5. Quelques exemples

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **49 (2003)**

Heft 3-4: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE**

PDF erstellt am: **29.04.2024**

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.

cette construction ne dépend pas de l'écriture de X sous la forme G/H . Les fibres sont isomorphes au quotient du groupe de Lie complexe $L = N/H^0$ par le sous-groupe discret cocompact $\Gamma = H/H^0$; ce sont donc des variétés parallélisables connexes. Nous renvoyons le lecteur à [9], [27], [15] et [2] pour les démonstrations de ces résultats.

VOCABULAIRE. Si X est une variété homogène compacte, les fibres et la base de la fibration de Tits de X seront appelées *fibres de Tits* et *base de Tits* de X .

4.2 PREMIÈRE APPLICATION

Soit Q la base et F la fibre de la fibration de Tits d'une variété homogène compacte X . Si f est un endomorphisme de X , il induit un endomorphisme $\bar{f}$ de la variété de drapeaux Q . Nous pouvons donc appliquer le théorème de Paranjape et Srinivas. S'il apparaît un facteur $Q = Q_0 \times Q_1$ sur lequel $\bar{f}$ induit un automorphisme $\bar{f}_0: Q_0 \rightarrow Q_0$, la dynamique de f s'appauvrit considérablement: $\bar{f}_0$ est induite par une transformation linéaire isotope à l'identité.

Afin de démontrer le théorème 1.1, nous pourrions donc supposer que la base Q de la fibration de Tits est un produit d'espaces projectifs :

$$(11) \quad Q = \mathbf{P}^{m_1} \times \dots \times \mathbf{P}^{m_k}, \quad k \in \mathbf{N},$$

et que f agit diagonalement: $\bar{f} = (\bar{f}_1, \dots, \bar{f}_k)$ où $\bar{f}_j \in \text{End}(\mathbf{P}^{m_j})$.

Soit q un point de Q et $\mathbf{P}_q^{m_j}$ l'espace projectif qui passe par q et est donné par le $j^{\text{ème}}$ facteur du produit (11). L'image réciproque de la fibration de Tits par l'injection $\mathbf{P}_q^{m_j} \rightarrow Q$ ne dépend pas de q car X est homogène. On obtient ainsi une variété homogène X_j dont la fibration de Tits a des fibres isomorphes à celles de X et une base isomorphe à $\mathbf{P}^{m_j}$. Puisque tout endomorphisme d'un espace projectif admet des points fixes, f induit un endomorphisme de X_j . Nous étudierons donc d'abord les endomorphismes des variétés homogènes dont la base de Tits est un espace projectif.

5. QUELQUES EXEMPLES

Présentons maintenant quelques exemples qui illustrent l'invariance de la fibration de Tits et donnent une petite idée des phénomènes qui peuvent apparaître lorsque la variété homogène n'est pas kählérienne.

EXEMPLE 5.1. L'exemple le plus simple de variété homogène qui ne soit pas kählérienne est la surface de Hopf, obtenue en quotientant $\mathbf{C}^2 \setminus \{0\}$ par les homothéties de rapport λ^n , $n \in \mathbf{Z}$, λ étant un nombre complexe non nul. Cette surface S_λ est difféomorphe à $\mathbf{S}^3 \times \mathbf{S}^1$. Elle fibre sur $\mathbf{P}^1$, les fibres étant isomorphes à la courbe elliptique $\mathbf{C}^*/\langle\lambda\rangle$.

En voici une seconde construction qui montre directement que cette variété est homogène. Soit H_λ le sous-groupe de $\mathbf{SL}(2, \mathbf{C})$ défini par

$$(12) \quad H_\lambda = \left\{ \begin{pmatrix} \lambda^n & z \\ 0 & \lambda^{-n} \end{pmatrix} : n \in \mathbf{Z}, z \in \mathbf{C} \right\}.$$

Le quotient de $\mathbf{SL}(2, \mathbf{C})$ par H_λ est isomorphe à la surface de Hopf S_λ . La fibration elliptique de S_λ sur $\mathbf{P}^1$ coïncide avec sa fibration de Tits et provient de l'inclusion de H_λ dans le groupe des matrices triangulaires supérieures.

Si $P(X, Y)$ et $Q(X, Y)$ sont deux polynômes homogènes de degré d qui n'ont que l'origine comme zéro commun, la transformation

$$\phi(x, y) = (P(x, y), Q(x, y))$$

passe au quotient en un endomorphisme de degré d^3 sur la surface de Hopf. On construit ainsi de nombreux exemples d'endomorphismes; l'invariance de la fibration de Tits résulte immédiatement de l'homogénéité de P et Q .

EXEMPLE 5.2. Le deuxième exemple de variétés complexes compactes non kählériennes est celui donné par Eugenio Calabi et Beno Eckmann dans [11]. Il s'agit de variétés de dimension 3 difféomorphes à $\mathbf{S}^3 \times \mathbf{S}^3$. Chacune des sphères fibre en cercles sur $\mathbf{P}^1$ et le produit de ces deux fibrations donne naissance à une fibration elliptique localement triviale. L'invariant modulaire de la fibre peut être fixé de manière arbitraire lors de la définition de la structure complexe sur $\mathbf{S}^3 \times \mathbf{S}^3$. Si cet invariant est égal à τ , nous noterons M_τ la variété de Calabi-Eckmann correspondante.

Ces variétés peuvent être construites de la manière suivante. Soit $V = (\mathbf{C}^2 \setminus \{0\})^2$. L'action de $\mathbf{C}$ sur V donnée par

$$(13) \quad t \star ((u, v), (x, y)) = ((e^{-t/2}u, e^{t/2}v), (e^{-\tau t/2}x, e^{\tau t/2}y))$$

est fidèle dès que le nombre complexe τ appartient au demi-plan de Poincaré. L'espace des orbites est alors une variété isomorphe à M_τ . Cette construction a l'avantage de montrer directement que M_τ est homogène et possède de nombreux endomorphismes. Pour en construire, il suffit en effet d'exhiber des

transformations holomorphes de V qui permutent les orbites de l'action (13). Par exemple,

$$(14) \quad ((u, v), (x, y)) \mapsto ((u^3 + u^2v, u^3 + v^3), (xy^2 + x^3, y^3))$$

détermine un endomorphisme de M_τ dont le degré topologique est égal à 3^4 .

Il est facile de constater sur cet exemple que la fibration elliptique de M_τ sur $\mathbf{P}^1 \times \mathbf{P}^1$ est équivariante: l'endomorphisme permute les fibres et induit une transformation polynômiale de degré 3 sur chaque $\mathbf{P}^1$. C'est une illustration de l'invariance de la fibration de Tits. L'égalité entre les degrés des deux endomorphismes de $\mathbf{P}^1$ illustre un autre phénomène. Notons E_τ la fibre elliptique de M_τ . La suite exacte longue des groupes d'homotopie

$$(15) \quad \cdots \rightarrow \pi_2(\mathbf{P}^1 \times \mathbf{P}^1) \rightarrow \pi_1(E_\tau) \rightarrow \pi_1(M_\tau) \rightarrow \pi_1(\mathbf{P}^1 \times \mathbf{P}^1) \rightarrow \cdots$$

montre que la simple connexité de M_τ résulte du caractère surjectif de la flèche $\pi_2(\mathbf{P}^1 \times \mathbf{P}^1) \rightarrow \pi_1(E_\tau)$. L'action d'un endomorphisme de $\mathbf{P}^1$ sur le second groupe d'homotopie $\pi_2(\mathbf{P}^1) \simeq \mathbf{Z}$ coïncide avec la multiplication par le degré de l'endomorphisme. Celle d'un endomorphisme holomorphe de E_τ sur $\pi_1(E_\tau) \simeq \mathbf{Z}^2$ se fait par une similitude dont le rapport α est égal à la racine carrée du degré topologique. Puisque la suite exacte est équivariante, il s'ensuit que le degré de l'endomorphisme sur chaque $\mathbf{P}^1$ est égal à α . En particulier, tous les endomorphismes de $\mathbf{P}^1 \times \mathbf{P}^1$ ne se relèvent pas en des endomorphismes de M_τ .

E. Calabi et B. Eckmann construisent des structures complexes similaires sur $\mathbf{S}^{2p+1} \times \mathbf{S}^{2q+1}$ pour toute paire d'entiers positifs (p, q) (voir [11], [20]). Une étude analogue à la précédente peut être effectuée pour toutes ces variétés.

EXEMPLE 5.3. Donnons maintenant un exemple pour lequel les fibres de Tits sont des nilvariétés (et pas des tores). Soit $\mathcal{H}_3(\mathbf{C})$ le groupe de Heisenberg constitué des matrices

$$(16) \quad \begin{pmatrix} 1 & x & z \\ 0 & 1 & y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

où x, y et z sont trois nombres complexes. Le quotient de $\mathcal{H}_3(\mathbf{C})$ par $\mathcal{H}_3(\mathbf{Z}[i])$ est une variété complexe compacte que nous noterons M_3 .

Soit P le sous-groupe de $\mathbf{SL}(2, \mathbf{C})$ formé par les matrices triangulaires supérieures. Si τ appartient à $\mathbf{Z}[i]$, on note ρ_τ la représentation de P dans

$\text{Aut}^0(M_3)$ déterminée par la translation à gauche par l'élément

$$(17) \quad \rho_\tau \begin{pmatrix} a & b \\ 0 & a^{-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \frac{\log(a)}{2i\pi} \tau \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Puisque « l'image » de ρ_τ est dans le centre de $\mathcal{H}_3(\mathbf{C})$, il est facile de voir que ρ_τ définit bien une représentation à valeurs dans $\text{Aut}(M_3)$ et que la variété X_τ obtenue par suspension de cette représentation au-dessus de $\mathbf{P}^1 = \mathbf{SL}(2, \mathbf{C})/P$ est homogène. La fibration de Tits de X_τ coïncide avec la projection sur $\mathbf{P}^1$ et n'est pas triviale. Pour s'en convaincre, il suffit de remarquer que l'image du second groupe d'homologie de $\mathbf{P}^1$ dans la fibre M_3 est engendrée par la matrice de paramètres $x = y = 0$, $z = \tau$.

Si p et q sont deux entiers et $\bar{f}$ est un endomorphisme de $\mathbf{P}^1$ de degré pq , la transformation

$$(18) \quad f([u : v], \begin{pmatrix} 1 & x & z \\ 0 & 1 & y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}) \mapsto (\bar{f}([u : v]), \begin{pmatrix} 1 & p.x & pq.z \\ 0 & 1 & q.y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix})$$

détermine un endomorphisme de X_τ de degré $(pq)^5$. Tous les endomorphismes de $\mathbf{P}^1$ se relèvent donc en des endomorphismes de M_3 . Les endomorphismes ainsi construits n'ont pas de facteur inversible.

EXEMPLE 5.4. Donnons maintenant un exemple de variété homogène non kählérienne ne possédant pas d'endomorphisme de degré supérieur à 1. Soit X le quotient de $\mathbf{SL}(n, \mathbf{C})$ par un sous-groupe discret cocompact Γ . Pour montrer que tout endomorphisme $f: X \rightarrow X$ est un automorphisme, utilisons que X est parallélisable, son fibré cotangent étant trivialisé par les 1-formes invariantes par translation à droites sur $\mathbf{SL}(n, \mathbf{C})$. L'action de f sur les formes différentielles induit ainsi un endomorphisme f^* de l'algèbre de Lie $\mathfrak{sl}(n, \mathbf{C})$, dont le déterminant est égal au degré topologique de f . Tout endomorphisme de $\mathfrak{sl}(n, \mathbf{C})$ étant un automorphisme intérieur (voir [16], prop. 1.98), le déterminant de f^* est égal à 1 et f est un automorphisme.

6. EXISTENCE DE FACTEURS INVERSIBLES.

Nous démontrons maintenant le théorème énoncé dans l'introduction. Les idées principales sont déjà apparues dans la partie précédente.