

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

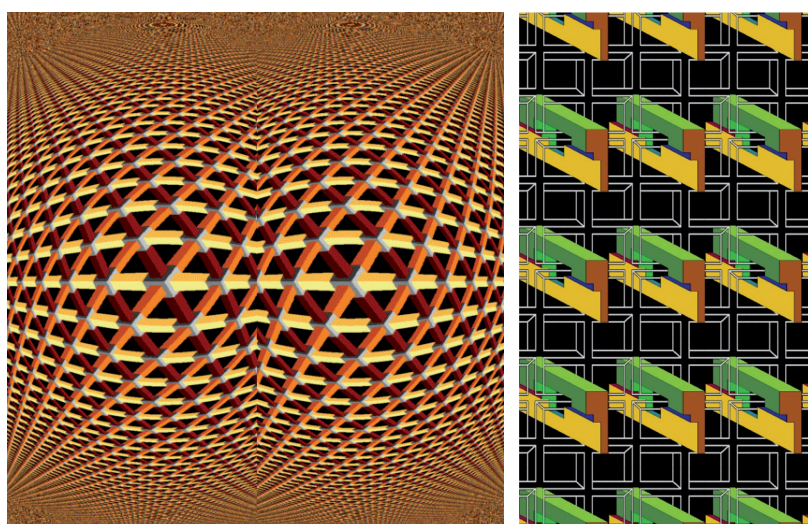
De nombreux records sont dus à F. Dress et B. Landreau. Pour le degré 3, le polynôme $66n^3 + 83n^2 + 13\,735n + 30\,139$ donne 46 nombres premiers différents pour $n = -26, -25, \dots, 0, 1, \dots, 18, 19$ (record en 2000). Degré 4, record en 2002 : le polynôme $3/4n^4 + 1/2n^3 - 4\,323/4n^2 + 34\,415/2n - 62\,099$ 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 : $1/72n^6 + 1/24n^5 - 1\,583/72n^4 - 3\,161/24n^3 + 200807/36n^2 + 97973/3n - 11\,351$ 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://](http://www.lactamme.polytechnique.fr/)

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>



© H. Sugimoto / Courtesy of Gallery Koyanagi



c

$$x = \frac{\cos u}{\cosh v}$$

$$y = \frac{\sin u}{\cosh v}$$

$$z = v - \tanh v$$

$$(0 \leq u < 2\pi, 0 \leq v < \infty)$$

IDÉES DE PHYSIQUE

Juste une mise au point

Les appareils photo plénoptiques ouvrent la voie à des images qui sont nettes là où on veut, avec une mise au point effectuée après la prise de vue.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Une erreur de mise au point à la prise de vue et voici que le gracieux visage, en partie dissimulé derrière les branches, est immortalisé flou sur la pellicule ou le capteur. Est-ce une fatalité des lois de la physique ? Des travaux récents montrent qu'il n'en est rien. Grâce à l'informatique, des idées datant de plus d'un siècle prennent vie dans de nouveaux appareils, où la capture optique de l'énergie lumineuse et des informations qu'elle transporte est complètement dissociée de la reconstitution, par le calcul, de la scène photographiée. Ces appareils permettent d'effectuer la mise au point sur la partie de la scène de son choix... après avoir pris la photo, et l'on parvient même à obtenir une photo nette partout !

Du sténopé à l'objectif classique

La crainte d'obtenir une image floue était inconnue de Nicéphore Niepce, le premier photographe. Une chambre noire percée à l'avant par un petit trou et équipée à l'arrière d'un dispositif sensible à la lumière, tel est le sténopé, un appareil photographique rudimentaire mais aux indéniables qualités. Idéalement, dans la limite d'un trou ponctuel, le sténopé réalise une projection sur un plan de l'espace situé devant le trou : à partir d'un point du paysage, un seul rayon lumineux traverse le trou et atteint le capteur (voir la figure 1). Cette correspondance biunivoque assure que l'image (à l'envers), obtenue avec un très grand champ angulaire, sera nette partout, sans distorsion. Un rêve de photographe !

En pratique, des limitations surgissent. Le trou du sténopé doit être assez petit ; sinon, un point du capteur pourrait recueillir des rayons issus de différents points du paysage. Mais si le trou est trop petit, le phénomène de diffraction élargit le pinceau lumineux après le trou et forme sur le capteur une tache d'autant plus étendue que le trou est petit. La taille optimale, pour laquelle la taille du trou est égale à celle de la tache de diffraction, est de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre pour des distances trou-capteur de quelques centimètres.

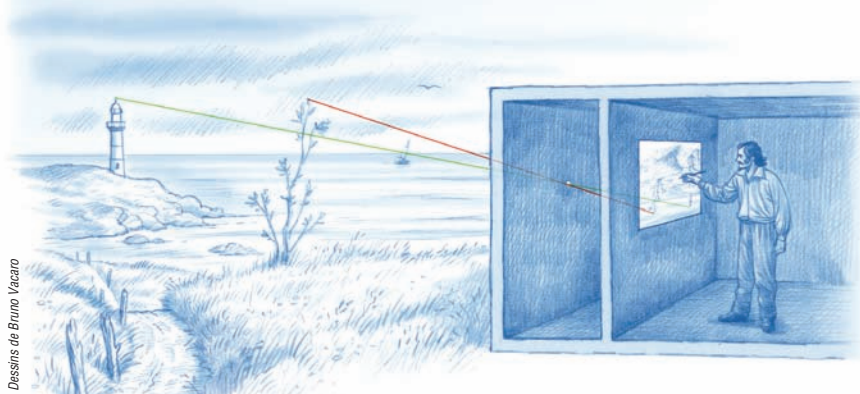
Or très peu de la lumière ambiante traverse un trou aussi petit. Si les capteurs actuels ne nécessitent plus d'attendre huit heures comme Niepce pour sa première photographie, les temps de pose sont forcément longs, souvent de plusieurs minutes... ce qui limite fortement l'utilisation du sténopé.

L'appareil photographique tel que nous le connaissons est une réponse à ce manque

de lumière : l'objectif recueille sur une grande surface la lumière issue d'un point du paysage et la focalise en un point sur le capteur. Hélas, cette correspondance point par point n'est valable, pour une position donnée de l'objectif, que pour un seul plan du paysage, le « plan objet » (voir la figure 2).

La lumière des autres éléments du paysage converge au-delà ou en deçà du capteur : sur ce dernier, les points hors plan donnent donc des taches et seul le plan objet est net sur l'image – en théorie. En pratique, il faut compter avec la taille des pixels et la résolution de l'œil. Une toute petite tache ne produit pas nécessairement une sensation de flou : aussi, c'est toute une zone autour du plan objet qui apparaît nette. La dimension de cette zone définit la « profondeur de champ ».

En réduisant l'ouverture de l'objectif, c'est-à-dire en fermant le diaphragme, le photographe élimine les pinceaux lumineux



1. DANS UNE « CHAMBRE NOIRE », un petit trou, nommé sténopé, remplit le rôle de l'objectif. Pour chaque point source, il ne laisse passer qu'un seul pinceau lumineux. L'image, formée à l'envers, est alors nette partout. Mais le trou laisse passer très peu de lumière, d'où des temps de pose très longs. Des peintres exploitaient le procédé pour reproduire fidèlement une scène.

les plus éloignés de l'axe et réduit la taille des taches sur le capteur ; cela améliore la netteté et accroît la profondeur de champ. En revanche, comme on collecte moins de lumière, il faut augmenter le temps d'exposition. On retrouve le compromis entre temps d'exposition (priorité à la vitesse, dans les appareils) et luminosité (priorité au diaphragme).

Des microlentilles pour récupérer l'information

Cependant, la netteté partout n'est pas irrémédiablement perdue. Gabriel Lippmann, physicien français et lauréat du Nobel, s'interrogeait déjà au début du XX^e siècle : comment la photographie peut-elle rendre la variété de la vue directe des objets ? Il a découvert une réponse : la photographie « intégrale » [1908], dite aujourd'hui plénoptique. Plutôt que de capter la lumière avec un objectif de grand diamètre, il s'agit de capter la même quantité de lumière avec plusieurs objectifs plus petits et de former autant de petites photos.

Quel est l'avantage de ce procédé ? Considérons un objectif classique et découpons par la pensée sa surface en une multitude de petites cellules. En sélectionnant avec un diaphragme la lumière passant par l'une de ces cellules, on obtient au niveau du capteur une photo nette, mais peu lumineuse. On peut alors interpréter la photographie obtenue avec l'objectif entier comme l'addition de ces multiples images.

Toutefois, comme chacune de ces images montre la scène d'un point de vue différent (c'est l'effet de parallaxe), les images additionnées ne sont pas identiques. Il est possible de les superposer parfaitement si tous les objets observés sont à la même distance ; ce n'est pas le cas s'ils sont à des distances différentes, et la moyenne introduit du flou.

Ces multiples images, avant qu'elles ne soient superposées, portent l'information de parallaxe. Elles permettent donc d'estimer la position des objets dans l'espace, comme on le fait en stéréoscopie binocu-

laire. Encore faut-il savoir récupérer cette information pour restituer une image nette. Lippmann avait imaginé dès 1908 comment réaliser cela de façon optique, mais les limites techniques, le coût et le soin nécessaire à chaque prise de vue étaient prohibitifs pour une grande diffusion.

En 1992, Edward Adelson et John Wang, deux chercheurs du MIT (l'Institut de technologie du Massachusetts), ont ouvert la voie à la conception d'appareils photo plénoptiques guère plus encombrants que les appareils habituels, à condition de disposer d'algorithmes puissants de traitement

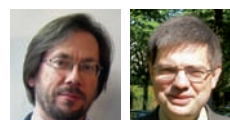


2. DANS UN APPAREIL PHOTO CLASSIQUE, la lumière issue de points sources situés à des distances différentes de l'objectif ne converge pas en des points situés sur le même plan. Le plan du capteur ne peut donc pas enregistrer une image qui soit nette partout. Le photographe doit choisir lors de la prise de vue la région qui doit être nette.



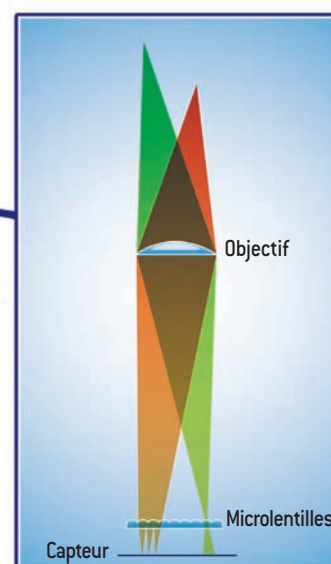
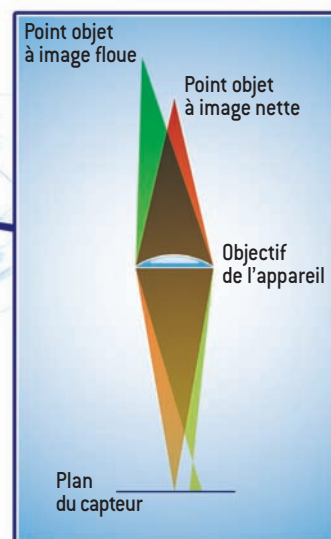
3. DANS UN APPAREIL PHOTO PLÉNOPTIQUE, un réseau de microlentilles est placé en avant du capteur. La lumière issue d'un point source n'est pas forcément focalisée sur le plan du capteur, mais l'information sur la position de ce point est contenue dans la répartition des pixels éclairés sur le capteur. Un traitement informatique des données permet alors, après la prise de vue, de construire une image nette à l'endroit souhaité, voire une image nette partout.

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et É. Kierlik sur www.pourlascience.fr



✓ BIBLIOGRAPHIE

E. H. Adelson et J. Y. A. Wang, **Single lens stereo with a plenoptic camera**, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14(2), pp. 99-106, 1992.

M. G. Lippmann, **Épreuves réversibles. Photographies intégrales**, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, vol. 146(9), pp. 446-451, 1908.

Integral photography, a new discovery by professor Lippmann, *Scientific American*, p. 164, 19 août 1911 [voir <http://www.tgeorgiev.net/>].

de l'information. En pratique, au lieu d'utiliser un objectif composite, ils placent un réseau de microlentilles derrière un objectif classique (voir la figure 3).

À chacune de ces microlentilles correspond sur le capteur un « macropixel » qui regroupe plusieurs pixels, typiquement 5×5 . Par définition, la lumière d'un point net se focalise sur le capteur et n'éclaire que l'un de ces macropixels. Un point flou éclaire plusieurs macropixels, mais la lumière arrive sur chacun d'eux avec une inclinaison différente. C'est là qu'interviennent la microlentille et les pixels qui composent le macropixel : seuls certains d'entre eux sont éclairés, selon l'angle d'arrivée de la lumière. Connaissant la position et l'angle d'incidence des rayons, un calcul permet de reconstituer le trajet des rayons lumineux et d'obtenir l'image correspondant au plan

de mise au point que l'on a choisi. Ou de réaliser une projection conique, pour laquelle toute l'image sera nette.

Adieu le flou : on prend la photo, puis on choisit là où on veut qu'elle soit nette ! En revanche, la résolution spatiale, donnée par le nombre de macropixels, est plus faible qu'en photographie numérique classique, puisque chacun est constitué de plusieurs pixels.

Aujourd'hui, plusieurs entreprises commercialisent des appareils photo plénoptiques. Les puristes regrettent la perte de définition, mais les performances s'améliorent et la Société allemande *Raytrix* annonce une résolution apparente variant entre un et trois mégapixels. La netteté partout, pour des images classiques ainsi que pour des images en trois dimensions, est ainsi à notre portée. Le rêve de Lippmann commence à se réaliser. ■

XIX^{es} OLYMPIADES DE PHYSIQUE FRANCE

QUAND LES LYCÉENS DEVIENNENT CHERCHEURS

Inscrivez-vous sur www.odpf.org



POURQUOI PAS VOUS ?

Organisées par :

udppc 

Union des Professeurs de Physique et de Chimie



Les inscriptions à l'édition 2011/2012 des Olympiades de Physique France sont ouvertes

Vous encadrez ou avez encadré pour un TPE ou un Atelier scientifique un groupe de lycéens motivés et enthousiastes, poursuivez l'aventure en inscrivant cette équipe aux XIX^{es} Olympiades de Physique France.

Cette participation permettra à vos élèves de mettre en valeur leur travail et de partager leur intérêt avec d'autres passionnés de sciences et de physique.

Les Olympiades sont aussi l'occasion de promouvoir les sciences expérimentales dans votre établissement et auprès des nouveaux lycéens.

Informations et inscriptions :
<http://www.odpf.org>

Cloture des inscriptions : **30 octobre 2011**

Sélections régionales : **7 décembre 2011**

Finale et exposition des projets au Palais de la Découverte : **27-28 janvier 2012**

Les Olympiades de Physique France sont organisées par l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie et la Société Française de Physique.

udppc



DU 5 OCTOBRE 2011 AU 2 JUILLET 2012

AU FIL DES ARAIGNÉES

EXPOSITION AU JARDIN DES PLANTES



36 RUE GEOFFROY SAINT-HILAIRE — PARIS 5^e — <http://araignees.mnhn.fr>



LES {Partagez
les savoirs}
RENDEZ-
VOUS DU
MUSÉUM

Entrée
gratuite

Au Jardin
des Plantes

Détails sur
www.jardindesplantes.net,
dans "l'agenda du jardin"

UNE EXPO/DES DÉBATS

Lundi 17 octobre, 18h

Les relations hommes-araignées, idées reçues, phobies...

Antoine Pelissolo, psychiatre, Professeur des Universités
Praticien Hospitalier (PU-PH), Christine Rollard, aranéologue,
maître de conférences au Département de systématique et
évolution du Muséum entourée de deux autres intervenants.
Débat animé par Marie-Odile Monchicourt.

UN CHERCHEUR/UN LIVRE

Lundi 10 octobre, 18h

Archana. Les voyages d'une femme-araignée

Par Christine Rollard, aranéologue, maître de conférences
au Département de systématique et évolution du Muséum
entourée de deux autres intervenants.

MÉTIER DU MUSÉUM

Dimanche 27 novembre, 15h

Aranéologue - Christine Rollard

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy Saint-Hilaire, Paris 5^e
Métro : Gare d'Austerlitz - Jussieu



La librairie **SCIENCE**

Sélection spéciale « mathématiciens »



Galois ■ Norbert Verdier

Dès son plus jeune âge, la vie d'Évariste Galois (1811-1832) est marquée par une passion démesurée pour les mathématiques. Ses travaux, incompris à son époque, marquent le début de la théorie des groupes et irriguent aujourd'hui de nombreux champs des mathématiques.

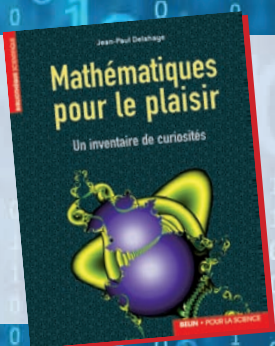
144 pages • 18 euros • ISBN 978-2-8424-5112-7



Les mathématiciens ■ Collectif

« Nul ne peut être mathématicien s'il n'a une âme de poète », disait Sophie Kowalevskaja. D'Archimède à Jacques Hadamard, cet ouvrage dresse les portraits d'une vingtaine de mathématiciens, autant artistes que scientifiques.

280 pages • 24 euros • ISBN 978-2-8424-5109-7



Mathématiques pour le plaisir ■ Jean-Paul Delahaye

Les mathématiques ne se réduisent pas – heureusement – à ce qu'on nous en apprend à l'école. Partout présentes, elles sont une source de joie et d'épanouissement pour celui qui sait y consacrer un peu d'attention et d'esprit ludique. Dans cet ouvrage, découvrez pourquoi les mathématiques sont faciles et comment s'y adonner est un plaisir.

208 pages • 25 euros • ISBN 978-2-8424-5104-2



Au nom de l'infini ■ Jean-Michel Kantor, Loren Graham

Les auteurs retracent un épisode fascinant et dramatique de la création mathématique. Sur les traces de chercheurs russes et français du XX^e siècle, ils nous éclairent sur les liens étroits entre science, religion et politique.

288 pages • 24 euros • ISBN 978-2-8424-5107-3

Des livres à découvrir en librairie et sur www.pourlascience.fr

SCIENCE & GASTRONOMIE

Mijotons

Certains plats sont meilleurs réchauffés : l'hydrolyse, c'est-à-dire la décomposition par l'eau, est un moteur essentiel de l'amélioration de certains produits.

Hervé THIS



Les plats réchauffés sont-ils toujours meilleurs ? En général, de telles... généralisations mènent à l'erreur : le poulet rôti réchauffé a un goût de carton ! Il est toutefois vrai que le réchauffage augmente la durée du traitement thermique, lequel agit sur les composés des aliments. Parmi les produits formés, certains ont du goût – soit parce que ce sont des composés hydrophobes et que, volatils, ils communiquent de l'odeur, soit parce qu'ils sont hydrophiles et contribuent à la saveur (certains ont de l'odeur et de la saveur : l'éthanol !). Et il y a ceux qui stimulent le système trigéminal (les piquants, les frais), qui donnent de la couleur, de la consistance... et aussi ceux qui ont une action sur la santé : des biochimistes belges viennent ainsi de découvrir la bioactivité de « bouillons de viande » longuement cuits.

La cuisson est le plus souvent un « traitement thermique en phase aqueuse » : traitement thermique, parce que l'on chauffe ; en phase aqueuse, parce que les tissus animaux et végétaux, qui font l'essentiel de nos aliments, sont principalement faits d'eau. Lorsque la température de cuisson dépasse 100 °C, la partie superficielle des tissus peut former une croûte et être pyrolysée, libérant une série de composés odorants, comme lorsqu'on fait un caramel ; en revanche, à l'intérieur de l'aliment, sous la croûte, la température reste inférieure à 100 °C, et le traitement thermique se fait en phase aqueuse.

Des processus d'hydrolyse (décomposition d'un corps par l'action de l'eau) ont lieu avec ces polymères abondants que sont les protéines ou les polysaccharides. Examinons

d'abord les végétaux, dont les tissus sont des assemblages de cellules, cimentées par la paroi cellulaire. Cette dernière est faite de cellulose, très inerte chimiquement, et de pectines qui, elles, s'hydrolysent, libérant dans le milieu aqueux environnant des « maillons » tels que l'acide galacturonique et divers autres saccharides. Ces petites molécules ont des saveurs, qui enrichissent celle du mets initial !

Dans certains végétaux, l'amidon ajoute sa contribution, comme le montre la vieille expérience de détection des sucres qui fait usage de la « liqueur de Fehling » (un mélange de sulfate de cuivre, de tartrate de sodium et de potassium, et d'hydroxyde de sodium) : avant cuisson, des pâtes dans l'eau laissent ce réactif d'un beau bleu profond, mais après une cuisson de quelques dizaines de minutes, la liqueur de Fehling vire au rouge, révélant la présence du glucose libéré par l'hydrolyse des constituants de l'amidon.

Pour les viandes, le tissu collagénique qui gaine les fibres musculaires des tissus animaux et les regroupe en faisceaux est une sorte de... non-tissé, les fibres de collagène étant associées faiblement. Lors d'une cuisson, elles se séparent et se dissocient dans la solution environnante, libérant d'abord les trois brins qui constituent chaque molécule de la protéine. Surtout, ces brins sont hydrolysés, ce qui libère des fragments de tailles variées, les plus petits étant des acides aminés, souvent très sapides.

Parmi les fragments plus gros figurent des peptides, dont on découvre la bioactivité. À l'Université de Gand, Griet Herregods et ses collègues ont ainsi montré que certains peptides issus de l'hydrolyse du collagène, modi-

fiés par des enzymes telles que nous en avons dans le système digestif, réduisent la tension artérielle. Évidemment, les biochimistes ont alors cherché quels tissus engendrent la plus grande activité biologique et, mieux, quels peptides sont responsables de cette activité. Les peaux de bovins semblent particulièrement actives... mais les cuisiniers doivent laisser de telles matières à la pharmacie !

La cuisine est une « chimie verte ». Des composés comestibles, des traitements en phase aqueuse, aucun solvant organique... L'expérience la plus démonstrative est sans doute celle qui consiste à chauffer pendant une journée l'acide galacturonique, la brique du collagène. Ce composé, une poudre blanche, forme une solution limpide, transparente, incolore ; après chauffage, la solution est d'un brun soutenu, avec un goût puissant ! De même, le chauffage dans l'eau du fructose que l'on peut récupérer par cuisson d'un sirop de sucre (saccharose) engendre, en plus du glucose, de l'hydroxyméthylfurfural. La réaction est longue... mais le composé formé a un goût puissant de caramel.

Cuisons donc longtemps, mijotons, pour notre santé et, surtout, pour notre plaisir. ■



Hervé This est chimiste dans le Groupe INRA de gastronomie moléculaire, professeur à AgroParisTech et directeur scientifique de la Fondation Science & Culture Alimentaire (Académie des sciences).



Retrouvez les articles de Hervé This sur www.pourlascience.fr