

UNE CARACTÉRISATION DU PLAN PROJECTIF COMPLEXE

Autor(en): **d'ALMEIDA, Jean**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **41 (1995)**

Heft 1-2: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE**

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-61821>

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.

UNE CARACTÉRISATION DU PLAN PROJECTIF COMPLEXE

par Jean d'ALMEIDA

INTRODUCTION

On considère une droite L du plan projectif complexe P^2 . Si on fixe n points $P_1, P_2, \dots, P_n$ sur L , il est possible de trouver une courbe algébrique de degré n passant par les points P_i . Il suffit de prendre une réunion de droites. Il est également facile de trouver une courbe passant par les points P_i et ayant en chacun de ces points une tangente fixée d'avance. Si l'on impose des conditions du second ordre alors il existe une condition (nécessaire et suffisante) pour l'existence de la courbe algébrique.

Supposons que $f(x, y)$ soit une équation affine de C , L la droite d'équation $x = 0$ et que les points d'intersection de C et L soient à distance finie sur l'axe des y .

On a alors la relation de Reiss:

$$\sum \frac{f_{xx}f_y^2 - 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_x^2}{f_y^3} = 0 ,$$

la somme étant étendue aux points d'intersection ([GH], p. 675).

Soit I l'idéal définissant la droite L dans P^2 et $\mathcal{O}_\mu = \mathcal{O} / I^{\mu+1}$ le faisceau structural du μ -ième voisinage infinitésimal $L(\mu) = (L, \mathcal{O}_\mu)$. La donnée d'éléments d'arc d'ordre μ est équivalente à la donnée d'un faisceau inversible $\mathcal{L}_{(\mu)}$ sur $L_{(\mu)}$ et d'une section $\sigma_{(\mu)} \in H^0(\mathcal{L}_{(\mu)})$.

On peut alors montrer qu'on a une surjection $\text{Pic } P^2 \rightarrow \text{Pic } L(1)$ où Pic désigne le groupe de Picard mais on a une suite exacte

$$0 \rightarrow \text{Pic } P^2 \rightarrow \text{Pic } L(2) \rightarrow \mathbf{C} \rightarrow 0 .$$

Il y a donc une condition pour que $\mathcal{L}(2) \in \text{Pic } L(2)$ soit la restriction d'un faisceau inversible $\mathcal{L} \in \text{Pic } P^2$. C'est la relation de Reiss ([GH], p. 698).

On s'intéresse au problème analogue en remplaçant P^2 par une surface projective lisse et L par un diviseur D . On montrera que l'obstruction existe dès le premier ordre. Il existe donc dès le premier ordre des analogues de la relation de Reiss pour toute surface autre que P^2 .

PROPOSITION 1. *Soit S une surface projective lisse sur $\mathbb{C}$ et D une courbe lisse irréductible. On suppose que le diviseur $2D$ est très ample. Soit $D(1)$ le premier voisinage infinitésimal de D , $D(1) = (D, \mathcal{O}_S/I^2)$ où I est le faisceau définissant D dans S . Le morphisme de restriction $\text{Pic } S \rightarrow \text{Pic } D(1)$ est surjectif si et seulement si S est le plan projectif et D une droite.*

Démonstration. On considère la suite exacte $0 \rightarrow 1 + I^2 \rightarrow \mathcal{O}_S^* \rightarrow \mathcal{O}_{D(1)}^* \rightarrow 0$ où $1 + I^2$ désigne le faisceau multiplicatif des fonctions $1 + f$ où f s'annule à l'ordre deux le long de D . On a $1 + I^2 \simeq I^2$ ([GH], p. 699). On en déduit la suite exacte $\text{Pic } S \xrightarrow{a} \text{Pic } D(1) \rightarrow H^2(I) \xrightarrow{b} H^2(\mathcal{O}_S^*) \rightarrow 0$. L'obstruction au relèvement d'un faisceau inversible $\mathcal{L}(1) \in \text{Pic } D(1)$ est donc dans le conoyau du morphisme a c'est-à-dire dans le noyau du morphisme b . Le morphisme b se factorise à travers la flèche naturelle $H^2(I^2) \rightarrow H^2(\mathcal{O}_S)$.

Il en résulte que $\text{Ker } b$ contient

$$\text{Ker}(H^2(I^2) \rightarrow H^2(\mathcal{O}_S)).$$

Si ce dernier espace est non nul on a une obstruction au relèvement. S'il est nul, alors la suite exacte $0 \rightarrow I^2 \rightarrow \mathcal{O}_S \rightarrow \mathcal{O}_{D(1)} \rightarrow 0$ montre que $H^2(I^2) \simeq H^2(\mathcal{O}_S)$. Par dualité de Serre, on a donc $H^0(\mathcal{O}_S(2D + K_S)) = H^0(K_S)$ où K_S est le diviseur canonique de S . On en déduit facilement que le faisceau $\mathcal{O}_S(2D + K_S)$ n'est pas engendré par ses sections globales. D'après [S] ou [V], si H est un fibré en droites très ample sur une surface projective lisse complexe S tel que $H + K_S$ ne soit pas engendré par ses sections globales alors on a deux possibilités:

- i) $H = \mathcal{O}(1)$ ou $\mathcal{O}(2)$ sur P^2 ;
- ii) H est un fibré sur une surface géométriquement réglée et la restriction de H à chaque fibre de la surface est de degré 1.

Dans notre situation $H = \mathcal{O}_S(2D)$. Le cas où S est géométriquement réglée est donc exclu.

Dans le cas où $S = P^2$ on a $H^2(\mathcal{O}_{P^2}^*) = 0$. Ceci résulte de la suite exacte de l'exponentielle en tenant compte de $H^2(\mathcal{O}_{P^2}) = H^3(P^2, \mathbb{Z}) = 0$. Le conoyau de la flèche a est donc $H^2(\mathcal{O}_{P^2}(-2D))$ ou par dualité de Serre $H^0(\mathcal{O}_{P^2}(2D) \otimes \mathcal{O}_{P^2}(-3))^\vee$.

Ceci est nul si D est une droite et non nul si D est une conique.

THÉORÈME 2. Soit S une surface projective lisse minimale sur $\mathbb{C}$ et D une courbe lisse irréductible de self intersection $D^2 > 0$. Soit $D(1)$ le premier voisinage infinitésimal de D , $D(1) = (D, \mathcal{O}_S/I^2)$ où I est le faisceau définissant D dans S . Le morphisme de restriction $\text{Pic } S \rightarrow \text{Pic}(D(1))$ est surjectif si et seulement si S est le plan projectif et D une droite.

Démonstration. Comme précédemment on a la suite exacte

$$\text{Pic } S \xrightarrow{a} \text{Pic } D(1) \rightarrow H^2(I^2) \xrightarrow{b} H^2(\mathcal{O}_S^*) \rightarrow 0.$$

L'obstruction au relèvement est dans $\text{Ker } b$ qui contient $\text{Ker}(H^2(I^2) \rightarrow H^2(\mathcal{O}_S))$.

Si $\text{Ker}(H^2(I^2) \rightarrow H^2(\mathcal{O}_S))$ est non nul, on a une obstruction au relèvement. S'il est nul on obtient $H^2(I^2) \simeq H^2(\mathcal{O}_S)$. Il en résulte la suite exacte

$$0 \rightarrow H^0(\mathcal{O}_S) \rightarrow H^0(\mathcal{O}_{D(1)}) \rightarrow H^1(I^2) \rightarrow H^1(\mathcal{O}_S) \rightarrow H^1(\mathcal{O}_{D(1)}) \rightarrow 0. \quad (\alpha)$$

La suite exacte $0 \rightarrow I \rightarrow \mathcal{O}_S \rightarrow \mathcal{O}_D \rightarrow 0$ donne

$$0 \rightarrow H^1(I) \rightarrow H^1(\mathcal{O}_S) \rightarrow H^1(\mathcal{O}_D) \rightarrow H^2(I) \rightarrow H^2(\mathcal{O}_S) \rightarrow 0. \quad (\beta)$$

La suite exacte $0 \rightarrow I^2 \rightarrow I \rightarrow I/I^2 \rightarrow 0$ donne une surjection $H^2(I^2) \rightarrow H^2(I) \rightarrow 0$. En effet I/I^2 est un $\mathcal{O}_D$ -module. C'est le fibré conormal de D dans S , $I/I^2 = \mathcal{O}_D(-D)$.

En résumé on a une surjection $H^2(I) \rightarrow H^2(\mathcal{O}_S) \rightarrow 0$, une surjection $H^2(I^2) \rightarrow H^2(I) \rightarrow 0$ et un morphisme $H^2(I^2) \simeq H^2(\mathcal{O}_S)$. Il en résulte que $H^2(I^2) = H^2(I) = H^2(\mathcal{O}_S)$. La suite (β) donne alors $h^1(\mathcal{O}_S) = h^1(I) + h^1(\mathcal{O}_D)$. La suite exacte $0 \rightarrow I^2 \rightarrow I \rightarrow I/I^2 \rightarrow 0$ donne $0 \rightarrow H^1(I^2) \rightarrow H^1(I) \rightarrow H^1(I/I^2) \rightarrow 0$. En effet l'hypothèse $D^2 > 0$ donne $H^0(I/I^2) = 0$. De plus $H^2(I^2) = H^2(I)$ et $H^2(I/I^2) = 0$. Le théorème de Riemann-Roch sur la courbe D donne $h^1(I/I^2) = D^2 + g - 1$. Je dis que D est numériquement effectif.

En effet soit C une courbe de S . On écrit $C = D' + nD$ avec $n \geq 0$ et D' ne contient pas D . Alors $CD = D'D + nD^2 \geq 0$.

Le théorème d'annulation de Kawamata-Viehweg (ou de Ramanujam) donne $h^1(\mathcal{O}_S(-D)) = h^1(I) = 0$.

Il en résulte que $h^1(I^2) = h^1(I/I^2) = 0$. Mais $h^1(I/I^2) = D^2 + g - 1$ avec $D^2 > 0$. On obtient alors $D^2 = 1$ et $g = 0$. Ceci nous donne $h^0(\mathcal{O}_S(D)) = h^0(\mathcal{O}_S) + h^0(\mathcal{O}_D(D)) = 3$ car $\mathcal{O}_D(D) = \mathcal{O}_{p^1}(1)$. On a alors sur la surface S une courbe rationnelle irréductible D telle que $h^0(\mathcal{O}_S(D)) \geq 2$. La surface S est donc rationnelle d'après le lemme de Noether ([GH], p. 513). La surface S est donc P^2 , une surface de Hirzebruch $P(\mathcal{O}_{p^1} \oplus \mathcal{O}_{p^1}(-e))$,

$e \geq 0$, $e \neq 1$, ou l'éclatement d'une de ces surfaces. Si $S = P^2$, D est une droite car $D^2 = 1$. Si $S = P(\mathcal{O}_{p^1} \oplus \mathcal{O}_{p^1}(-e))$, D s'écrit $D = aC_0 + bf$ où C_0 est une section vérifiant $C_0^2 = -e$ et f une fibre de la surface réglée. On a $f^2 = 0$ et $C_0f = 1$.

Le diviseur canonique est $K = 2C_0 + (-2 - e)f$. On doit avoir $D^2 = -a^2e + 2ab = 1$. La formule d'adjonction donne $-2 = D(D + K)$. Ces deux relations donnent le système $a(-ae + 2b) = 1$ et $a^2 - 2a - 2b = 3$. On connaît les courbes irréductibles lisses tracées sur les surfaces de Hirzebruch. Les possibilités sont les suivantes:

$$\begin{aligned} a = 0 & \quad b = 1 \\ a = 1 & \quad b = 0 \\ a > 0 & \quad b > ae \\ e > 0 & \quad a > 0 \quad b = ae. \end{aligned}$$

Ici on obtient $a = 1$ et $2b = e + 1$. Ceci n'est compatible avec $b \geq e$ que pour $e \leq 1$. La valeur $e = 0$ est exclue car b est entier. La valeur $e = 1$ est exclue car elle correspond à une surface non minimale. C'est en effet le plan projectif éclaté en un point. C.Q.F.D.

Remarques. On ne peut supprimer l'hypothèse S minimale dans le théorème. En effet si S est l'éclatement de P^2 en un point et D la transformée d'une droite générale de P^2 alors

$$\text{Pic } S \rightarrow \text{Pic } D(1) \text{ est surjectif.}$$

Soit $(S, \mathcal{O}_S(D)) \neq (P^2, \mathcal{O}(1))$. Si $\mathcal{L}(1)$ est un fibré en droites sur $D(1)$ qui est restriction d'un fibré $\mathcal{L}$ sur S , il faut pour résoudre complètement le problème de Reiss pouvoir relever les sections.

Soit $\sigma(1) \in H^0(\mathcal{L}(1))$. La suite exacte

$$0 \rightarrow I^2 \otimes \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}(1) \rightarrow 0$$

donne

$$0 \rightarrow H^0(I^2 \otimes \mathcal{L}) \rightarrow H^0(\mathcal{L}) \rightarrow H^0(\mathcal{L}(1)) \rightarrow H^1(I^2 \otimes \mathcal{L}).$$

Si $H^1(I^2 \otimes \mathcal{L}) = 0$, on pourra toujours relever une section. La relation de Reiss a été obtenue en 1837 [R]. Une généralisation au cas des hypersurfaces d'un espace projectif a été obtenue par Wood [W]. Une généralisation au cas des sous-variétés d'un espace projectif a été obtenue par Akivis [A]. Little [L] a obtenu les relations de Reiss du 1^{er} ordre pour les courbes tracées sur des surfaces de Hirzebruch. On peut se demander si la caractérisation du plan

projectif obtenue ici s'étend à P^n , $n \geq 3$. De façon précise si M est une variété projective lisse de dimension n et C une courbe lisse irréductible de M , que peut-on déduire de la surjectivité de $\text{Pic } M \rightarrow \text{Pic } C(1)$? Il faut faire des hypothèses convenables sur le fibré normal de C dans M . Il faut aussi trouver par quoi remplacer l'hypothèse S minimale. Il serait intéressant de relier ceci à la caractérisation de l'espace projectif par l'amplitude du fibré tangent [M].

Nous espérons aborder ces questions dans un travail ultérieur.

BIBLIOGRAPHIE

- [A] AKIVIS, M.A. The local algebraizability condition for a system of submanifolds. *Soviet Math. Dokl* 28, No. 2 (1983), 507-509.
- [GH] GRIFFITHS, P. and J. HARRIS. *Principles of Algebraic Geometry*. Wiley Interscience, 1978.
- [H] HARTSHORNE, R. *Algebraic Geometry*. Springer-Verlag, 1977.
- [L] LITTLE, J.J. On analogs of the Reiss relation for curves on rational ruled surfaces. *Duke Math J.* 52 (1985), 909-922.
- [M] MORI, S. Projective manifolds with ample tangent bundles. *Ann. Math.* 110 (1979), 593-606.
- [R] REISS, M. Mémoire sur les propriétés générales des courbes algébriques. *Corresp. math. et. phys. de Quetelet*, 9 (1837), 249-308.
- [S] SOMMESE, A.J. Hyperplane sections of projective surfaces. *Duke Math. J.* 46 (1979), 377-401.
- [V] VAN DE VEN, A. On the 2-connectedness of very ample divisors on a surface. *Duke Math J.* 46 (1979), 403-407.
- [W] WOOD, J.A. A simple criterion for local hypersurfaces to be algebraic. *Duke Math J.* 51 (1984), 235-237.

(Reçu le 25 mai 1994)

Jean d'Almeida

URA au CNRS 0751 D
Département de Mathématiques
Université des Sciences et Technologies de Lille
59655 – Villeneuve d'Ascq Cedex
France

Vide-leer-empty