]$ est dite <u>décomposée</u> si et seulement si elle est isomorphe à un produit d'algèbres de matrices sur des corps commutatifs. Pour cela, il faut et il suffit que les indices de Schur de tous les caractères absolument irréductibles de G soient égaux à un (cf par exemple [6] , § 2).

I.2. - Soit p un nombre premier et soit G un groupe fini. On dit que G est <u>de type</u> R_p si G est le produit semi-direct d'un groupe cyclique H d'ordre premier à p par un p-sous-groupe invariant P .

PROPOSITION I.1. - <u>Soit</u> G <u>un groupe de type</u> R_p <u>et soit</u> E <u>un corps de caractéristique</u> 0 (<u>si</u> $p = 2$, <u>on suppose de plus que</u> E <u>neutralise le corps des quaternions usuels sur</u> $\mathbb{Q}$). <u>Soit</u> χ <u>un caractère absolument irréductible de</u> G . <u>Alors</u> $m_E(\chi)$ <u>est premier à</u> p .

<u>Démonstration</u>. Soit q la plus grande puissance de p qui diviser $m_E(\chi)$. Un théorème dû à Brauer ([1], p. 250) affirme que q est l'indice de Schur d'un caractère absolument irréductible d'un sous-groupe A de G de type B_p (c'est-à-dire produit semi-direct d'un p-groupe par un groupe cyclique invariant d'ordre premier à p). Le groupe A est à la fois de type R_p et de type B_p ; c'est donc le produit direct d'un groupe cyclique A_1 d'ordre premier à p par un p-groupe P_1 . Roquette ([4]) a montré que si E satisfait les hypothèses de l'énoncé, l'algèbre $E[P_1]$ est décomposée. L'algèbre $E[A]$ l'est donc aussi puisque $E[A] = E[A_1] \otimes E[P_1]$ et que A_1 est abélien. En particulier, $q = 1$.

2 - <u>Groupes de type</u> C_p .

2.1. - <u>Définition</u> : Soit, avec les notations 1.2. , $G = H.P$ un groupe de type R_p . Nous dirons que G est <u>de type</u> C_p , ou est un <u>C_p-groupe</u>, si P est abélien de type $(p,\dots,p)$ et si, considéré comme $\mathbb{F}_p[H]$-module, il est isotypique.

Nous noterons H' le noyau de la représentation canonique de H dans P et $G' = H' \times P$ le centraliseur de P dans G. Nous poserons

$$n = (H:1) \quad , \quad d = (H:H') \quad , \quad m = (H':1) \qquad (\text{on a } n = md)$$
$$\ell = (P:1) \quad (\text{l'entier } \ell \text{ est une puissance de } p).$$

Le groupe P est un $\mathbb{F}_p[H/H']$-module fidèle et ceci entraîne que d divise $\ell-1$.

2.2. - On peut montrer que les caractères absolument irréductibles du C_p-groupe G sont

- d'une part, les n caractères de degré 1 de G/P ;

- d'autre part, $m(\ell-1)/d$ caractères de degré d induits par les caractères de degré 1 de G' non triviaux sur P. Nous désignerons par θ_G la somme de ces caractères.

On montre que

$$(1) \qquad \theta_G(s) = \begin{cases} 0 & \text{si} \quad s \in G - P \\ -m & \text{si} \quad s \in P - \{1\} \\ m(\ell-1) & \text{si} \quad s = 1 . \end{cases}$$

On voit alors que, quel que soit le corps E de caractéristique 0 et le caractère absolument irréductible χ de G, $m_E(\chi)$ divise d puisque le degré de χ est 1 ou d.

Comme θ_G est à valeurs dans $\mathbb{Q}$, et comme tout caractère absolument irréductible χ de G qui n'est pas de degré 1 vérifie $(\chi, \theta_G) = 1$, on voit que θ_G est rationnel sur E si et seulement si l'algèbre $E[G]$ est décomposée.

PROPOSITION 2.1. - *Si* E *contient les racines* n*-ièmes de l'unité, l'algèbre* $E[G]$ *est décomposée.*

Démonstration. Nous allons montrer que θ_G est rationnel sur E. Le groupe G opère sur P de la manière suivante :

- P opère sur lui-même par les translations : $s : x \to sx$;

- H opère sur P par les automorphismes intérieurs : $h : x \to hxh^{-1}$.

On en déduit une représentation de G sur l'espace vectoriel M des fonctions sur P à valeurs dans E ; soit χ le caractère de cette représentation. Pour tout t dans G de la forme $t = hs$, avec $h \in H$ et $s \in P$, $\chi(hs)$ est égal au nombre de solutions dans P de l'équation en x : $hsxh^{-1} = x$, ou encore, en posant $x^h = h^{-1}xh$, de l'équation : $x^{h-1} = s$.

On vérifie immédiatement que, pour tout h dans H, l'application $x \to x^{h-1}$ est un endomorphisme de G qui est un automorphisme si $h \notin H'$ et l'application $x \to 1$ si $h \in H'$. On a donc :

$$(2) \qquad \chi(t) = \begin{cases} 1 & \text{pour} \quad t \notin H' \times P \\ 0 & \text{pour} \quad t \in H' \times P - H' \\ \ell & \text{pour} \quad t \in H' \end{cases}$$

Le sous-espace M_1 engendré par la fonction φ définie par $\varphi(x) = 1$, pour tout x dans P, est un sous- $E[G]$-module de M. La représentation définie par M_1 est la représentation unité de G. Les valeurs du caractère χ' de la représentation de G définie par $M' = M/M_1$ sont donc :

$$(3) \qquad \chi'(t) = \begin{cases} 0 & \text{pour} \quad t \notin H' \times P \\ -1 & \text{pour} \quad t \in H' \times P - H' \\ \ell - 1 & \text{pour} \quad t \in H' \end{cases}$$

Soient alors h_0 un générateur de H et a une racine primitive n-ième de l'unité contenue dans E. Pour $j = 0,1,\dots,m-1$, les caractères de degré 1 de G définis par

$$(4) \qquad \xi_j(h_0^k s) = a^{jk} \quad \text{pour} \quad k = 0,1,\dots,n-1 \quad \text{et pour} \quad s \in P$$

sont rationnels sur G ; il en est donc de même du caractère $\eta = \sum_0^{m-1} \xi_j$.
Les valeurs de la restriction de η à $H' \times P$ sont :

$$(5) \qquad \eta(t) = \begin{cases} 0 & \text{si} \quad t \in H' \times P - P \\ -m & \text{si} \quad t \in P \end{cases}$$

Si N est un $E[G]$-module qui définit une représentation dont le caractère est η, le caractère de la représentation définie par le produit tensoriel $M' \otimes N$ est le produit $\chi\eta$ et on vérifie sur les valeurs des caractères que $\chi\eta = \theta_G$.

3 - Groupes de ramification.

3.1. - Soit K un corps local (c'est-à-dire un corps complet pour une valuation discrète). Soit p la caractéristique de son corps résiduel (on suppose $p \neq 0$). Soit L une extension galoisienne totalement ramifiée de K (les corps résiduels de L et de K sont les mêmes). Soit π une uniformisante de L et soit v la valuation de L normalisée de telle sorte que $v(\pi) = 1$. Pour tout s dans G, on pose :

$$(6) \qquad \begin{cases} i_G(s) = v((s-1)\pi/\pi) & \text{si } s \neq 1 \\ i_G(1) = +\infty . \end{cases}$$

Soit, pour tout entier i, G_i l'ensemble des s dans G tels que $i_G(s) \geq i$. La famille des G_i munit G d'une filtration dont la fonction d'ordre est i_G. Soit

$$(7) \qquad i_1 < i_2 < \dots < i_q ,$$

la suite des nombres de ramification strictement positifs de l'extension (c'est-à-dire la suite des entiers i strictement positifs tels que $G_i \neq G_{i+1}$). Posons $\Gamma_0 = G$, $\Gamma_j = G_{i_j}$ pour $j = 1,2,\dots,q$, $\Gamma_{q+1} = \{1\}$. On obtient ainsi une suite de sous-groupes de G :

$$(8) \qquad G = \Gamma_0 \supset \Gamma_1 \supset \Gamma_2 \dots \supset \Gamma_q \supset \Gamma_{q+1} = \{1\} .$$

3.2. - Définition : Soit G un groupe de type R_p et soit

$$(8') \qquad G = \Gamma_0 \supset \Gamma_1 \supset \Gamma_2 \dots \supset \Gamma_q \supset \Gamma_{q+1} = \{1\} ,$$

une suite de sous-groupes invariants de G, tous distincts, sauf peut-être Γ_0 et Γ_1. Nous dirons que (8') est une C_p-suite associée à G si les conditions suivantes sont réalisées :

(i) le quotient Γ_0/Γ_1 est cyclique d'ordre premier à p ;

(ii) pour $j = 1,2,\dots,q$, Γ_j/Γ_{j+1} est un groupe abélien de type $(p,\dots,p)$ contenu dans le centre de Γ_1/Γ_{j+1} qui, en tant que $\mathbb{F}_p[\Gamma_0/\Gamma_1]$-module est isotypique.

On voit que si, avec les notations de 1.2., $G = H.P$, alors $P = \Gamma_1$ et H est isomorphe à Γ_0/Γ_1. Pour $j = 1,2,\dots,q$, $H.\Gamma_j/\Gamma_{j+1}$ est un C_p-groupe qui ne dépend du choix de H qu'à un isomorphisme près.

__Définition__ : nous appellerons l'ensemble des $H.\Gamma_j/\Gamma_{j+1}$ pour $j = 1,2,\dots,q$ un __système complet de__ C_p__-groupes__ associés à la C_p-suite (8').

On démontre (cf par exemple [3], § 1) :

PROPOSITION 3.1. - __Sous les hypothèses et les notations de 3.1., le groupe de Galois__ G __de l'extension__ L/K __est de type__ R_p __et la suite__ (8) __est une__ C_p__-suite associée à__ G.

__Définition__. Soit, pour $j = 1,2,\dots,q$, L_j (resp. N_j) le corps fixe de Γ_{j+1} (resp. $H.\Gamma_j$). Nous appellerons l'ensemble des L_j/N_j un __système complet de__ C_p__-extensions associées à__ L/K.

L'extension L_j/N_j est une extension galoisienne dont le groupe de Galois est le C_p-groupe $H.\Gamma_j/\Gamma_{j+1}$; on peut montrer (cf CL, cor. à la prop. 3 et prop. 2, p. 70-71) qu'elle a un seul nombre de ramification strictement positif et qu'il est égal à i_j. Le choix de N_j n'est pas en général unique mais pour deux choix distincts les groupes de Galois sont isomorphes en tant que groupes filtrés.

3.3. - __Définition__ : Avec toujours les mêmes notations, posons, pour $j=0,1,\dots,q$, $e_j = (G : \Gamma_{j+1})$ et

$$(9) \qquad u_j = i_1/e_0 + (i_2-i_1)/e_1 + \dots + (i_j-i_{j-1})/e_{j-1} .$$

La suite

$$(10) \qquad u_1 < u_2 < \dots < u_q ,$$

est appelée la suite des __nombres supérieurs de ramification__ strictement positifs de l'extension L/K. Les i_j sont donnés, à partir des u_j, par :

$$(11) \qquad i_j = u_1 (e_0-e_1) + \dots + u_{j-1} (e_{j-2}-e_{j-1}) + u_j e_{j-1} .$$

On peut alors démontrer :

PROPOSITION 3.2. - (a) __pour tout entier__ j __compris entre__ 1 __et__ q, $(e_{j-1}u_j-i_j)/e_0$ __est un entier rationnel.__

(b) __si__ L/K __est une__ C_p__-extension, c'est-à-dire si__ $\Gamma_1 \neq \Gamma_2 = \{1\}$, G __est un__ C_p__-groupe et, avec les notations de 2.1.__, $(i_1,n) = m$.

4 - Représentations d'Artin et de Swan.

4.1. - Définition : Avec les notations et les hypothèses de 3.1. , considérons les applications de G dans Z définies par

$$(\mathrm{I2})\qquad \begin{cases} sw_G(s) = -i_G(s) & \text{si} \quad s \neq 1 \\ sw_G(1) = \sum_{s\neq 1} i_G(s) \end{cases}$$

$$(\mathrm{I3})\qquad \begin{cases} a_G(s) = -(i_G(s)+1) & \text{si} \quad s \neq 1 \\ a_G(1) = \sum_{s\neq 1} (i_G(s)+1) \end{cases}$$

On démontre (CL , chap. VI, théorème 1) que a_G est le caractère d'une représentation linéaire du groupe G . On vérifie qu'il en est de même pour sw_G et que a_G et sw_G sont liés par la relation

$$(\mathrm{I4})\qquad sw_G = a_G - u_G$$

où u_G désigne le caractère de la représentation d'augmentation de G (quotient de la représentation régulière par la représentation unité). La représentation définie par sw_G (resp. a_G), à un isomorphisme près, s'appelle la représentation de Swan (resp. d'Artin) de l'extension L/K .

4.2. - PROPOSITION 4.1. - *Avec les hypothèses et les notations du paragraphe 3* :

(a) *soit, pour* $j = -1,0,1,\dots,q$, r_j *le caractère de la représentation régulière de* G/Γ_{j+1} . *Posons* $\varphi_j = r_j - r_{j-1}$ $(j \geq 0)$. *Alors les* φ_j *sont des caractères de représentations de* G , *deux à deux orthogonaux.*

(b) *si on pose* $u_0 = 0$, *on a les relations*

$$(\mathrm{I5})\qquad sw_G = \sum_0^q u_j\,\varphi_j$$

$$(\mathrm{I6})\qquad a_G = \sum_0^q (u_j+1)\,\varphi_j$$

(c) *pour* $j = 1,2,\dots,q$, $u_j\,\varphi_j$ *est le caractère d'une représentation de* G .

Démonstration. Pour démontrer (a) il suffit de calculer les valeurs des φ_j et de vérifier que si $j \neq j'$, $(\varphi_j, \varphi_{j'}) = 0$.

Soit alors, pour $j = 0,1,\dots,q$, sw_j le caractère de la représentation de Swan de l'extension L_j/K (L_j désignant le corps fixe de Γ_{j+1}). On a $sw_G = sw_q = \sum_1^q (sw_j - sw_{j-1})$ car $sw_0 = 0$. On vérifie sur les valeurs des caractères que $sw_j - sw_{j-1} = u_j \varphi_j$, d'où (I5). Comme $a_G = sw_G + u_G$ et $u_G = r_G - 1_G = \sum_0^q r_j - r_{j-1} = \sum_0^q \varphi_j$, on en déduit (I6).

L'assertion (c) résulte alors de ce que les φ_j sont deux à deux orthogonaux et de ce que a_G et sw_G sont des caractères de représentations de G.

COROLLAIRE. Soit E un corps de caractéristique 0. Pour que la représentation d'Artin (ou, ce qui revient au même, la représentation de Swan) de l'extension L/K soit rationnelle sur E, il faut et il suffit que, pour $j = 1,2,\dots,q$, $u_j \varphi_j$ soit rationnel sur E.

(C'est évident, puisque les $u_j \varphi_j$ sont à valeurs dans $\mathbb{Q}$ et deux à deux orthogonaux).

PROPOSITION 4.2. - Soit E un corps de caractéristique 0 (si $p = 2$, on suppose de plus que E neutralise le corps des quaternions usuels sur $\mathbb{Q}$). Les assertions suivantes sont équivalentes :

(i) la représentation d'Artin (ou de Swan) de L/K est rationnelle sur E ;

(ii) les représentations d'Artin (ou de Swan) d'un système complet de C_p-extensions associées à L/K sont rationnelles sur E.

Démonstration. Avec les notations du paragraphe 3, soit $\{A_j = H.P_j ; j=1,2,\dots,q\}$ l'ensemble des groupes de Galois d'un système complet de C_p-extensions associées à L/K. Le groupe H est cyclique d'ordre $n = e_0$ premier à p et $P_j = \Gamma_j/\Gamma_{j+1}$ est un p-groupe d'ordre e_j/e_{j-1}, invariant dans A_j.

Soit R_j (resp. R_0) le caractère de la représentation régulière de A_j (resp. A_j/P_j, isomorphe à H). La fonction $\Phi_j = R_j - R_0$ est le caractère d'une représentation de A_j rationnelle sur E, et (I5) appliquée à A_j s'écrit :

$$\text{(I7)} \qquad sw_{A_j} = \frac{1}{n} \times i_j \Phi_j .$$

Posons $e'_{j-1} = e_{j-1}/n$. La proposition 3.2. montre que $e'_{j-1}\, u_j - i_j/n$ est un entier rationnel. Le caractère sw_{A_j} est donc rationnel sur E si et seulement si $e'_{j-1}\, u_j\, \Phi_j$ l'est. Compte-tenu du corollaire de la proposition précédente, il suffit alors de montrer :

LEMME. <u>Les assertions suivantes sont équivalentes</u> :

(i) <u>le caractère</u> $u_j\, \varphi_j$ <u>est rationnel sur</u> E ;

(ii) <u>le caractère</u> $e'_{j-1}\, u_j\, \Phi_j$ <u>est rationnel sur</u> E .

Démonstration. Si l'on considère A_j comme sous-groupe de G/Γ_{j+1} , on observe que la restriction de φ_j à A_j est $e'_{j-1}\, \Phi_j$, celle de $u_j\, \varphi_j$ est donc $e'_{j-1}\, u_j\, \Phi_j$ et (i) implique (ii) .

Inversement, on constate sur les valeurs des caractères que φ_j est le caractère de G/Γ_{j+1} induit par le caractère Φ_j du sous-groupe A_j de G/Γ_{j+1} . Par conséquent, si $e'_{j-1}\, u_j\, \Phi_j$ est rationnel sur E , $e'_{j-1}\, u_j\, \varphi_j$ l'est aussi. Comme $u_j\, \varphi_j$ est à valeurs dans $\mathbb{Q}$, pour que $u_j\, \varphi_j$ soit rationnel sur E , il faut et il suffit que, quel que soit le caractère absolument irréductible χ de G , l'entier $c_\chi = (\chi\, , u_j\, \varphi_j)$ soit divisible par $m_E(\chi)$. Or $e'_{j-1}\, c_\chi = (\chi,\, e'_{j-1}\, u_j\, \varphi_j)$ est divisible par $m_E(\chi)$ puisque $e'_{j-1}\, u_j\, \varphi_j$ est rationnel sur E . Comme e'_{j-1} est une puissance de p et comme $m_E(\chi)$ est premier à p (prop. 1.1.) , $m_E(\chi)$ divise aussi c_χ .

4.3. - THEOREME 1. - <u>Soit</u> E <u>un corps de caractéristique</u> 0 (<u>si</u> p = 2 , <u>on suppose de plus que</u> E <u>neutralise le corps des quaternions usuels sur</u> $\mathbb{Q}$). <u>Les assertions suivantes sont équivalentes</u> :

(i) <u>la représentation d'Artin</u> (<u>ou de Swan</u>) <u>de</u> L/K <u>est rationnelle sur</u> E ;

(ii) <u>si</u> $(A_j)_{j=1,2,\ldots,q}$ <u>est un système complet de</u> C_p<u>-groupes associées à</u> L/K , <u>les algèbres</u> $E[A_j]$ <u>sont toutes décomposées.</u>

<u>Démonstration.</u> Compte-tenu de la proposition 4.2. , il suffit de montrer que, si L/K est une C_p-extension, la représentation de Swan de L/K est rationnelle sur E si et seulement si l'algèbre E[G] est décomposée. Soit i l'unique nombre de ramification strictement positif de l'extension. Le groupe G est de type C_p et, avec les notations du paragraphe 2 , on vérifie sur les valeurs des caractères que $sw_G = \frac{1}{m} \times i\ \theta_G$. Posons $i' = i/m$. Le nombre i' est un entier positif premier à d (prop. 3.2. , (b)). On a $sw_G = i'\ \theta_G$. Soit χ un carac-

tère absolument irréductible de G qui divise sw_G . On a $(\chi, \theta_G) = 1$ et, par conséquent $(\chi, sw_G) = i'$. Comme $m_E(\chi)$ divise d qui est premier à i' , (χ, sw_G) sera divisible par $m_E(\chi)$ si et seulement si $m_E(\chi) = 1$, d'où le résultat.

THEOREME 2. - Si le corps résiduel k de K est parfait, les représentations d'Artin et de Swan de l'extension L/K sont rationnelles sur le corps des vecteurs de Witt de k .

Démonstration. Si $p \neq 2$, on peut appliquer le théorème 1 . Si n désigne le degré de l'extension maximale modérément ramifiée (c'est-à-dire de degré premier à p) de K contenue dans L , le corps résiduel k de K contient les racines n-ièmes de l'unité (CL, cor. 1 à la prop. 7, p. 75), donc aussi le corps E des vecteurs de Witt de k . Chaque A_j est un C_p-groupe d'ordre $np^{r(j)}$, avec $r(j)$ entier positif et d'après la proposition 2.1., l'algèbre $E[A_j]$ est décomposée.

Si $p = 2$ et si le corps résiduel k de K contient les racines cubiques de l'unité, le corps des vecteurs de Witt neutralise le corps des quaternions usuels sur $\mathbb{Q}$ et la même démonstration s'applique.

Si $p \neq 2$ et si le corps résiduel ne contient pas les racines cubiques de l'unité, la démonstration se fait en se ramenant au cas où G est un groupe de quaternions. On montre qu'on a alors des congruences entre les nombres de ramification qui sont plus fortes que celles qui peuvent se déduire du théorème de Hasse-Arf.

-:-:-:-

BIGLIOGRAPHIE

[1] BRAUER (R.). - On the algebraic structure of group rings, J. Math. Soc. Japan, 3 (I95I) p. 237-25I.

[2] FEIT (W.). - Characters of finite groups, New-York, Benjamin, I967.

[3] MAUS (E.). - Die gruppentheoretische Struktur der Verzweigungsgruppenreihen, J. reine ang. Math. , 230, (I968) p. I-28.

[4] ROQUETTE (P.). - Realisierung von Darstellugen endlicher nilpotenter Gruppen, Arch. Math. , 9 (I958) p. 24I-250.

[5] SERRE (J.P.). - Corps locaux. Paris, Hermann, 1962 (cité CL).

[6] SERRE (J.P.). - Sur la rationalité des représentations d'Artin. Annals of Math., 72 (1960) p. 405-420.

-:-:-:-

6, rue Gounod
Paris 17e (France)