

3. Interprétations des représentations complexes irréductibles d'un tore T

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **14 (1968)**

Heft 1: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

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.

gauche de G/U . On a évidemment $f(gu) = f(g) \iota(u)$ pour $u \in U$, donc f détermine un isomorphisme $\iota(G_U) \approx P'$. Il en résulte l'isomorphisme annoncé $G_U[\mathbf{R}^n] \approx \xi$.

Corollaire : Dans les conditions du lemme, soient T un sous-groupe de U , et $q : G/T \rightarrow G/U$ l'application canonique $gT \mapsto gU$. Alors $q^*\xi$ est le fibré $G_T[\mathbf{R}^n]$, \mathbf{R}^n étant le T -espace déterminé par $\iota|_T$.

Preuve : On a déjà vu que q^*G_U est la i -extension de G_T . Or $q^*\xi$ est associé au 0_n -fibré principal q^*P' , donc $q^*P' \approx q^*(\iota(G_U)) = \iota(q^*G_U) = \iota(G_T)$. Il en résulte que $q^*\xi \approx G_T[\mathbf{R}^n]$, pour l'action $\iota|_T$ de T sur \mathbf{R}^n .

3. INTERPRÉTATIONS DES REPRÉSENTATIONS COMPLEXES IRRÉDUCTIBLES D'UN TORE T

Tout homomorphisme différentiable $h : U_1 \rightarrow U_1$ est de la forme $h(\exp ix) = \exp iax$, $a \in \mathbf{Z}$. Cela résulte du fait que la différentielle d'une translation à gauche τ_g de U_1 est en tout point l'identité $\mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}$, ce qui implique $dh(g) = dh(1)$, $g \in U_1$, en vertu de $dh(g) \circ d\tau_g(1) = d(h \circ \tau_g)(1) = d(\tau_{hg} \circ h)(1)$. Alors h est nécessairement de la forme ci-dessus, avec $a \in \mathbf{R}$. Mais si $x \in \mathbf{Z}$, on doit avoir $ax \in \mathbf{Z}$, c'est-à-dire $a \in \mathbf{Z}$. Plus généralement, si $T = U_1 \times \dots \times U_1$ et si $k_j : U_1 \rightarrow T$ applique $\exp ix$ sur $(1, \dots, 1, \exp ix, 1, \dots, 1)$, tout homomorphisme $h : T \rightarrow U_1$ est de la forme $h(\exp ix_1, \dots, \exp ix_n) = \prod_j h \circ k_j(\exp ix_j) = \prod_j \exp i a_j x_j = \exp i(a_1 x_1 + \dots + a_n x_n)$, $a_j \in \mathbf{Z}$. D'où une bijection canonique $\alpha : \text{Hom}(T, U_1) \approx \mathbf{Z}^n$, $\alpha(h) = (a_j)$. Par ailleurs, $\text{Hom}(T, U_1)$ est un groupe abélien pour la multiplication des homomorphismes, et l'on voit aussitôt que α est un isomorphisme de groupes. En composant α avec l'inclusion $\mathbf{Z}^n \rightarrow \text{Hom}_{\mathbf{R}}(\mathbf{R}^n, \mathbf{R})$ donnée par $(a_j) \rightarrow a_1 x_1 + \dots + a_n x_n$, on obtient l'homomorphisme injectif $h \mapsto dh(1, \dots, 1)$ de $\text{Hom}(T, U_1)$ dans le dual de l'algèbre de Lie $\mathfrak{t} = \mathbf{R}^n$ de T . En particulier, si p_j est la projection de T sur son $j^{\text{ième}}$ facteur, $\alpha(p_j)$ est la fonction coordonnée x_j sur \mathbf{R}^n .

Considérons maintenant les groupes de cohomologie $H^1(T; \mathbf{Z})$ et $H^1(U_1; \mathbf{Z})$, où l'on suppose U_1 orienté de la manière habituelle. Alors $H^1(U_1; \mathbf{Z}) = \mathbf{Z}$, donc tout $h \in \text{Hom}(T, U_1)$ détermine un élément $h^*(1) \in H^1(T; \mathbf{Z})$, h^* étant l'homomorphisme $H^1(U_1; \mathbf{Z}) \rightarrow H^1(T; \mathbf{Z})$ induit par h . On obtient ainsi un homomorphisme naturel $v_T : \text{Hom}(T, U_1) \rightarrow H^1(T; \mathbf{Z})$.

En effet, si h et h' sont deux homomorphismes de T dans U_1 , considérons le diagramme

$$\begin{array}{ccc}
 & \xrightarrow{m} & \\
 & \xrightarrow{p_1} & \\
 U_1 \times U_1 & \xrightarrow[p_2]{k_1} & U_1 \quad p_i = i\text{eme composante} \\
 & \xleftarrow{k_2} & \\
 & \xleftarrow{\quad} &
 \end{array}$$

où $k_1(e^{i\theta}) = (e^{i\theta}, 1)$, $k_2(e^{i\theta}) = (1, e^{i\theta})$, et $m(e^{i\theta}, e^{i\theta'}) = e^{i\theta} \cdot e^{i\theta'} = e^{i(\theta+\theta')}$. Comme $mk_1 = mk_2 = \text{identité}$, on a $k_1^*m^*(1) = k_2^*m^*(1) = 1$ dans $H^1(U_1; \mathbf{Z}) = \mathbf{Z}$. Donc $(k_1p_1)^*m^*(1) = p_1^*(1)$, $(k_2p_2)^*m^*(1) = p_2^*(1)$ dans $H^1(U_1 \times U_1; \mathbf{Z})$. Mais la formule de Künneth $H^1(U_1 \times U_1; \mathbf{Z}) \approx H^1(U_1; \mathbf{Z}) \oplus H^1(U_1; \mathbf{Z})$ dit précisément que tout élément $\alpha \in H^1(U_1 \times U_1; \mathbf{Z})$ s'écrit de manière unique $\alpha = (k_1p_1)^*\alpha + (k_2p_2)^*\alpha$. En particulier $m^*(1) = p_1^*(1) + p_2^*(1)$, donc si hh' est l'homomorphisme produit $m \circ (h \times h')$, on a $(hh')^*(1) = h^*(1) + h'^*(1)$, c'est-à-dire $v_T(hh') = v_T(h) + v_T(h')$. La naturalité de v_T s'exprime ainsi: pour tout homomorphisme de tores $\phi : T' \rightarrow T$, on a $\phi^* \circ v = v \circ \phi^*$, où le premier ϕ^* est l'homomorphisme induit $H^1(T; \mathbf{Z}) \rightarrow H^1(T'; \mathbf{Z})$, tandis que le second est l'homomorphisme induit $\text{Hom}(T; U_1) \rightarrow \text{Hom}(T'; U_1)$. Cela résulte aussitôt de l'égalité $(h \circ \phi)^*(1) = \phi^*(h^*(1))$.

Lemme : v_T est un isomorphisme.

Preuve : Dans le cas $T = U_1$, v est un homomorphisme $\mathbf{Z} \rightarrow \mathbf{Z}$ tel que $v(1) = 1$. En général, on a des isomorphismes canoniques $\text{Hom}(T, U_1) \approx \oplus \text{Hom}(U_1, U_1)$ et $H^1(T; \mathbf{Z}) \approx \oplus H^1(U_1; \mathbf{Z})$ (formule de Künneth). Avec ces décompositions, la j^{ieme} composante de $h \in \text{Hom}(T, U_1)$ est $h \circ k_j$ et celle de $h^*(1)$ est $k_j^* \circ h^*(1) = (h \circ k_j)^*(1)$. Donc v se décompose en somme directe d'isomorphismes.

Considérons maintenant un T -fibré principal P de base $B(P) = X$. Pour tout $h \in \text{Hom}(T, U_1)$, on peut construire le fibré vectoriel de rang 1 $\xi_h = P[\mathbf{C}]$, où \mathbf{C} est le T -espace déterminé par h . Sa classe d'Euler $\chi(\xi_h)$ est un élément de $H^2(X; \mathbf{Z})$. De cette manière, on obtient un homomorphisme naturel $\mu_P : \text{Hom}(T, U_1) \rightarrow H^2(X; \mathbf{Z})$. En effet, si h et h' sont deux homomorphismes de T dans U_1 , et hh' l'homomorphisme produit, on a un isomorphisme canonique de fibrés vectoriels $\xi_h \otimes \xi_{h'} \approx \xi_{hh'}$, qui associe à tout vecteur $(x \times z) \otimes (x' \times z')$ de $\xi_h \otimes \xi_{h'}$, le vecteur $x \times zz'$ de $\xi_{hh'}$. Mais d'une manière générale pour deux fibrés vectoriels complexes ξ et ξ' de rang 1 sur X , on a $\chi(\xi \otimes \xi') = \chi(\xi) + \chi(\xi')$. On le voit en utilisant des

applications classifiantes pour χ et χ , et en vérifiant que $\chi(\eta \hat{\otimes} \eta) = \chi(\eta) \oplus \chi(\eta)$, où $\hat{\otimes}$ désigne le produit tensoriel externe sur $PC^1 \times PC^1$: si x est un point fixé de PC^1 , on a $\eta \hat{\otimes} \eta|_{x \times PC^1} \cong \eta$ et de même $\eta \hat{\otimes} \eta|_{PC^1 \times y} \cong \eta$. Donc, si k_1 et k_2 désignent les inclusions $PC^1 \rightarrow PC^1 \times PC^1$, $k_1(y) = (y, x)$, $k_2(y) = (x, y)$, on a $k_1^* \chi(\eta \hat{\otimes} \eta) = k_2^* \chi(\eta \hat{\otimes} \eta) = \chi(\eta)$. Mais on a l'isomorphisme de Künneth $H^2(PC^1 \times PC^1; \mathbf{Z}) \cong H^2(PC^1; \mathbf{Z}) \oplus H^2(PC^1; \mathbf{Z})$ donné par $\alpha \rightarrow k_1^*(\alpha) \oplus k_2^*(\alpha)$, puisque $H^1(PC^1; \mathbf{Z}) = 0$ en vertu de la suite exacte de Gysin de η . La naturalité de μ_P s'exprime comme suit: soient $\phi: T' \rightarrow T$ un homomorphisme de tores, P' un T' -fibré principal, P un T -fibré principal et $\phi^*P' \rightarrow P$ un morphisme de T -fibrés principaux. Si $f: X' \rightarrow X$ est l'application induite entre les bases, alors $f^* \circ \mu_P = \mu_{P'} \circ \phi^*$. En effet: $f^*(\xi_h) = f^*P[C]$ et $f^*P \approx \phi^*P'$, donc $f^*(\xi_h) = \phi^*P'[C]$, où C est le T -espace déterminé par h . Mais $\phi^*P'[C] = P'[C]$, où C au second membre est le T' -espace déterminé par $h \circ \phi$. Donc $\chi(f^*\xi_h) = \chi(\xi_{h \circ \phi})$, et il suffit de rappeler que $\chi(f^*\xi_h) = f^*\chi(\xi_h)$.

Lemme: Pour le T -fibré principal $\gamma \times \gamma \times \dots \times \gamma$ sur $B_T = PC^n \times \dots \times PC^n$, $\mu_{\gamma \times \dots \times \gamma}$ est un isomorphisme.

Preuve: Envisageons d'abord le cas $T = U_1$. Pour $h =$ identité: $U_1 \rightarrow U_1$, ξ_h est le fibré canonique η et $\chi(\eta)$ engendre $H^2(PC^n; \mathbf{Z})$ en vertu de la suite de Gysin de η . Donc μ_γ est surjectif. Comme $H^2(PC^n; \mathbf{Z}) \cong \mathbf{Z}$ en vertu de la même suite exacte, μ_γ est nécessairement injectif.

En général, on a des isomorphismes canoniques $\text{Hom}(T, U_1) \approx \oplus \text{Hom}(U_1, U_1)$ et $H^2(B_T; \mathbf{Z}) \approx \oplus H^2(PC^n; \mathbf{Z})$ (formule de Künneth). Avec ces décompositions, la $j^{\text{ième}}$ composante de $h \in \text{Hom}(T, U_1)$ est $h \circ k_j$, et celle de $\chi(\xi_h)$ est $k_j^* \chi(\xi_h)$, où k_j désigne cette fois l'application identité de PC^n sur $x \times \dots \times x \times PC^n \times x \dots \times x \subset B_T$, qui est d'ailleurs telle que $k_j^*(\gamma \times \dots \times \gamma) = k_j \gamma$. Comme $k_j^* \chi(\xi_h) = \chi(k_j^* \xi_h) = \chi(h \circ k_j \gamma[C])$, on a décomposé $\mu_{\gamma \times \dots \times \gamma}$ en somme directe d'isomorphismes.

Définition: On appelle *transgression* dans un T -fibré principal P de base X l'homomorphisme composé $\tau_P = \mu_P \nu_T^{-1}: H^1(T; \mathbf{Z}) \rightarrow H^2(X; \mathbf{Z})$. Elle est naturelle et c'est un isomorphisme lorsque P est universel, c'est-à-dire lorsque $P = \gamma \times \dots \times \gamma$. La naturalité s'exprime ainsi: soit $\phi: T' \rightarrow T$ un homomorphisme de tores, P' un T' -fibré principal de base X' , et $\phi^*P' \rightarrow P$ un morphisme de T -fibrés principaux induisant une application $f: X' \rightarrow X$ des bases. Alors $f^* \circ \tau_P = \tau_{P'} \circ \phi^*$, ce qui résulte de la naturalité de μ_P et ν_T .