

À l'origine de beaucoup de ces travaux se trouve la remarque formulée en 1772 par Euler que le polynôme $n^2 + n + 41$ donne des nombres premiers pour $n = 0, 1, 2, 3, \dots, 39$. Legendre proposa en 1798 le polynôme $n^2 - n + 41$ qui donne des nombres premiers pour $n = 1, \dots, 40$. Dans les deux cas, on a 40 valeurs consécutives d'un polynôme de degré 2 produisant un nombre premier.

Le polynôme d'Euler a l'avantage, sur celui de Legendre, qu'il peut se généraliser d'une étonnante manière. Richard Mollin a en effet prouvé que si M est un entier fixé (aussi grand qu'on le veut), il existe un entier k tel que le polynôme $n^2 + n + k$ donne des nombres premiers pour $n = 0, 1, 2, \dots, M$. Autrement dit, si vous voulez un polynôme de degré 2 qui donne un million de nombres premiers quand la variable n va de un à un million, c'est possible et le polynôme peut avoir la forme très simple $n^2 + n + k$.

On doit formuler plusieurs réserves sur ce beau résultat de R. Mollin. Une fois encore, elles nous font prendre conscience que l'écart entre la théorie et la pratique est parfois très grand. D'une part, le résultat de R. Mollin est démontré en utilisant une conjecture assez forte qui généralise la conjecture des nombres premiers jumeaux (celle-ci affirme qu'il existe une infinité de paires de nombres premiers espacés de 2, comme 11 et 13, 17 et 19, 41 et 43). Cette conjecture, même si elle est vraisemblable et bien testée expérimentalement, ne semble pas à la portée des mathématiciens d'aujourd'hui et le résultat de R. Mollin reste donc incertain.

D'autre part, la constante k qu'il faut utiliser dans la définition du polynôme $n^2 + n + k$ prend des valeurs considérables si l'on veut que le polynôme donne beaucoup d'entiers premiers : pour obtenir plus de 40 nombres premiers, k doit dépasser 10^{18} . Enfin, et c'est le pire, la méthode de démonstration utilisée par R. Mollin n'est pas constructive : elle ne permet pas en pratique de trouver k !

Pour pallier ce défaut de la théorie qui nous suggère que sont vraies certaines choses qu'elle ne sait pas montrer, d'autres mathématiciens s'occupent de trouver « pour de vrai » des polynômes qui produisent beaucoup de nombres premiers. Leurs résultats, obtenus bien sûr à l'aide d'astucieux pro-

grammes informatiques et de longues heures de calcul, sont de nature variée : recherche de longues progressions arithmétiques de nombres premiers, recherche de polynômes de bas degré donnant beaucoup de valeurs premières consécutives ou une grande proportion de nombres premiers dans un intervalle, etc.

Comme ils ne réussissent pas à trouver de polynôme de degré 2 donnant plus de 43 nombres premiers différents pour des valeurs successives de n , les mathématiciens ont essayé avec des polynômes de degré 3 ou plus.

Au-delà du degré 2

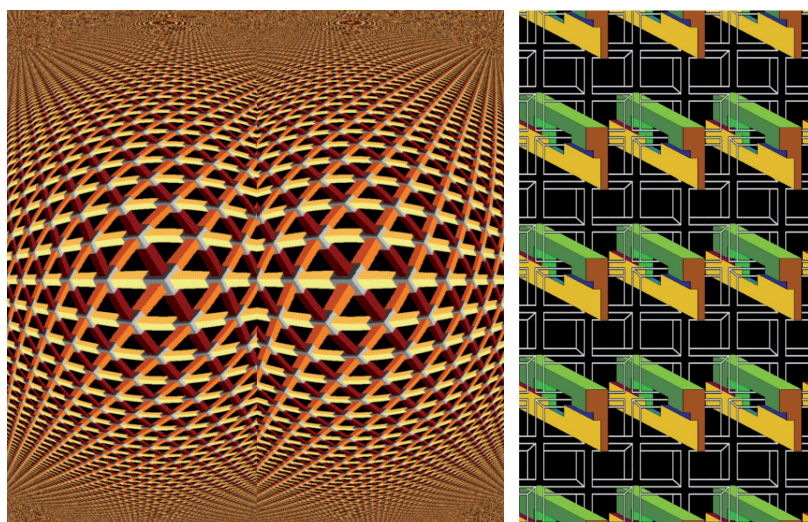
De nombreux records sont dus à F. Dress et B. Landreau. Pour le degré 3, le polynôme $66n^3 + 83n^2 + 13\,735n + 30\,139$ donne 46 nombres premiers différents pour $n = -26, -25, \dots, 0, 1, \dots, 18, 19$ (record en 2000). Degré 4, record en 2002 : le polynôme $3/4n^4 + 1/2n^3 - 4\,323/4n^2 + 34\,415/2n - 62\,099$ donne 49 nombres premiers différents pour

$n = -16, -15, \dots, 31, 32$. Degré 5, record en 2002 : le polynôme $1/4n^5 + 1/2n^4 - 345/4n^3 + 879/2n^2 + 17\,500n + 70\,123$ donne 57 nombres premiers différents, pour $n = -27, -26, \dots, 28, 29$. Degré 6, record en 2010 : $1/72n^6 + 1/24n^5 - 1\,583/72n^4 - 3\,161/24n^3 + 200\,807/36n^2 + 97\,973/3n - 11\,351$ donne 58 nombres premiers différents, pour $n = -45, -44, \dots, 11, 12$. C'est le record absolu pour un polynôme de petit degré.

En augmentant le degré, on sait de façon certaine, grâce à un théorème de Lagrange, que l'on pourra obtenir des polynômes donnant autant de nombres premiers différents que l'on veut pour des valeurs consécutives de la variable.

Les mathématiciens combinent deux notions mathématiques difficilement miscibles et découvrent un trésor de problèmes et de résultats, quelques joyaux de pure théorie... et parfois des théorèmes illusoires. Ce trésor s'enrichit des trouvailles autorisées par les calculs colossaux sur ordinateur qui guident les mathématiciens dans leur exploration du monde des entiers.

FIGURES IMPOSSIBLES ET INFINIES



À la suite de l'article de mai 2011, Jean-François Colonna m'a proposé de nouveaux dessins infinis et impossibles (ci-dessus à droite), dont plusieurs autostéréogrammes. Il me signale qu'il avait conçu l'idée des dessins impossibles infinis dès 1974 et en avait réalisé quelques-uns (voir son site Internet <http://www.lactamme.polytechnique.fr/>).

Dominique Caudron m'a aussi envoyé des images impossibles infinies intéressantes. Il a en particulier réalisé le stéréogramme ci-dessus, à gauche, d'une figure infinie impossible (voir son site <http://oncle.dom.pagesperso-orange.fr/art/index.htm>).

ART & SCIENCE

Donner à voir les mathématiques

Une exposition se propose de rendre perceptibles les mathématiques et l'esprit de ceux qui les font : pour cela, mathématiciens et artistes se sont associés pour transformer des idées abstraites en œuvres d'art.

Loïc MANGIN

Comment rendre compte des mathématiques ? Comment concilier l'art avec la pensée abstraite des mathématiciens ?

Comment représenter leurs idées, leurs intuitions, leur création ? La *Fondation Cartier pour l'art contemporain*, à Paris, à travers son directeur, Hervé Chandès, a voulu relever le défi. Il s'est tourné vers un lieu d'excellence de cette discipline, l'Institut des hautes études scientifiques (IHÉS), à Bures-sur-Yvette, pour réfléchir à une façon artistique d'exposer les mathématiques en restant au plus près d'elles. Il s'agissait d'instaurer un dialogue entre artistes et mathématiciens. Le résultat de cette collaboration est l'exposition *Mathématiques, un dépaysement soudain*, un titre qui reprend une expression du mathématicien Alexandre Grothendieck.

Six mathématiciens ont accepté de se prêter à l'exercice : sir Michael Atiyah, Alain Connes, Nicole El Karoui, Mikhaïl Gromov, Don Zagier et Cédric Villani. Les artistes sollicités, des habitués de la *Fondation Cartier*, sont les cinéastes Raymond Depardon, Claudine Nougaret et David Lynch, la chanteuse Patti Smith, la peintre Beatriz Milhazes, le plasticien Jean-Michel Alberola et, enfin, le photographe et sculpteur Hiroshi Sugimoto. Voyons comment ce dernier s'est emparé des mathématiques à travers une sculpture (voir la figure a) et une photographie (voir la figure b).

Il échange depuis 2004 avec Jean-Pierre Bourguignon, directeur de l'IHÉS et commissaire de l'exposition à venir (avec l'astrophysicien Michel Cassé). À cette époque,

H. Sugimoto présentait une série de 19 photographies prises au musée de l'Université de Tokyo. J.-P. Bourguignon avait rédigé les notices de chacune d'elles. De fait, certaines représentent des modèles stéréométriques en plâtre destinés à faciliter la visualisation de fonctions mathématiques complexes. Man Ray avait fait de même au début du XX^e siècle avec des objets conservés à l'Institut Henri Poincaré, à Paris.

**Hiroshi Sugimoto
sculpte avec des outils
perfectionnés, tels
des robots, pour accéder
à la rigueur mathématique.**

H. Sugimoto ne fait pas que photographier les objets mathématiques, il les sculpte aussi, à plus grande échelle. Pour ce faire, il utilise les outils perfectionnés d'aujourd'hui, tels des robots, pour coller au mieux à la précision et à la rigueur mathématiques du modèle. L'observation de la photographie et de la sculpture (de trois mètres de hauteur) révèle la différence. Le modèle mathématique illustré *via* ces deux médiums est une surface à courbure constante négative. Cet objet est défini par trois équations (voir la figure c) où x , y et z définissent l'objet dans l'espace à trois dimensions de la même façon que l'on peut définir une sphère (une surface) dans l'espace. Les paramètres u et v

correspondent aux coordonnées nécessaires pour se repérer sur cette surface ; ils sont équivalents à la latitude et à la longitude utilisées sur une sphère.

Cette surface est la représentation d'une géométrie dite hyperbolique, car sa courbure est négative en tout point. Cela se traduit, pour tout triangle donné, à une somme des angles inférieure à 180 degrés. Rappelons que sur un plan euclidien, cette somme est égale à 180 degrés et que sur une surface à courbure positive, par exemple sphérique, elle est supérieure à 180 degrés.

Que pourra-t-on voir encore ? À partir de la bibliographie de Henri Poincaré, J.-M. Alberola a conçu une carte du ciel mathématique où des « constellations » réunissent des références partageant des thèmes communs. D. Lynch a mis en scène le rez-de-chaussée du bâtiment à partir d'une intense correspondance avec M. Gromov. Ce dernier a notamment proposé l'idée d'une bibliothèque « idéale » rassemblant un choix personnel de livres, des classiques de l'Antiquité à ceux plus récents, tels les ouvrages de Richard Feynman. Sur une idée d'A. Connes, R. Depardon et Cl. Nougaret ont filmé plusieurs mathématiciens qui, en quatre minutes, expliquent leur rapport aux mathématiques, leurs idées... Et bien d'autres choses qui permettront d'accéder à la magie des mathématiques à travers l'esthétique ! ■

Mathématiques, un dépaysement soudain, à la Fondation Cartier, du 21 octobre 2011 au 19 février 2012. <http://fondation.cartier.com>