

Patterns in Art and Science



Guide

Français
English

**EPFL
Pavilions**

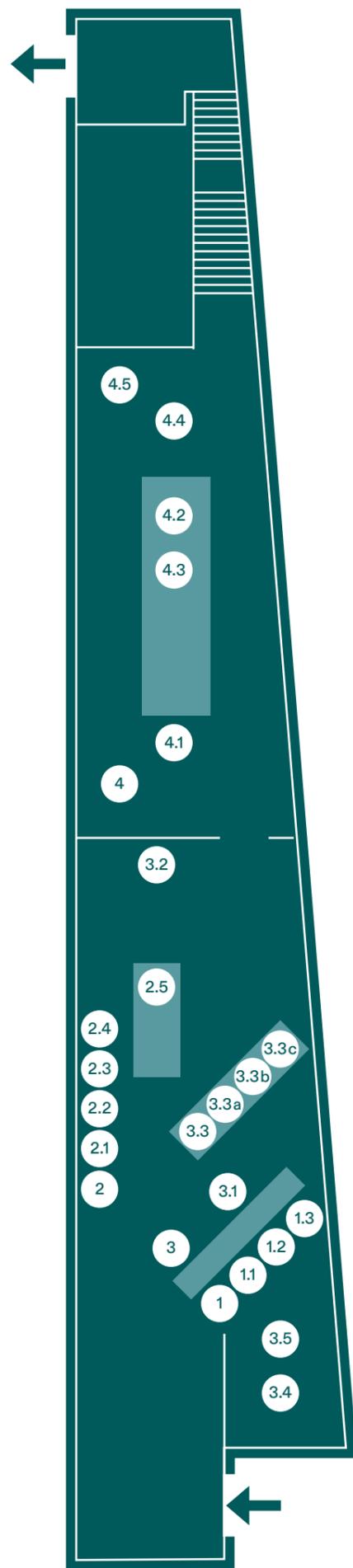
Amplifier for Art,
Science and Society

Lausanne

Pavilion

A

Plan



1	Communautés microbiennes en formation / Patterns in Microbial Communities
1.1	Glace microbienne / Microbial Ice
1.2	Grandir ensemble / Growing Together
1.3	Un Cadeau de survie / A Gift of Survival
2	La Forme des cristaux / Shapes of Crystals
2.1	Pavages cristallographique du graphène / Crystallographic Tiling of Graphene
2.2	Moirés / Moiré Patterns
2.3	Le Papillon de Hofstadter / Hofstadter's Butterfly
2.4	Cristaux & polyèdres chez Escher / Crystals & Polyhedra in Escher's Work
2.5	Cabinet de cristaux / Crystal Cabinet
2.5a	Aigue-marine / Aquamarine
2.5b	Graphite
2.5c	Soufre / Sulfur
2.5d	Pyrite
3	Une Histoire de sphères / A Tale of Spheres
3.1	Empilements de sphères / Sphere Packings
3.1a	Explorer les empilements de sphères / Exploring Sphere Packings
3.1b	Aux racines de E8 / At the Roots of E8
3.2	Echos de la pensée
3.3	Inspiration
3.3a	Strena seu de Nive Sexangula
3.3b	Une médaille Fields pour Maryna Viazovska / A Fields Medal for Maryna Viazovska
3.3c	Le Monde de M.C. Escher / M.C. Escher's World
3.4	Développement 1 (sphère)
3.5	Prototypes pour Aetherocohedron / Prototypes for Aetherocohedron
4	Traces
4.1	Cyclicity
4.2	Shifting Squares
4.3	Life Lines
4.4	Le Huit – Hommage à Marta Pan
4.5	Divisions régulières du plan / Regular Divisions of the Plane

Introduction

Le projet commun de l'art et de la science est de lire le monde, de le raconter et de le recréer. La réalité, dans toute sa multiplicité, se projette sur nos sens, qui en perçoivent les formes, les contours et les ombres. Peu à peu, nous affinons notre acuité et apprenons à observer et à déchiffrer. Notre esprit commence alors à détecter des régularités et des structures. Celles-ci peuvent apparaître comme des motifs stables et immobiles, mais elles peuvent également être dynamiques : émerger ou disparaître, ou se métamorphoser d'un état à un autre. Explorer et observer ces structures est une activité fondamentale partagée par les artistes et les scientifiques ; les ordonner et les classer constitue l'essence même des mathématiques.

L'exposition *Shapes: Patterns in Art and Science* invite le public à découvrir et explorer la richesse remarquable et la subtilité souvent cachée derrière des motifs apparemment simples et répétitifs.

L'exposition met en avant diverses situations issues des mathématiques, de la science des matériaux et de la biologie, où des motifs dynamiques révèlent des structures riches et esthétiquement plaisantes, toutes étroitement liées aux recherches actuelles. Le public est invité à participer, à interagir et à s'exprimer à travers divers supports.

L'exposition se décline en quatre thèmes principaux qui s'entremêlent. *Communautés microbiennes en formation* est une exploration dynamique des communautés bactériennes et des structures complexes qu'elles créent. *La Forme des cristaux* offre une plongée dans la géométrie et la symétrie des structures cristallines. *Une Histoire de sphères* se penche sur la beauté des sphères et la complexité de leurs empilements. Enfin, *Traces* est une invitation à laisser sa marque dans un dialogue collectif et créatif entre art et mathématiques.

Shapes: Patterns in Art and Science présente plusieurs œuvres d'artistes inspirés par les mathématiques. Celles du célèbre artiste néerlandais Maurits Cornelis Escher (1898–1972) jouent magistralement avec l'infini, la symétrie et la perspective. Des œuvres de plusieurs artistes contemporains complètent l'exposition, comme une invitation à fusionner le regard artistique et l'exploration scientifique.

The shared project of art and science is to understand the world, tell its story, and recreate it. In all its multiplicity, reality projects itself onto our senses, revealing shapes, contours, and shadows. Gradually, we refine our perception, learn to observe and decode. Our minds begin to detect regularities and structures, which may appear as stable patterns or dynamic ones, emerging, disappearing, or metamorphosing from one state to another. Observing and exploring these structures is fundamental to both artists and scientists, while organising and classifying them lies at the core of mathematics.

The exhibition *Shapes: Patterns in Art and Science* invites the public to discover the richness and subtlety often hidden behind simple, repetitive patterns.

The exhibition highlights scenarios from mathematics, materials science, and biology, where dynamic patterns reveal rich, aesthetically pleasing structures, closely linked to current research. Visitors are invited to participate, interact, and express themselves through various media.

The exhibition explores four main themes that intertwine. *Patterns in Microbial Communities* offers a dynamic look at bacterial communities and their complex structures. *Shapes of Crystals* is an exploration of the geometry and symmetry of crystalline forms. *A Tale of Spheres* deep-dives into the beauty and complexity of sphere arrangements. Lastly, *Traces* invites visitors to leave their own mark in a collective and creative dialogue between art and mathematics.

Shapes: Patterns in Art and Science also features artworks inspired by mathematics. The illustrations by the renowned Dutch artist Maurits Cornelis Escher (1898–1972), play masterfully with infinity, symmetry, and perspective. The art pieces by contemporary artists complete the exhibition, merging artistic vision and scientific exploration.

Communautés microbiennes en formation

Cette première section de l'exposition plonge le public dans l'univers fascinant des communautés bactériennes, ces groupes de bactéries qui coexistent et grandissent ensemble. Ces micro-organismes sont présents presque partout : dans la terre des champs, sur les plantes ou même dans le corps humain. Ils tissent des liens complexes et peuvent former des structures étonnantes lorsqu'ils colonisent des surfaces.

Les images présentées ici montrent des bactéries fluorescentes se développant dans des boîtes de culture. Leur développement, leurs interactions, ainsi que les motifs qui en résultent, sont suivis grâce à des images prises avec un microscope puis analysées avec des outils informatiques.

Le Laboratoire Schaerli explore ces dynamiques en ayant recours à des communautés synthétiques, c'est-à-dire simplifiées, et comprenant des bactéries génétiquement modifiées pour remplir des fonctions spécifiques. L'équipe travaille en particulier sur des bactéries qui s'entraident pour prospérer, échangeant des nutriments indispensables à leur survie ou du matériel génétique pour résister aux antibiotiques.

Ces images ne sont pas seulement des illustrations scientifiques ; elles révèlent également la beauté cachée d'un monde microscopique, invitant tout à chacun à apprécier l'harmonie et la complexité des relations bactériennes.

Patterns in Microbial Communities

In this section, the public deep-dives into the fascinating world of bacterial communities, meaning groups of bacteria that co-exist and grow together. They can be found almost everywhere: in the soil of fields, on plants and even in the human body. These microorganisms build complex relationships and can create astonishing structures when they colonise surfaces.

The images shown here depict fluorescent bacteria growing in a culture dish. Their development, interactions and resulting patterns are followed by taking pictures with a microscope and analysed with informatics tools.

The Schaerli Laboratory explores these relationships using synthetic communities, meaning simplified ones, made of genetically modified bacteria to fill in specific functions. The team especially works on bacteria that help each other to grow, by exchanging either essential nutrients for their survival or genetic material for antibiotic resistance.

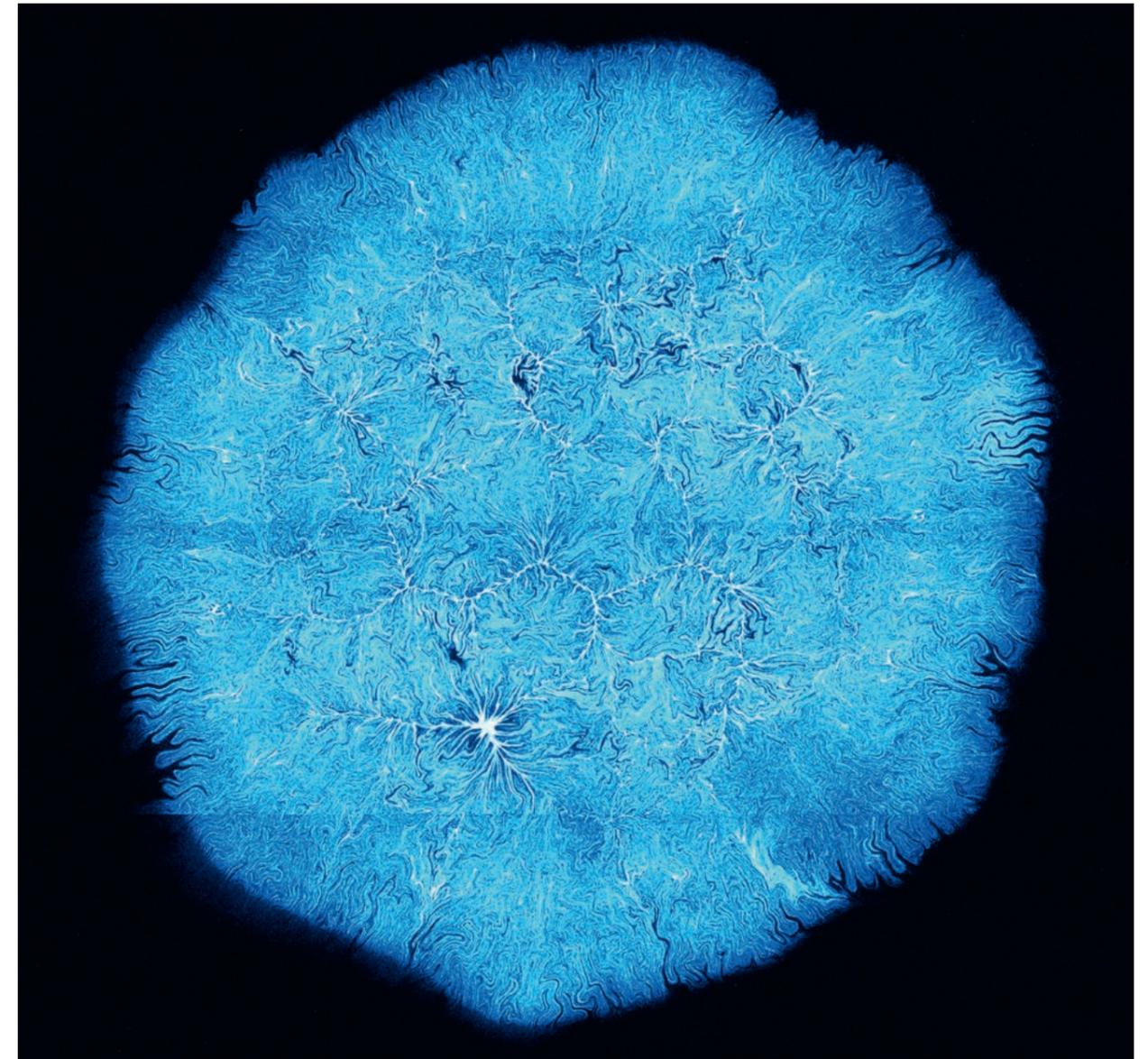
These images are not just scientific illustrations; they reveal the hidden beauty of a microscopic world, inviting each and every one to appreciate the harmony and the complexity of bacterial relationships.

Glace microbienne

Photo prise au microscope par Estelle Pignon, Laboratoire de Yolanda Schaerli, Département de microbiologie fondamentale, Université de Lausanne & PRN Microbiomes.

Microbial Ice

Photo taken with a microscope by Estelle Pignon, Laboratory led by Yolanda Schaerli, Fundamental Microbiology Department, University of Lausanne & NCCR Microbiomes.



Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Estelle Pignon.

Cette image prise au microscope représente un seul membre d'une co-culture de *Escherichia coli* échangeant des acides aminés. Le poème suivant donne une explication lyrique de ce phénomène :

Dans les profondeurs du regard microscopique,
Un chant microbien, une symphonie métabolique.
Deux bactéries, comme des cristaux sous la neige,
Échangent leurs nutriments, en un ballet mystère.
Elles murmurent des secrets en un chant
biochimique,
Unies par des fils invisibles, en un lien organique.
Pour s'épanouir ensemble, dans ce monde si petit,
Dans cette unité invisible où elles se sont définies.
Dans cet univers minuscule où leurs destins se
croisent,
Elles nous offrent une leçon, une vérité courtoise.
Que l'unité et le partage, dans cet espace si
restreint,
Créent un chef-d'œuvre, une étreinte sans fin.

This image taken by a microscope shows a single member of a co-culture of *Escherichia coli* exchanging amino acids. The following poem offers a lyrical explanation of this phenomenon:

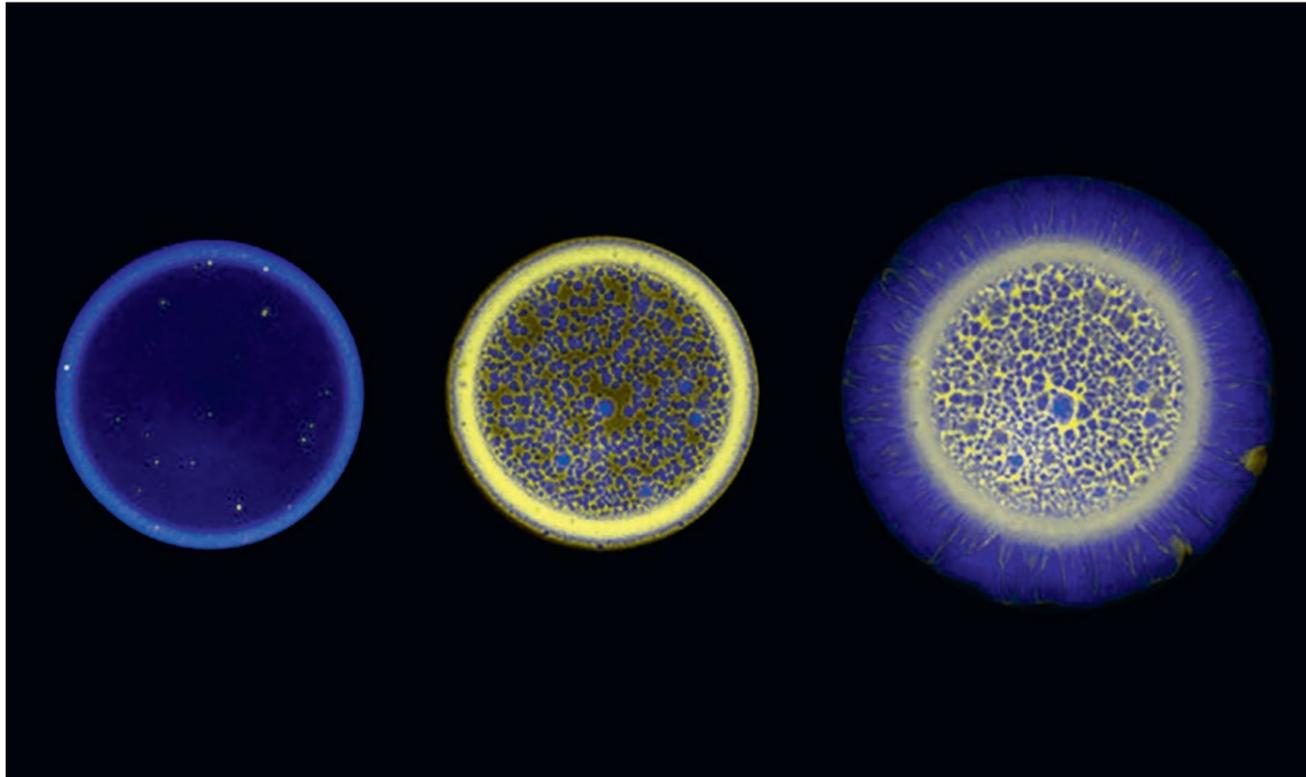
In the depths of the microscopic sight,
A microbial song, a symphony of light.
Two bacteria organised like crystals in the snow,
Exchanging metabolites, a dance only they know.
They whisper secrets in a biochemical song,
Invisible threads, where they both belong.
To flourish together, in a world so small,
Invisible unity, a microscopic protocol.
In this tiny world where their stories entwine,
They teach us a lesson, a truth so divine.
That unity and sharing, in the tiniest of space,
Can create a masterpiece, a microbial embrace.

Grandir ensemble

Photo prise au microscope par Estelle Pignon, Laboratoire de Yolanda Schaerli, Département de microbiologie fondamentale, Université de Lausanne & PRN Microbiomes.

Growing Together

Photo taken with a microscope by Estelle Pignon, Laboratory led by Yolanda Schaerli, Fundamental Microbiology Department, University of Lausanne & NCCR Microbiomes.



Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Estelle Pignon.

Cette image est un time-lapse d'une co-culture de *Escherichia coli* échangeant des acides aminés. Elle dévoile une communauté bactérienne, où deux membres – l'un en jaune, l'autre en bleu – s'unissent pour grandir ensemble. À travers trois étapes de croissance (jours 1, 3 et 6 de gauche à droite), leur relation évolue, nourrie par un échange vital de nutriments.

Chaque bactérie joue un rôle unique, produisant ce que l'autre consomme. Leurs échanges métaboliques produisent des formes délicates, témoignant d'une grande harmonie. Sans cette coopération, elles ne pourraient survivre seules. Ensemble, elles tissent un réseau fragile mais essentiel, où chaque molécule partagée devient une clé de leur survie.

This image is a time-lapse of a co-culture of *Escherichia coli* exchanging amino acids. It reveals a bacterial community where two of its members – one in yellow, the other in blue – unite to grow together. Through a three-step growing process (days 1, 3 and 6, from left to right), their relationship evolves, nourished by a vital exchange of nutrients.

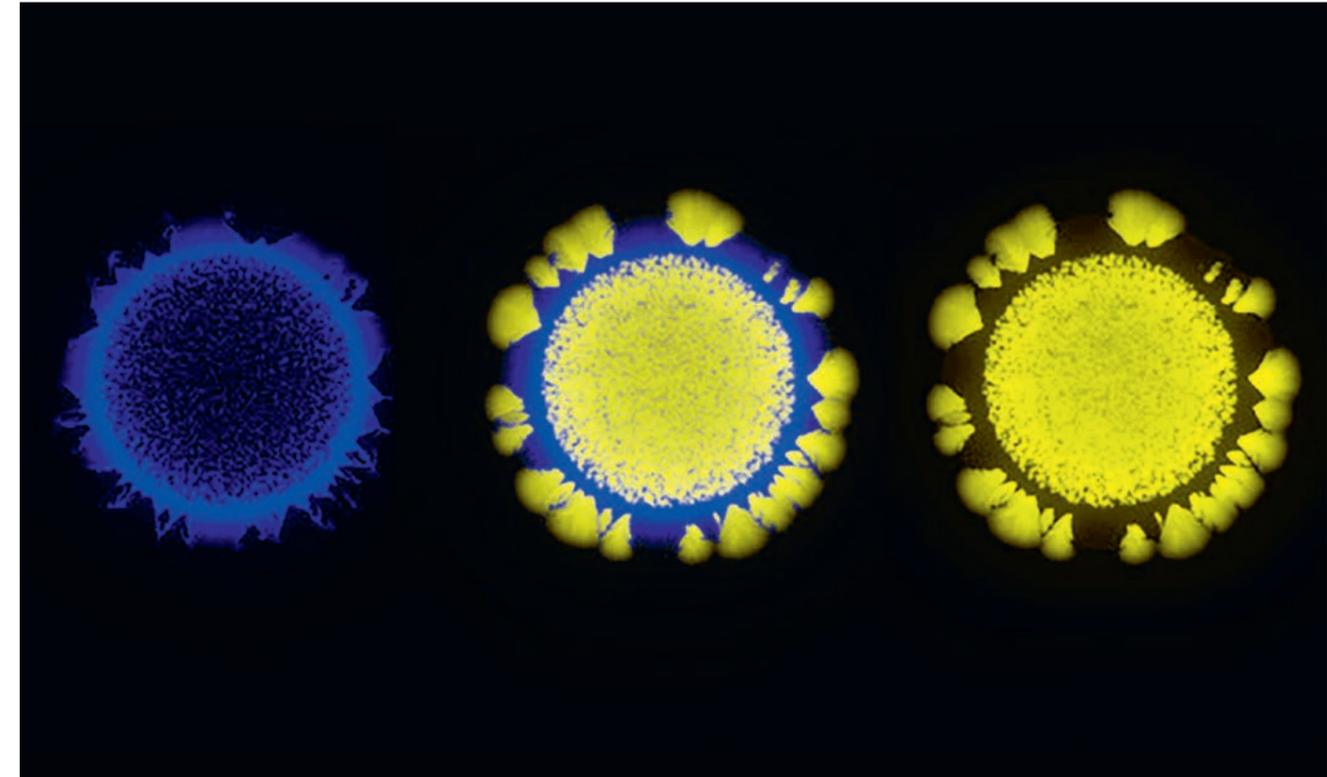
Each bacterium plays a unique role, producing what the other one consumes. Their metabolic exchanges create delicate forms, demonstrating great harmony. Without this cooperation, neither one can survive. Together, they build a fragile but essential network whereby each shared molecule is key to their survival.

Un Cadeau de survie

Photo prise au microscope par Estelle Pignon & Astri Kusumawardhani, Laboratoire de Yolanda Schaerli, Département de microbiologie fondamentale, Université de Lausanne & PRN Microbiomes. Avec la contribution scientifique d'Astri Kusumawardhani.

A Gift of Survival

Photo taken with a microscope by Estelle Pignon & Astri Kusumawardhani, Laboratory led by Yolanda Schaerli, Fundamental Microbiology Department, University of Lausanne & NCCR Microbiomes. With the scientific contribution of Astri Kusumawardhani.



Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Estelle Pignon & Astri Kusumawardhani.

Cette image illustre une communauté bactérienne d'*Escherichia coli* dans un environnement contenant un antibiotique mortel, l'ampicilline. Pour résister à cette molécule, les bactéries ont besoin d'un gène spécifique. L'image montre notamment le transfert du gène de résistance à l'ampicilline.

Un membre de la communauté, en bleu, possède la première moitié du gène et l'autre, en jaune, la deuxième moitié. L'équilibre de cette relation repose sur la capacité de la bactérie bleue à transférer ce fragment d'ADN à sa voisine. Après l'avoir reçu, la bactérie jaune est capable de construire le gène complet et ainsi devenir résistante à l'antibiotique et s'étendre dans l'environnement. En faisant ceci, elles dégradent l'antibiotique autour d'elles, ce qui permet aux bactéries bleues de survivre à proximité.

A gauche seules les bactéries bleues sont montrées, à droite seules les jaunes et, au centre, les deux images sont superposées.

This image illustrates a bacterial community of *Escherichia coli* within an environment that contains a mortal antibiotic, ampicillin. To resist this molecule, the bacteria need a specific gene. The image shows in particular the transfer of the resistant gene to ampicillin.

A member of the community, in blue, owns half of that gene. The yellow one owns the other half. The balance of this relationship relies on the blue bacterium's capacity to transfer that DNA fragment to its neighbour. Once received, the yellow bacterium is able to build a complete gene, thus becoming resistant to the antibiotic and expanding in the environment. By doing so, the yellow bacteria degrade the antibiotic surrounding them, allowing the blue bacteria to survive.

The image on the left shows the blue bacteria only, while the one on the right shows the yellow bacteria. The central image is a superimposition of both.

La Forme des cristaux

Depuis l'Antiquité, les humains sont fascinés par les structures régulières de minéraux trouvés dans la nature. Mais pourquoi seuls certains matériaux présentent de telles structures cristallines régulières et pas d'autres ? En outre, pourquoi certaines formes, telles que les cubes et les hexagones, sont prépondérantes dans la nature et d'autres quasiment absentes ?

Le domaine de la cristallographie a émergé aux XIXe et XXe siècles pour tenter de répondre à ces interrogations et a découvert que la forme régulière des cristaux est en fait due à la disposition de leurs atomes selon des motifs périodiques. Les propriétés physiques à échelle macroscopique sont une conséquence directe de la disposition atomique à l'échelle microscopique. Par exemple, le diamant et le graphite sont tous deux des matériaux cristallins constitués uniquement de carbone. En revanche, leurs arrangements atomiques diffèrent ; alors que le diamant est dur et transparent, le graphite est mou et noir.

Les dispositions atomiques peuvent également être reliées à des résultats mathématiques en géométrie, à l'instar du problème de l'empilement des sphères, dont il est aussi question dans cette exposition. L'exploration fondamentale des liens entre mathématiques et physique demeure un aspect crucial dans la recherche actuelle en science des matériaux, particulièrement la recherche de matériaux pour de nouveaux dispositifs de communication ou pour ordinateurs quantiques.

Shapes of Crystals

Since ancient times, humans have been fascinated with the regular structures of naturally occurring minerals. But why do only some materials exhibit such regular crystalline structures? Moreover, why are some shapes like cubes or hexagons preferred by nature while others are almost absent?

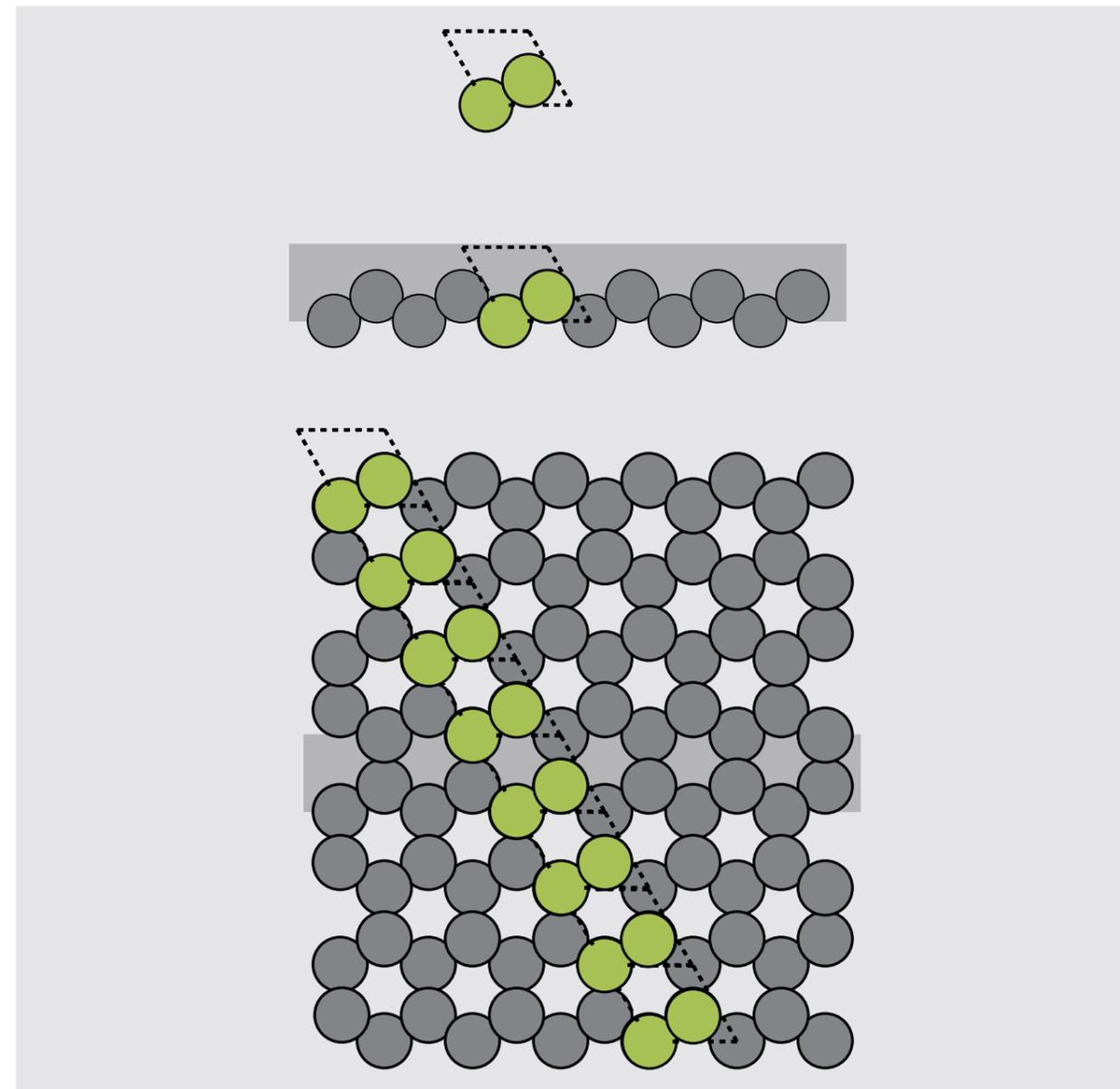
The scientific field of crystallography emerged in the 19th and 20th centuries to answer such questions and discovered that the regular shape of crystals is in fact due to an arrangement of their atoms in periodic patterns. Additionally, the physical properties at the macroscale are a direct consequence of the atomic pattern at the microscale. For example, both diamonds and graphite are two crystalline materials of carbon. However, their atomic arrangement differs and while diamond is hard and transparent, graphite is soft and black. Atomic patterns can also be linked to mathematical results in geometry, such as the problem of sphere packing, which is also discussed in this exhibition. Exploring such fundamental links between mathematics and physics remains a crucial research direction in contemporary materials science, especially in finding materials for novel communication devices or quantum computers.

Pavage cristallographique du graphène

2024
Image numérique, imprimée.
Réalisée par Michael Herbst, Institut de Mathématiques & Institut des Matériaux, EPFL

Crystallographic Tiling of Graphene

2024
Digital image, printed.
Created by Michael Herbst, Institute of Mathematics & Institute of Materials EPFL



Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Michael Herbst.

Cette séquence d'images montre comment le graphène – une couche hexagonale en nid d'abeille de carbone – peut être construit par répétition périodique de la maille cristallographique constituée seulement de deux atomes de carbone. L'image du haut montre la maille en forme de losange, dont les deux atomes de carbone sont visibles en jaune. La maille est tout d'abord répétée de manière périodique, de droite à gauche pour former une ligne (image du centre). Les lignes sont ensuite répétées et arrangées de manière à ce que les mailles des lignes adjacentes se touchent au niveau des sommets supérieurs et inférieurs des losanges. Ce processus permet d'obtenir un pavage complet du plan (image du bas) sous la forme du réseau hexagonal d'atomes de carbone du graphène.

This sequence of images demonstrates how graphene, a hexagonal honeycomb layer of carbon, can be constructed by periodically repeating its unit cell, consisting of only two carbon atoms. The topmost image shows the rhombus-shaped unit cell with two atoms of carbon highlighted in yellow towards the bottom part of the cell. The rhombus-shaped unit cell is first periodically repeated from right to left to create one line (middle image). Multiple lines of cells are thus created and arranged such that the unit cells of adjacent lines touch at the top and bottom ends of the rhombus. With this process we obtain a full tiling of the plane (bottom image) in the form of the hexagonal carbon lattice of graphene.

Moirés

2024

Images numériques, imprimées.

Image 1: Michael Herbst.

Image 2: Michael Herbst, modifiée à partir de Wikipedia (Moiré de graphène bicouche torsadé). Sous la licence Attribution Sharealike 4.0 International.

Image 3: Michael Herbst, modifiée à partir de Wikipedia (Moiré de graphène moiré). Sous la licence Attribution Sharealike 4.0 International.

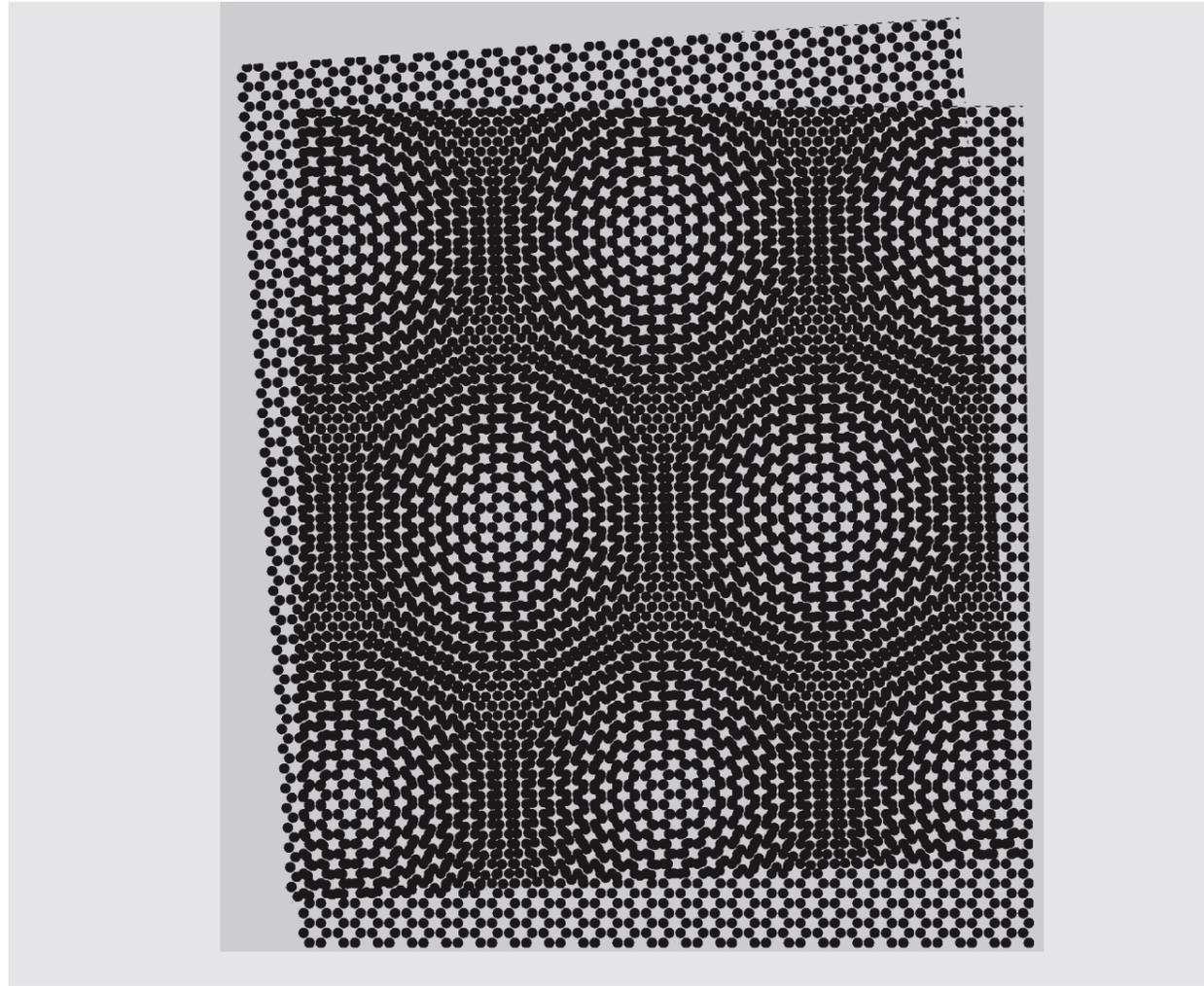


Image 2. Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Michael Herbst.

Les moirés sont des structures répétitives à grande échelle qui apparaissent lorsque deux motifs plus petits presque identiques se superposent. L'échelle des moirés peut être de plusieurs ordres de grandeur supérieure à la taille des petits motifs. Lorsque des moirés se forment dans des matériaux, leurs propriétés se modifient considérablement. Le domaine émergent de la « twistronique » explore les propriétés électroniques inhabituelles de tels matériaux moirés formés par l'empilement de couches monoatomiques (comme le graphène) en contrôlant soigneusement l'angle entre elles. Les trois images présentent différents exemples de moirés. En premier, deux séries de lignes parallèles, l'une inclinée d'un petit angle par rapport à l'autre. Puis deux couches de graphène, avec leurs structures en nid d'abeille, légèrement tournées l'une par rapport à l'autre. Finalement, un motif obtenu lors du dépôt d'une couche de graphène sur une surface d'iridium métallique, qui présente elle aussi des motifs hexagonaux, mais de taille différente.

Moiré Patterns

2024

Digital images, printed.

Image 1: Michael Herbst.

Image 2: Michael Herbst, modified from Wikipedia (Moiré of twisted bilayer graphene). Under the Attribution Sharealike 4.0 International License.

Image 3: Michael Herbst, modified from Wikipedia (Graphene moiré). Under the Attribution Sharealike 4.0 International License.

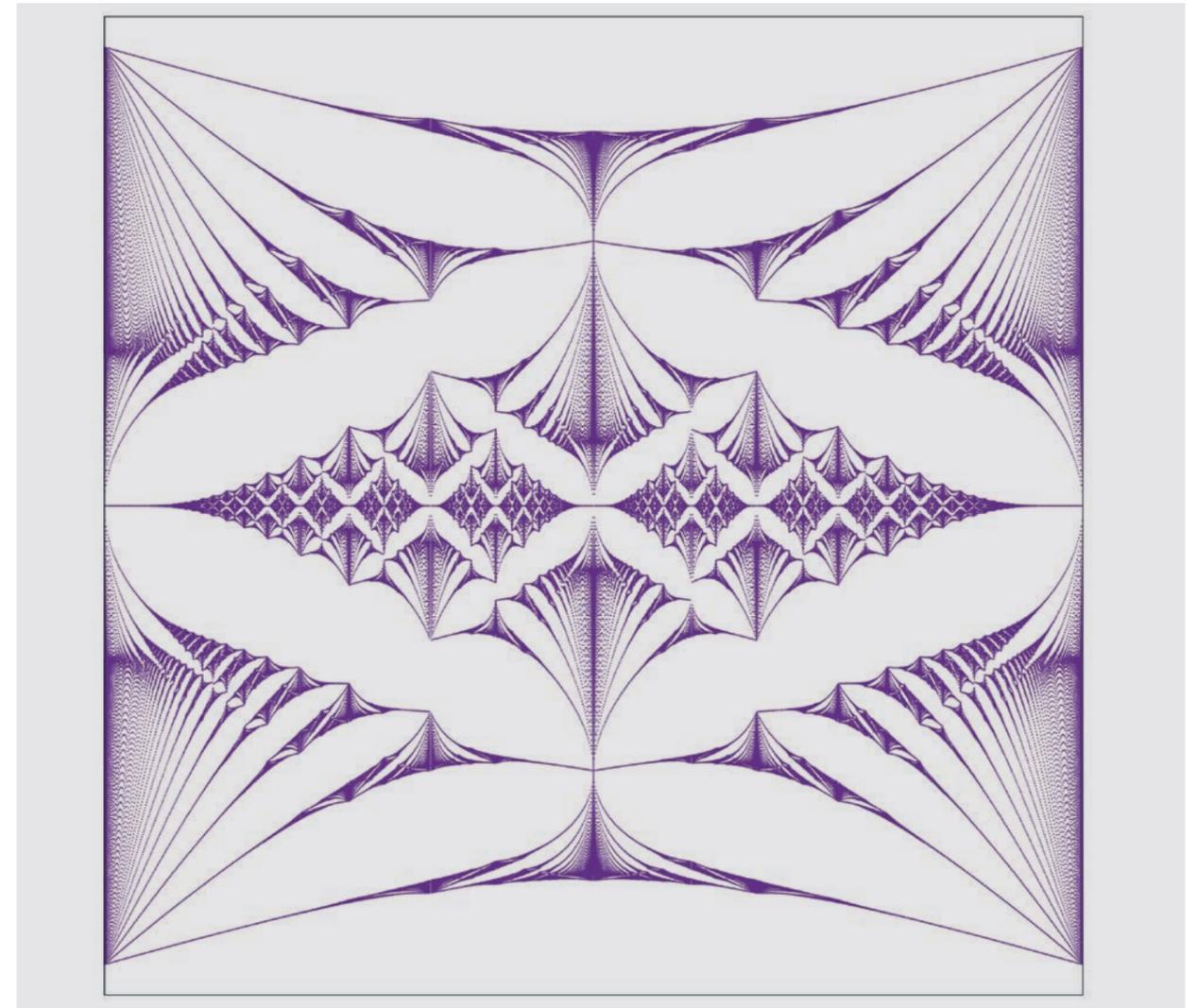
Moiré patterns are large-scale repetitive structures, which arise when two almost identical smaller-scale patterns overlap. The scale of Moiré patterns can be orders of magnitude larger than the size of these smaller-scale patterns. This notably alters the properties of the concerned materials as Moiré patterns form. The recent field of "twistronics" explores the unusual electronic properties of Moiré materials which are formed by stacking single-atomic layers (like graphene) on top of each other while carefully controlling their respective twisting angle. The following three images display different examples of Moiré patterns.

First, two sets of parallel lines, one twisted by a small angle compared to the other. Second, two twisted honeycomb layers of graphene. Third, a pattern arising from depositing a graphene layer on a surface of the metal iridium, which also features hexagonal patterns albeit with different sizes.

Le papillon de Hofstadter

Image imprimée.

Image réalisée par Yifei Guan, Chaire de Physique numérique de la matière condensée, C3MP, dirigée par Oleg Yazyev, Institut de Physique, EPFL.



Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Yifei Guan.

Le papillon de Hofstadter représente les états d'énergie d'un électron piégé sur une feuille de graphène à différentes intensités de champ magnétique. Son inventeur, Douglas Hofstadter, était fasciné par la structure remarquable de cette image, dont les motifs identiques se répètent à l'infini. Dans son article publié en 1976 dans Physical Reviews B, il explique que « les grands trous [dans l'image] forment un motif très frappant qui ressemble quelque peu à un papillon », d'où l'expression « papillon de Hofstadter ». La forme de ces papillons ne peut être expliquée qu'en combinant les connaissances de la physique quantique avec des outils des mathématiques pures, impliquant des domaines tels que la topologie, la géométrie et la théorie des nombres. Il s'avère que ce lien entre les mathématiques et la physique continue de jouer un rôle déterminant dans la recherche contemporaine en physique de la matière condensée, étroitement lié à de nombreuses applications émergentes, comme l'informatique quantique.

Hofstadter's Butterfly

Large-scale print.

Image produced by Yifei Guan, Chair of Computational Condensed Matter Physics, C3MP, led by Oleg Yazyev, Institute of Physics, EPFL.

Hofstadter's Butterfly depicts the energetic states of an electron when trapped on a graphene sheet at various magnetic field strengths. Its discoverer, Douglas Hofstadter, has been fascinated by the remarkable structure of this image with identical patterns repeating themselves over and over. In his 1976 paper published in Physical Reviews B, he explained that "the large gaps [in the image] form a very striking pattern somewhat resembling a butterfly", thus coining the term Hofstadter's Butterfly. The shape of such butterflies can only be explained by combining insights from quantum physics with tools from pure mathematics, touching fields such as topology, geometry and number theory. As it turns out this connection between mathematics and physics continues to play an instrumental role in contemporary research in condensed matter physics closely related to many emerging applications, such as quantum computing.

Cristaux et polyèdres chez Escher

Crystals and Polyhedra in Escher's Work

« Très longtemps avant l'apparition de l'homme sur terre, des cristaux s'étaient déjà formés dans la croûte terrestre. Un beau jour, l'homme vit pour la première fois un tel morceau à formes régulières, ou bien il le heurta avec sa pioche en pierre, le morceau se brisa et tomba devant ses pieds, puis il le ramassa, le regarda dans sa main ouverte et s'étonna.

Il y a quelque chose qui vous coupe le souffle au contact de telles lois. Il ne s'agit pas, ici, de découvertes ou de créations de l'esprit humain, cela < existe > et < est >, tout à fait indépendamment de nous. Dans un moment de lucidité, l'homme peut tout au plus découvrir que cela existe et s'en rendre compte. »

M.C. Escher, 1959

“Long before the appearance of man on Earth, crystals had already formed in the Earth's crust. One fine day, man saw for the first time such a piece with regular shapes, or perhaps he struck it with his stone pickaxe, the piece broke and fell at his feet. He picked it up, looked at it in his open hand, and was amazed.

There is something breathtaking about encountering such laws. This is not about discoveries or creations of the human mind; it 'exists' and 'is', completely independent of us. In a moment of lucidity, man can at most discover that it exists and become aware of it.”

M.C. Escher, 1959

Dans cette citation, Escher exprime sa fascination pour la régularité des formes géométriques que l'on observe dans les cristaux, où apparaissent les polyèdres réguliers de Platon et les polyèdres semi-réguliers d'Archimède. À ces figures géométriques connues depuis l'Antiquité s'ajoutent quatre polyèdres réguliers étoilés, découverts par Johannes Kepler et par le mathématicien français Louis Poinsot.

S'inscrivant dans la lignée des grands maîtres comme Léonard de Vinci, Albrecht Dürer et Johannes Kepler, M.C. Escher a exploré ces structures géométriques fascinantes, les intégrant dans plusieurs de ses gravures emblématiques. À travers ces œuvres, Escher célèbre l'harmonie entre l'art, les mathématiques et les lois universelles qui régissent la nature.

In this quote, Escher expresses his deep fascination with the regularity of geometric forms found in crystals, which include the regular polyhedra of Plato and the semi-regular polyhedra of Archimedes. To these shapes, known since antiquity, are added the four regular star polyhedra, discovered by Johannes Kepler and the French mathematician Louis Poinsot.

Following in the tradition of great masters such as Leonardo da Vinci, Albrecht Dürer, and Johannes Kepler, M.C. Escher skilfully explored these captivating geometric structures, incorporating them into several of his iconic engravings. Through these works, Escher celebrates the timeless harmony between art, mathematics, and the universal laws that underpin nature.

Cabinet de cristaux

Crystal Cabinet

2.5a

Aigue-marine

Collection du Département de géologie, Muséum cantonal des sciences naturelles (Naturéum).

Cristal hexagonal naturel de béryl aigue-marine

131 millions d'années
Cristal bleu clair de béryl, un aluminosilicate de béryllium, associé à un cristal de tourmaline noire, 5 × 4 × 2 cm, 41.32 g.
Monts Erongo, circonscription de Karibib, Erongo, Namibie.

Cristal en forme de prisme hexagonal de béryl aigue-marine

32 millions d'années
Prisme hexagonal bleu clair sur matrice de pegmatite, 10.5 × 5 × 7 cm, 242.82 g.
Rio Graia, Trontano, Ossola, Piémont, Italie.

Cristaux en prismes hexagonaux de béryl aigue-marine

Groupe de cristaux de béryl aigue-marine bleu clair, associés à des prismes de schörl noir sur feldspath beige. 6 × 5 × 4 cm, 41.50 g.
Monts Erongo, circonscription de Karibib, Erongo, Namibie.

© Photos Stefan Ansermet, Muséum cantonal de sciences naturelles (Naturéum) - Département de géologie, Lausanne.



L'aigue-marine est un parfait exemple d'un cristal hexagonal macroscopique, issu d'un motif hexagonal périodique à l'échelle atomique. Dans le cas présent, la maille cristalline qui se répète présente un arrangement hexagonal complexe à l'échelle atomique : 3 atomes de béryllium, 2 atomes d'aluminium, 6 atomes de silicium et 18 atomes d'oxygène. Une visualisation interactive de la structure atomique est à découvrir dans l'écran ci-contre.

Certains défauts, c'est-à-dire des aberrations par rapport à la maille répétitive parfaite, impliquent des atomes de fer, donnant à l'aigue-marine sa couleur bleu clair. L'aigue-marine appartient à la famille des béryls, des pierres précieuses aux couleurs variées, telles que le vert (émeraude), le bleu, le rouge, le rose ou le jaune. Ces pierres présentent toutes les mêmes motifs hexagonaux à l'échelle atomique et les mêmes cristaux hexagonaux, mais des défauts impliquant des traces d'autres atomes sont à l'origine des changements de couleur.

Aquamarine

Collection of the Department of Geology, Cantonal Museum of Natural Sciences (Naturéum).

Natural Aquamarine Beryl Hexagonal Crystal

131 million years old
Light blue beryl crystal, a beryllium aluminosilicate, combined with a tourmaline crystal, 5 × 4 × 2 cm, 41.32 g.
Erongo Mountains, Karibib district, Erongo, Namibia.

Hexagonal Prism-Shaped Aquamarine Beryl Crystal

32 million years old
Light blue hexagonal prism on pegmatite matrix, 10.5 × 5 × 7 cm, 242.82 g.
Rio Graia, Trontano, Ossola, Piedmont, Italy.

Hexagonal Prisms of Aquamarine Beryl

131 million years old
Group of light blue aquamarine beryl crystals, associated with black schörl prisms on beige feldspar. 6 × 5 × 4 cm, 41.50 g.
Erongo Mountains, Karibib district, Erongo, Namibia.



Aquamarine is a prime example for a macroscopic hexagonal crystal arising from a periodic hexagonal pattern at the atomic scale. In this case, the repetitive unit features a complex hexagonal arrangement of 3 atoms of beryllium, 2 atoms of aluminium, 6 atoms of silicon and 18 atoms of oxygen. An interactive visualisation of this atomic structure is shown on the screen opposite.

Some defects, i.e. aberrations from the perfect repetitive unit, involve iron atoms, which gives aquamarine its soft blue colour. Aquamarine belongs to the beryl family of gemstones with rich colours such as green (emerald), blue, red, rose or yellow. These all feature the same hexagonal atomic patterns and hexagonal crystals, but defects involving small amounts of other atoms give rise to the change of colour.

2.5b

Graphite naturel en cristaux lamellaires

2.5 milliards d'années
Cristaux lamellaires de graphite pur, 15 × 12 × 8 cm, 1'156 g.
Ratnapura, Sri Lanka
Collection du Département de géologie, Muséum cantonal des sciences naturelles (Naturéum).

Natural Graphite in Lamellar Crystals

2.5 billion years old
Flaky crystals of pure graphite, 15 × 12 × 8 cm, 1'156 g.
Ratnapura, Sri Lanka.
Collection of the Department of Geology, Cantonal Museum of Natural Sciences (Naturéum).



© Photo Stefan Ansermet, Muséum cantonal de sciences naturelles (Naturéum) - Département de géologie, Lausanne

La structure du graphite est faite de couches de graphène, la forme naturelle hexagonale en nid d'abeille du carbone. Sur l'écran ci-contre est présentée une visualisation interactive de la structure atomique du graphite.

Bien que les atomes soient fortement liés dans les couches en nid d'abeille de graphène, les couches peuvent aisément se séparer les unes des autres. C'est ainsi que fonctionne une mine de crayon. Lorsque le crayon glisse sur du papier, de fines couches de graphène y sont déposées. Comme les couches de graphène sont si facilement séparables, le graphite exposé ne présente pas un ordre cristallin très homogène. On y reconnaît des zones ordonnées où une face cristalline brillante s'étend sur plusieurs centimètres, et des zones de désordre plus important où l'orientation des faces cristallines change de façon plus nette. On peut ainsi expliquer la forme macroscopique par l'arrangement des atomes à l'échelle microscopique.

The structure of graphite consists of stacked layers of graphene, the naturally hexagonal honeycombs of carbon. The screen on the side shows an interactive visualisation of the graphite atomic structure.

While the atoms are tightly bound within the graphene honeycombs themselves, layers can easily separate from each other. This is the basic principle of everyday pencils: as the pencil slides over paper, a few layers of graphene are deposited on the sheet. Since graphene layers are so easily separable, the graphite lump does not feature a homogeneous crystalline order. Much rather one recognises both ordered areas where a shiny crystalline face persists over multiple centimeters as well as areas of larger disorder where the orientation of crystal faces change more vividly. Thus, the macroscopic shape can be explained by the arrangement of atoms at the microscale.

2.5c

Bloc de soufre avec faces fenestrées

Entre 5.9 et 5.3 millions d'années
Groupe de cristaux centimétriques jaune, 25 × 20 × 13 cm, 4'177 g.
Province d'Agrigente, Sicile, Italie.
Collection du Département de géologie, Muséum cantonal de sciences naturelles (Naturéum).

Block of Sulfur with Fenestrated Sides

Between 5.9 and 5.3 million years old
Group of yellow centimetric crystals, 25 × 20 × 13 cm, 4'177 g.
Province of Agrigento, Sicily, Italy.
Collection of the Department of Geology, Cantonal Museum of Natural Sciences (Naturéum).



© Photo Stefan Ansermet, Muséum cantonal de sciences naturelles (Naturéum) - Département de géologie, Lausanne

Le soufre est facilement reconnaissable à sa couleur jaune vif. Sa structure est constituée de 8 atomes en forme d'anneaux, eux-mêmes empilés de manière ordonnée (voir l'écran ci-contre). Le soufre est un élément pour lequel on connaît nombre d'allotropes naturels. Chacun d'eux possède son arrangement atomique spécifique, qui lui confère des propriétés mécaniques et chimiques différentes. Certains sont souples et mous comme du chewing-gum, d'autres ont une structure cristalline régulière, comme le spécimen exposé.

Sulfur is easily recognisable by its bright yellow colour. Its structure is made of 8 atoms in the shape of rings, which are themselves stacked in an order fashion (see the screen on the side). Sulfur is one of the elements for which a plethora of natural allotropes are known. Each of these have their own specific atomic arrangement, giving rise to different mechanical and chemical properties. Some are soft and squishy as gum, others have a regular crystalline structure, such as the specimen on display.

Cristaux de pyrite

Collection du Département de géologie, Muséum cantonal des sciences naturelles (Naturéum).

Cristaux cubiques naturels de pyrite dorée sur matrice de calcaire

Entre 108 et 86 millions d'années
Cristaux cubiques de pyrite, un di-sulfure de fer, associé à de la cookéite blanche, un aluminosilicate de lithium dans une roche calcaire, 6 × 13 × 10 cm, 1'120 g.
Mina Ampliación a Victoria, Navajún, La Rioja, Espagne.

Cristaux octaédriques naturels de pyrite sur une matrice de magnétite

35 millions d'années
Groupe de cristaux centimétriques octaédriques, associé à de la magnétite, 15 × 10 × 6 cm, 1'225.56 g.
Brosso, Calea, Lessolo, district de Canavese, Turin, Piémont, Italie.

Cristaux cubiques naturels de pyrite

6 millions d'années
Groupe de cristaux à la surface striée, jaune doré pâle, 11 × 8 × 7 cm, 1'110.30 g.
Miniera di Niccioleta, Massa Marittima, Grosseto, Toscane, Italie.

Cube naturel de cristal de pyrite

Entre 108 et 86 millions d'années
Cube naturel de pyrite avec stries de croissance en escaliers, associé à de la cookéite, 3.2 cm³, 51.22 g.
Mina Ampliación a Victoria, Navajún, La Rioja, Espagne.

Modèle de la structure cristalline de la pyrite

Représentation idéale de la structure cristalline de la pyrite. Bois, acier, peinture, 18 × 18 × 18 cm.
Leybold, Hürth, Allemagne, 1953.

Pyrite Crystals

Collection of the Department of Geology, Cantonal Museum of Natural Sciences (Naturéum).

Natural Golden-Coloured Cubic Crystals of Pyrite on a Limestone Matrix

Between 108 and 86 million years old
Cubic crystals of pyrite, an iron di-sulphide, associated with white cookéite, a lithium aluminosilicate in limestone, 6 × 13 × 10 cm, 1'120 g.
Mina Ampliación a Victoria, Navajún, La Rioja, Spain.

Natural Octahedral Pyrite Crystals on a Magnetite Matrix

35 million years old
Group of octahedral centimetric crystals, associated with magnetite, 15 × 10 × 6 cm, 1'225.56 g.
Brosso, Calea, Lessolo, district of Canavese, Turin, Piedmont, Italy.

Natural Cubic Pyrite Crystals

6 million years old
Group of crystals with striated surface, pale golden yellow, 11 × 8 × 7 cm, 1'110.30 g.
Miniera di Niccioleta, Massa Marittima, Grosseto, Tuscany, Italy.

Natural Cube of Pyrite Crystal

Between 108 and 86 million years old
Natural cube of pyrite with stries of staircase growth, associated with cookéite, 3.2 cm³, 51.22 g.
Mina Ampliación in Victoria, Navajún, La Rioja, Spain.

Model of the Crystalline Structure of Pyrite

Ideal representation of the crystal structure of pyrite.
Wood, steel, paint, 18 × 18 × 18 cm, 227 g.
Leybold, Hürth, Germany, 1953



© Photo Stéfan Ansermet, Muséum cantonal de sciences naturelles (Naturéum) - Département de géologie, Lausanne

La pyrite est un minéral surnommé « l'or des fous » en raison de sa couleur dorée, bien qu'il ne contienne aucun atome d'or. Dans les faits, la pyrite est composée uniquement de fer et de soufre. Le modèle présente les atomes de fer en couleur argentée et les atomes de soufre en jaune. La maille cristalline de la pyrite est également représentée par des fils rouges, créant un cube parfait. La pyrite est un exemple de système cristallin cubique et, par conséquent, la plupart des cristaux naturels sont également de forme cubique. Toutefois, de légères modifications des conditions lors de la formation du cristal peuvent donner lieu à une variété d'autres formes, telles que des cristaux octaédriques ou dodécaédriques.

Pyrite is a mineral also known as "fool's gold" due to its golden colour, despite not containing any gold atoms at all. In fact, the mineral contains only iron and sulphur. In the model, iron atoms are represented in metallic and the sulphur atoms in yellow. The periodic repeat unit of pyrite is also indicated by red strings, making up a perfect cube. Pyrite is an example for a cubic crystal system and as a result most natural crystals are also cuboid. However, small modifications in the conditions during the formation of the crystal can give rise to a variety of other shapes, such as octahedral or dodecahedral crystals.

Une Histoire de sphères

La sphère, et sa symétrie parfaite, a captivé scientifiques et artistes à travers les siècles. Dans la cosmologie antique, l'univers était pensé comme une série de sphères concentriques entourant la Terre. À une échelle microscopique, le chimiste John Dalton (1766–1844) considérait que l'élément fondamental de la matière, l'atome, avait une forme sphérique.

En 1611, l'astronome allemand Johannes Kepler (1571–1630) a abordé une question simple mais profonde : quelle est la manière la plus efficace de disposer des sphères identiques dans un espace tridimensionnel ? Cette question et ses généralisations ont de nombreuses implications, allant de la cristallographie et la science des matériaux, à la transmission de données.

Cette partie de l'exposition explore la beauté des sphères et la complexité de leurs empilements. Des animations interactives révèlent la structure intime des empilements denses de sphères ainsi que la structure du réseau E8, une structure en dimension 8 dotée de très riches symétries. Une œuvre d'art, inspirée par les travaux de Maryna Viazovska sur le problème de l'empilement de sphères en grandes dimensions, illustre la rencontre entre la mathématique abstraite et l'intuition humaine, reliant les récits scientifique et artistique.

L'histoire des sphères se conclut par des représentations artistiques de sphères et de globes, notamment l'emblématique *sphères spirales* de M.C. Escher, illustrant comment la sphère inspire une exploration et relie les mondes de l'art et de la science.

A Tale of Spheres

The sphere, with its perfect symmetry, has captivated scientists and artists throughout centuries. In ancient cosmology, the universe was envisioned as a series of concentric spheres surrounding the Earth. On a microscopic scale, chemist John Dalton (1766–1844) considered the fundamental building block of matter, the atom, to have a spherical shape.

In 1611, the German astronomer Johannes Kepler (1571–1630) posed a simple yet profound question: what is the most efficient way to arrange identical spheres in a three-dimensional space? This question, and its generalisations, have numerous implications, ranging from crystallography and material science to data transmission.

This section of the exhibition explores the beauty of spheres and the complexity of their packings. Interactive animations reveal the intricate structures of dense sphere packings and the E8 lattice, an 8-dimensional arrangement with rich symmetries. An artwork inspired by Maryna Viazovska's work on high-dimensional sphere packing illustrates the meeting point between abstract mathematics and human intuition, bridging scientific and artistic narratives.

To conclude this journey, *A Tale of Spheres* presents artistic depictions of spheres and globes, including M.C. Escher's iconic *Spiral Spheres*, demonstrating how the sphere inspires exploration and connects the realms of art and science.

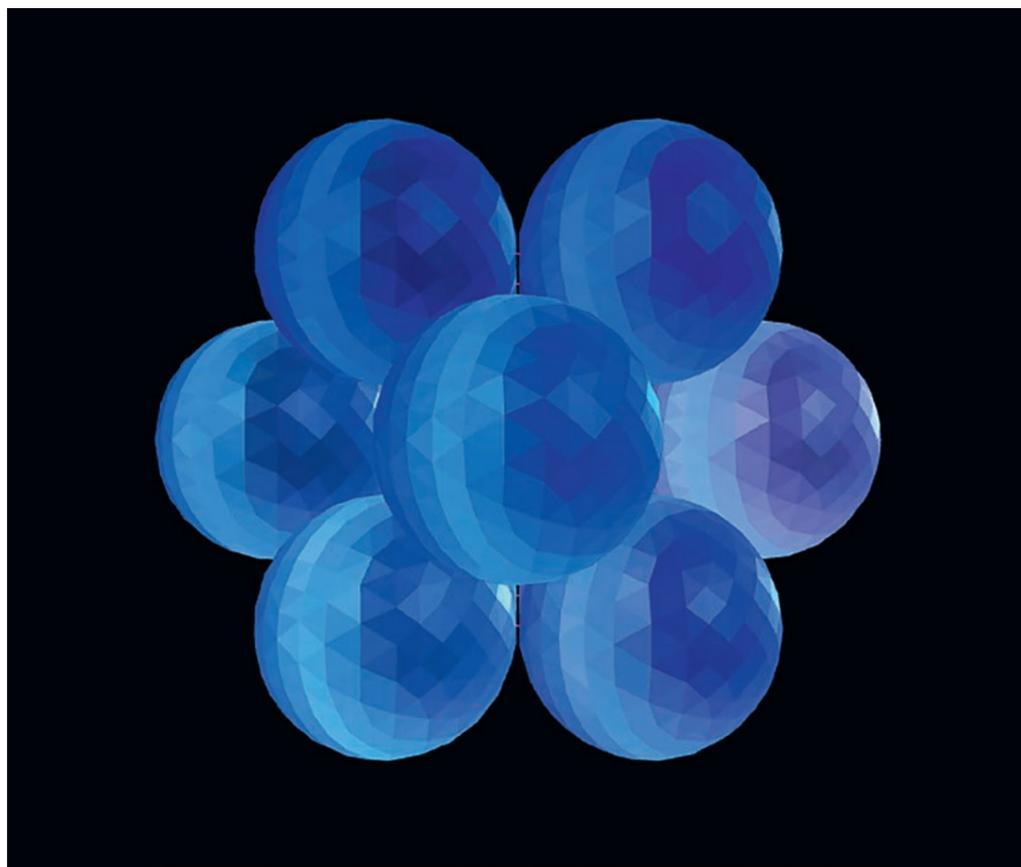
Empilement
de sphèresSphere
Packings

3.1a

Explorer des empile-
ments de sphèresExploring Sphere
Packings

Kirell Benzi
2024
Animation 3D interactive.
Remerciements à Marc Troyanov.

Kirell Benzi
2024
3D interactive animation.
Special thanks to Marc Troyanov.



Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Kirell Benzi.

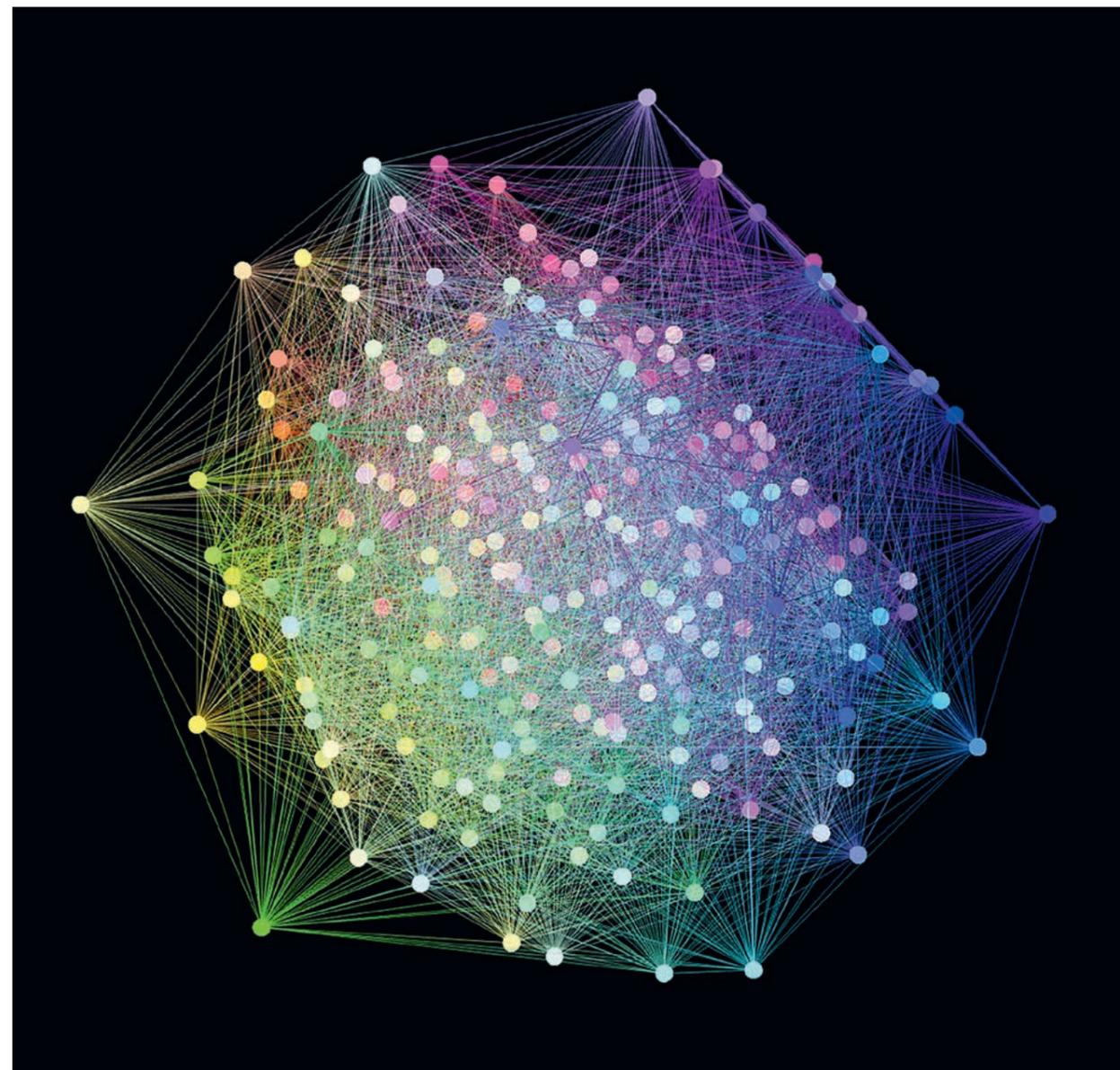
La première animation explore deux types d'empilement de sphères : l'empilement cubique simple, où chaque sphère touche 6 sphères voisines, formant une structure de faible densité qui laisse un important espace vide, et l'empilement cubique à faces centrées (FCC), qui empile des couches hexagonales, chaque sphère étant en contact avec 12 voisines et occupant 74% du volume disponible. En 1611, Johannes Kepler a émis l'hypothèse que l'empilement FCC est celui dont la densité est maximale. Cette conjecture a été rigoureusement prouvée par Thomas Hales et Samuel Ferguson en 1998, près de 400 ans plus tard. En raison de son extrême complexité, la démonstration a nécessité une vérification formelle par ordinateur, achevée en 2014. Les preuves vérifiées par ordinateur sont appelées à devenir plus fréquentes dans un futur proche, permettant de valider des théorèmes très complexes, et la démonstration de Hales-Ferguson marque une étape importante dans ce domaine.

The first animation explores two types of sphere packing: the "simple cubic packing," where each sphere touches 6 neighbours, creating a low-density structure with significant empty space, and the "Face-Centered Cubic (FCC) packing," which stacks hexagonal layers, with each sphere contacting 12 neighbours and filling 74% of the available space. In 1611, Johannes Kepler proposed that FCC achieves the highest possible density. This was rigorously proven by Thomas Hales and Samuel Ferguson in 1998, nearly 400 years later. Due to its extreme complexity, the proof required formal computer verification, completed in 2014. Computer-verified proofs are expected to become more common in the near future, enabling the confirmation of highly intricate theorems, with the Hales-Ferguson proof standing as a major milestone in this development.

Aux racines de E_8 At the Roots of E_8

Kirell Benzi
2024
Animation 3D interactive réalisée à partir d'un code open-source de David Madore.
Remerciements à Marc Troyanov.

Kirell Benzi
2024
3D interactive animation based on open-source code by David Madore.
Special thanks to Marc Troyanov.



Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Kirell Benzi.

La deuxième animation présente le système de racines E_8 , également appelé polytope de Gosset. Cette structure complexe en 8 dimensions comporte 240 nœuds et 6'720 arêtes. Elle est très riche en symétries et joue un rôle important dans des domaines tels que la théorie des nombres, la théorie des groupes et les codes correcteurs d'erreurs en informatique. En physique des particules, le réseau E_8 a été proposé comme cadre possible d'une théorie de jauge unifiant les particules élémentaires et leurs interactions. Géométriquement, le réseau E_8 sous-tend l'empilement de sphères de densité maximale en dimension 8, où chaque sphère touche 240 sphères voisines. Le polytope de Gosset se construit en considérant une sphère de cet empilement, puis en marquant les centres de ses 240 voisines, et en reliant par une arête les paires de sphères qui sont en contact.

The second animation presents the E_8 root system, also known as Gosset's polytope. This complex 8-dimensional structure comprises 240 nodes and 6,720 edges. It is very rich in symmetries and plays an important role in fields such as number theory, group theory and error-correcting codes in computer science. In particle physics, the E_8 lattice has been proposed as a possible framework for a gauge theory unifying elementary particles and their interactions. Geometrically, the E_8 lattice underlies the spheres packing of highest density in dimension 8, where each sphere touches 240 neighbouring spheres. Gosset's polytope is constructed by considering a sphere in this stack, then marking the centres of its 240 neighbours, and connecting by an edge the pairs of spheres that are in contact.

Echos de la pensée

Robert Turner Collective
2025

Installation vidéo, 15 mins, en boucle. 2 × 400 × 200 cm.
Production: SZKMD Production.
Remerciements à Maryna Viazovska.

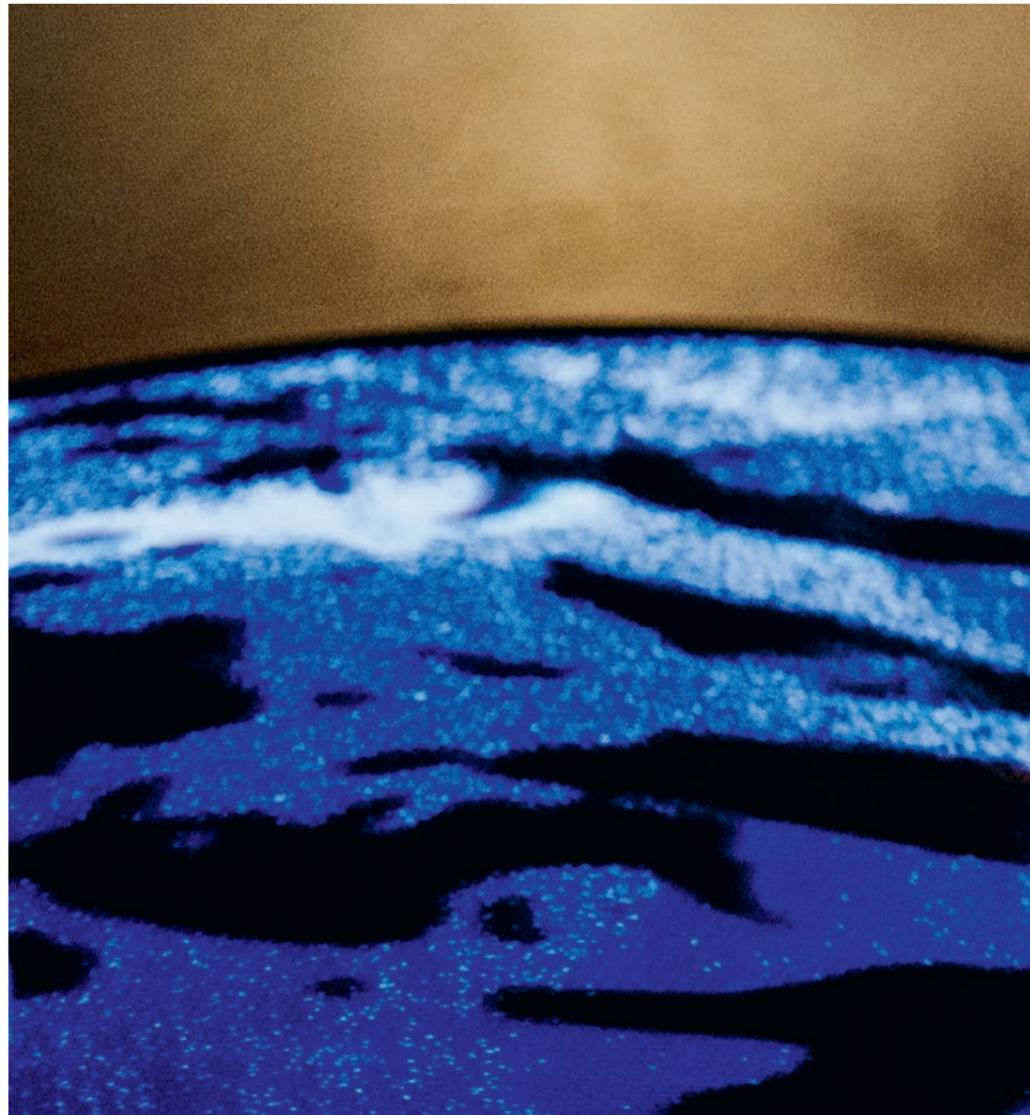
Le Robert Turner Collective réunit Louis-Hadrien Robert, artiste et mathématicien français basé à Clermont-Ferrand, et Paul Turner, artiste et mathématicien français d'origine néo-zélandaise basé à Genève.

Echos de la pensée

Robert Turner Collective
2025

Video installation, 15 mins, looped. 2 × 400 × 200 cm.
Production: SZKMD Production.
With thanks to Maryna Viazovska.

The Robert Turner Collective is a collaboration between French artist and mathematician Louis-Hadrien Robert, based in Clermont-Ferrand and New Zealand / French artist and mathematician Paul Turner, based in Geneva.



© Dorota Grajewska.

Echos de la pensée est une œuvre issue de la rencontre entre le Robert Turner Collective et Maryna Viazovska, mathématicienne à l'EPFL et lauréate de la Médaille Fields. Cette installation vidéo se déploie sur deux espaces : une paroi verticale plane et une zone au sol couverte d'un ensemble de bols de différentes tailles. Les bols reçoivent les images projetées, créant des effets de distorsion et de fragmentation.

Les artistes explorent ici le caractère humain de la création mathématique, dans une série de projections qui évoquent la curiosité, la frustration, l'inspiration et le face-à-face avec l'inconnu. Ils laissent entrevoir une réflexion guidée par la simplicité et la beauté, une vérité objective parfois obstinément secrète, et une démarche créative essentiellement curieuse et ludique.

Echos de la pensée is a video installation inspired by discussion between the Robert Turner Collective and EPFL mathematician and Fields medalist, Maryna Viazovska. It consists of a two-zoned projection canvas: a section of flat wall and an area of floor populated with different sized bowls whose individual curved surfaces distort and fragment the projected images.

The artists shed light on the human side of mathematical creation in a series of five video projections exploring curiosity, frustration, inspiration, and reaction to the unknown. They reflect on how, in mathematics, judgment is guided by simplicity and beauty, how objective truth can be surprisingly obstinate in guarding its secrets and how curiosity and playfulness are essential to the creative mind.

Inspiration

L'inspiration de cette exposition puise ses racines dans un petit livret de J. Kepler publié en 1611, dans les travaux mathématiques novateurs de Maryna Viazovska, et dans l'art de M.C. Escher, qui explore magistralement la géométrie et la symétrie.

The inspiration for this exhibition has its roots in a 1611 pamphlet by J. Kepler, the groundbreaking mathematical work of Maryna Viazovska, and the art of M.C. Escher, who masterfully explores geometry and symmetry.

3.3a

Strena seu de Nive Sexangula

Livre, Kepler, Johannes: Ioannis Kepleri S. C. Maiest. *Mathematici Strena Seu De Nive Sexangula*. Frankfurt am Main : Tampach, 1611. Stadtbibliothek Schaffhausen, RC 58.
Podcast, extrait, environ 25 mins. Jean Claude Amasein, 7 janvier 2012, « Un cadeau du Nouvel An », Podcast Sur les épaules de Darwin, France Inter.

Strena seu de Nive Sexangula

Book, Kepler, Johannes: Ioannis Kepleri S. C. Maiest. *Mathematici Strena Seu De Nive Sexangula*. Frankfurt am Main : Tampach, 1611. Stadtbibliothek Schaffhausen, RC 58.
Podcast, excerpt (in French), approx. 25 mins. Jean Claude Amasein, 1 January 2022, "Un cadeau du Nouvel An", Podcast Sur les épaules de Darwin, France Inter.

Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Stadtbibliothek Schaffhausen.



Kepler rédigea *Strena* en 1611 sous la forme d'un opuscule de 24 pages, offert en cadeau de Nouvel An à son ami, le conseiller Wackher von Wackhenfels. Dans cet essai, Kepler s'interroge sur l'origine de la forme hexagonale des flocons de neige, puis élargit son analyse à d'autres motifs hexagonaux qu'on observe dans la nature, tels que les alvéoles des ruches d'abeilles et les graines de la grenade. Il considère aussi plusieurs types d'empilements de sphères et énonce ce qui deviendra la "conjecture de Kepler", affirmant que l'empilement le plus dense s'obtient par juxtaposition de couches hexagonales, où chaque sphère touche douze voisines. Cet essai est une petite perle de l'histoire des sciences qui allie intuition scientifique, rigueur mathématique et réflexion philosophique sur l'ordre de la nature, il est souvent considéré comme un texte précurseur de la cristallographie.

Kepler composed *Strena* in 1611 as a 24-page pamphlet, gifted as a New Year's token to his friend, Counselor Wackher von Wackhenfels. In this essay, Kepler investigates why snowflakes form hexagonal shapes and extends his exploration to other natural hexagonal patterns, such as honeycomb cells and pomegranate seeds. He also considered several types of sphere packing and formulated what became known as the "Kepler conjecture", asserting that the densest packing is obtained by juxtaposing hexagonal layers, where each sphere touches twelve neighbours. This essay is a little gem in the history of science, combining scientific intuition, mathematical rigour and philosophical reflection on the order of nature, and is often considered a precursor of crystallography.

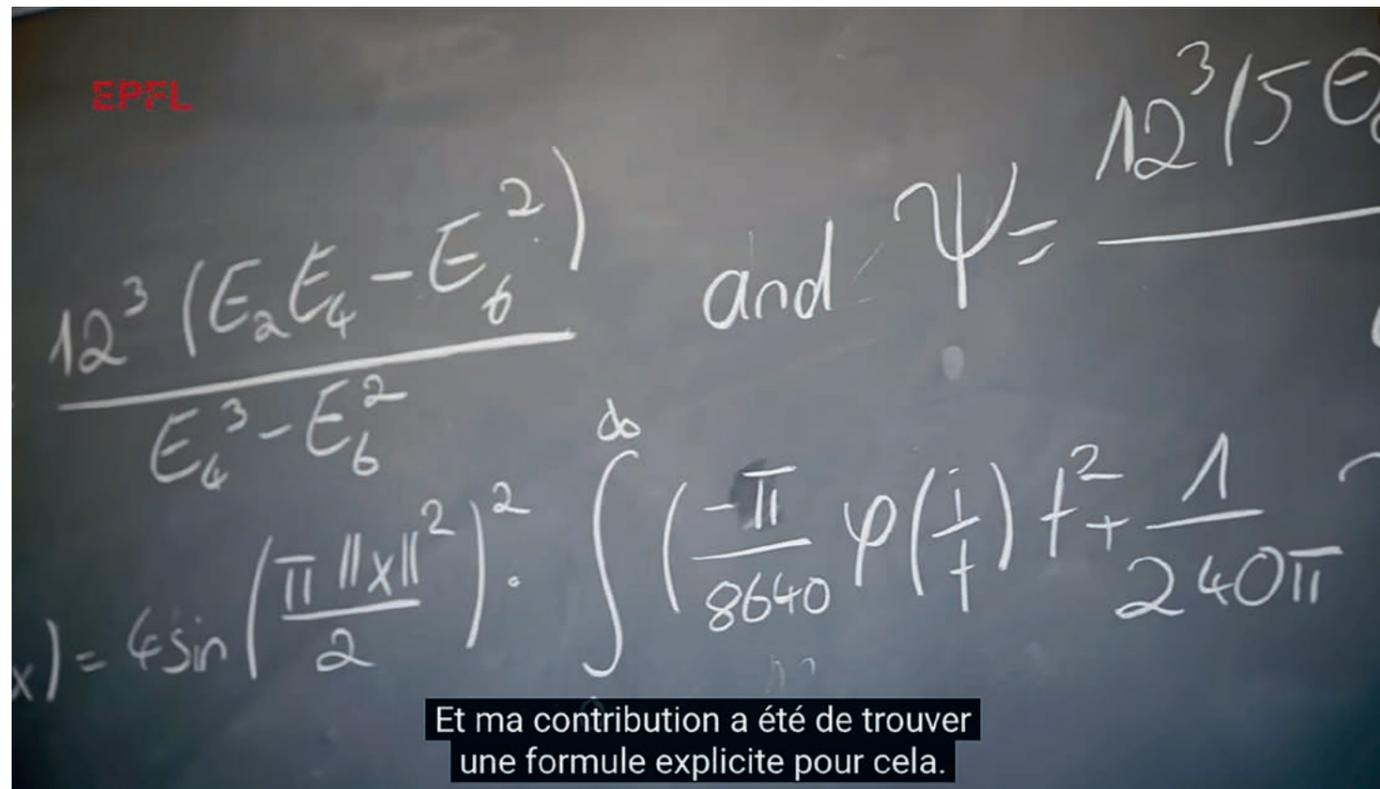
3.3b

Une médaille Fields pour Maryna Viazovska

A Fields Medal for Maryna Viazovska

Vidéo, 3:06 mins, en boucle.
« Maryna Viazovska reçoit la Médaille Fields 2022 », EPFL.

Video, 3:06 mins, looped.
“Maryna Viazovska reçoit la Médaille Fields, 2022”, EPFL.



© EPFL.

Cette vidéo présente Maryna Viazovska, mathématicienne ukrainienne qui a rejoint l'EPFL en 2016 et est devenue professeure ordinaire en 2018, dirigeant la Chaire d'arithmétique. Elle est actuellement directrice de l'Institut de Mathématiques de l'EPFL. Viazovska s'est fait connaître pour avoir résolu le problème d'empilement de sphères en huit dimensions. En 2016, elle a prouvé que l'empilement le plus dense est construit sur le réseau E8, et a ensuite étendu cette preuve à 24 dimensions avec des collaborateurs. Auparavant, ce problème n'avait été résolu qu'en deux et trois dimensions. Sa démonstration est remarquable par l'utilisation d'outils classiques tels que l'analyse de Fourier et les formes modulaires, ouvrant de nouvelles perspectives et des connexions inattendues. Ses travaux lui ont valu la Médaille Fields en 2022, la deuxième femme à recevoir cet honneur après Maryam Mirzakhani.

This video features Maryna Viazovska, a Ukrainian mathematician who joined EPFL in 2016 and became full professor in 2018, leading the Chair of Number Theory. She now heads EPFL's Institute of Mathematics. Viazovska gained fame for solving the sphere-packing problem in eight dimensions. In 2016, she proved that the densest packing is based on the E8 lattice pattern and later extended this solution to 24 dimensions with collaborators. Previously, the problem had only been solved in two and three dimensions. Viazovska's proof is notable for its use of deep classical tools like Fourier analysis and modular forms, providing new insights and unexpected connections. Her achievements earned her the Fields Medal in 2022, the second woman to receive this honour after Maryam Mirzakhani.

3.3c

Le Monde de M.C. Escher

M.C. Escher's World

Spirales sphériques

M.C. Escher
1958
Impression d'après une gravure sur bois.

Cette gravure sur bois illustre le concept original des spirales sphériques d'Escher. Une sphère y est représentée avec son réseau de méridiens et de parallèles. Quatre spirales tournent autour de cette surface sphérique, devenant infiniment petites aux pôles et atteignant leur largeur maximale à l'équateur. La moitié externe de ces spirales est visible en jaune. À travers les ouvertures, il est possible de suivre leurs parties internes rouges jusqu'au pôle opposé.

Spiral Spheres

M.C. Escher
1958
Print based on a wood engraving.

This wood engraving showcases Escher's original concept of sphere spirals. A sphere is shown with its network of meridians and parallels. Four spirals revolve around this spherical surface, infinitely small at the poles and reaching their greatest width at the equator. Half of the outer part of these spirals is visible as yellow. Through the openings, it's possible to follow their red inner parts to the opposite pole.

Globe à spirales

2024
Impression 3D, 26 cm de diamètre.
Projet mené par Marc Troyanov (Institut de Mathématiques, EPFL).
Impression par l'Atelier de Fabrication Additive (AFA), EPFL.

Inspirée par les spirales sphériques d'Escher, cette impression 3D suspendue représente une sphère formée de spirales entrelacées. Le globe produit un motif dynamique et fluide qui joue avec l'ombre et la lumière, attirant l'œil des spectateur-trices le long des chemins entrelacés et offrant une expérience tactile de la perspective visuelle d'Escher.

Spiral Globe

2024
3D Print, 26 cm diameter.
Project led by Marc Troyanov (Institute of Mathematics, EPFL).
Printed by Additive Manufacturing Workshop (AFA), EPFL.

Inspired by Escher's spherical spirals, this suspended 3D print features a sphere made of intertwined spirals. The globe produces a dynamic, fluid pattern that plays with light and shadow, drawing the viewer's eye along the intertwined paths and offering a tactile experience of Escher's visual perspective.

Livres

M.C. Escher. L'Œuvre graphique

M.C. Escher, Cologne : Taschen, 2021 [1959].

Le Miroir magique de M.C. Escher

Bruno Ernst, Cologne : Taschen, 2021 [1978].

L'Œuvre graphique est une introduction à l'art complexe de M.C. Escher, inspiré par les mathématiques. Il présente plus de 80 œuvres emblématiques, allant des escaliers impossibles aux oiseaux tessellés, révélant la maîtrise d'Escher dans l'art des illusions d'optique et des motifs géométriques. Le livre, enrichi de commentaires de l'artiste lui-même, retrace son évolution artistique, des paysages naturels aux créations abstraites influencées par l'architecture du palais de l'Alhambra.

Le Miroir magique de M.C. Escher, écrit par Bruno Ernst, mathématicien et ami proche d'Escher, explore l'ensemble de son œuvre. Ernst a régulièrement rendu visite à Escher pendant un an, discutant de ses techniques et de ses concepts. Ce livre analyse les travaux d'Escher, mettant en évidence les liens entre ses créations et les concepts mathématiques, tout en explorant les illusions d'optique qui rendent ses œuvres si fascinantes.

Books

The Graphic Work of M.C. Escher

M.C. Escher, Cologne: Taschen, 2021 [1959].

The Magic Mirror of M.C. Escher

Bruno Ernst, Cologne: Taschen, 2021 [1978].

The Graphic Work serves as an introduction to M.C. Escher's complex art, inspired by mathematics. It features over 80 iconic works, from impossible staircases to tessellated birds, showcasing Escher's mastery of optical illusions and geometric patterns.

The book, enriched with the artist's own commentary, traces his artistic evolution from natural landscapes to abstract creations influenced by the architecture of the Alhambra Palace.

The Magic Mirror of M.C. Escher, written by Bruno Ernst, a mathematician and close friend of Escher, explores the entirety of his work. Ernst visited Escher regularly for a year, discussing his techniques and concepts. This book analyzes Escher's creations, highlighting the connections between his art and mathematical concepts, while delving into the optical illusions that make his works so captivating.



© Manuel Leitões.

3.4

Développement 1 (sphère)

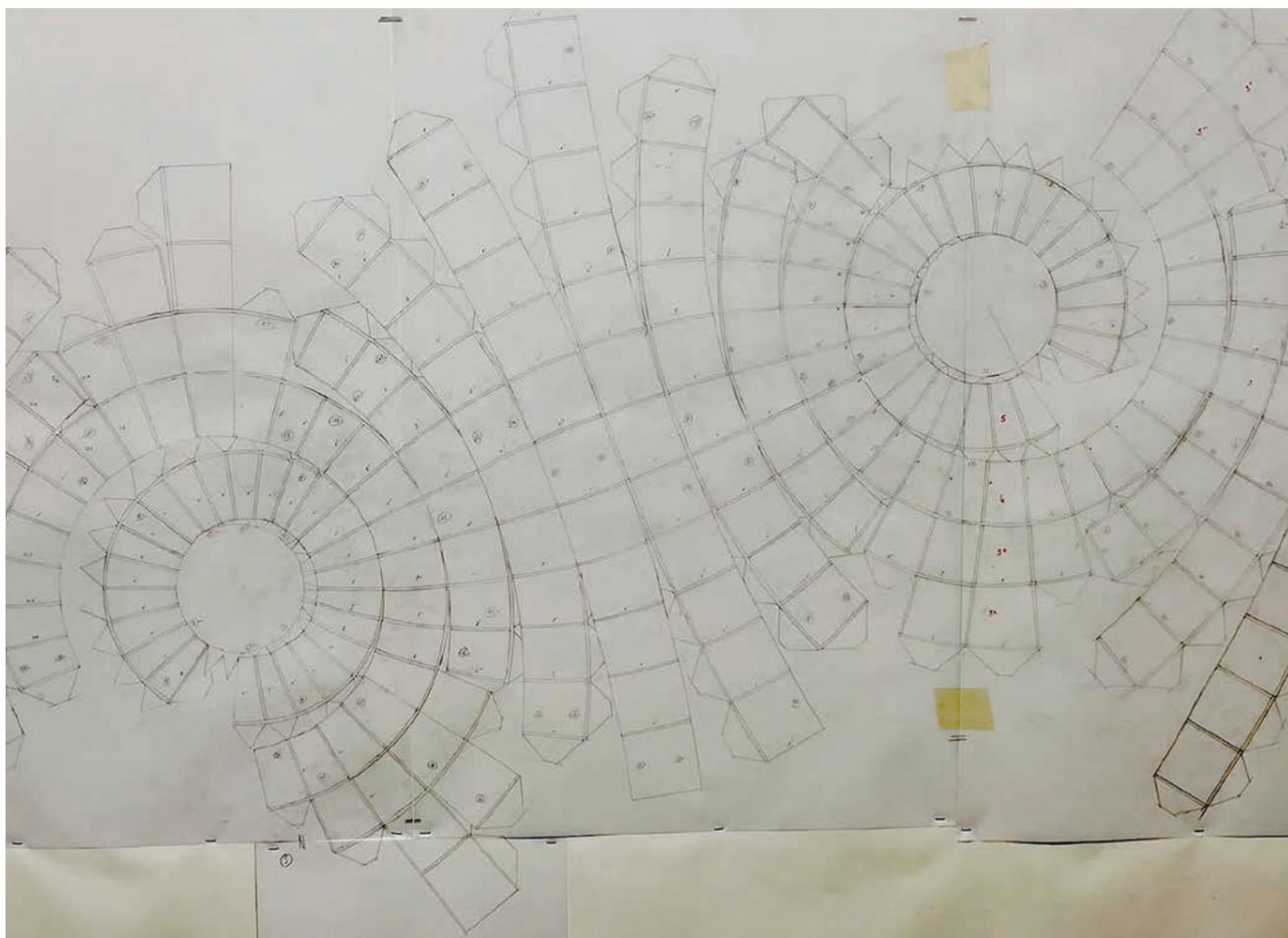
Emmanuel Baud
2025
Sculpture, plâtre et fibre de verre, 235 × 150 cm.

Emmanuel Baud est un plasticien explorant toutes sortes de médiums pour composer son langage artistique et transmettre l'énergie et les émotions qui l'habitent.

Développement 1 (sphère)

Emmanuel Baud
2025
Sculpture, plaster and fiberglass, 235 × 150 cm.

Emmanuel Baud is a plastician who explores different mediums to build an artistic language to convey the energy and emotions that inhabit him.



Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Emmanuel Baud.

A la façon d'une représentation cartographique, une sphère se développe sur un plan en deux dimensions. Cette transposition permet de passer d'une forme parfaite et achevée, la sphère, à une surface éclatée, en perpétuelle recomposition – sa réalisation définitive étant impossible sur le plan mathématique.

Chacun des éléments qui composent cet ensemble peut être décroché et réagencé, de façon à convoquer l'imaginaire d'une audience invitée à envisager son propre modèle, à voyager dans les méandres de cette structure éclatée.

Réalisée en plâtre et fibre de verre, cette sphère à facettes présente une apparence feuilletée, marquée d'une trame délicate qui vient donner une unité à l'ensemble.

En forme d'écho aux pavages périodiques d'Escher, cette installation s'inscrit dans les recherches préalables de l'artiste, dont le travail vise à donner forme à l'énergie qui se dégage du déploiement des formes dans l'espace. Ce nouveau travail *Développement 1 (sphère)* a été conçu pour cette exposition.

A sphere is unfolding itself on a two-dimensional plane, similarly to a cartographic representation. This transposition enables one to move from a perfect and completed form, the sphere, to a shattered surface, perpetually reshaping itself – for its definitive realisation is mathematically impossible.

Each element that makes up this ensemble can be taken off and rearranged in any way, inviting the audience to imagine its own model and to travel through the meanders of this scattered structure.

Made of plaster and fiberglass, this faceted sphere has a laminated appearance, marked by a delicate weave that gives unity to the overall structure.

Echoing Escher's periodic tiling, this installation is inscribed in the artist's prior research, whose work aims to give shape to the energy emerges from the deployment of shapes in space. This new piece, *Développement 1 (sphère)*, was designed for this exhibition.

3.5

Prototypes pour Aetherocohedron

Mark Pauly avec Josua Putzke,
dans le cadre du EPFL-CDH AiR Program, *Enter the Hyper-Scientific*.
2024
Trois sphères, 25 cm, 18 cm, 15 cm de diamètre.

Prototypes for Aetherocohedron

Mark Pauly with Josua Putzke,
as part of the EPFL-CDH AiR Program, *Enter the Hyper-Scientific*.
2024
Three spheres, 25 cm, 18 cm, 15 cm diameter.



© Remy Ugarte Vallejos.



Ces trois sphères sont des prototypes réalisés par le Geometric Computing Laboratory de l'EPFL, mené par Mark Pauly, pour *Aetherocohedron*, une installation cinétique de l'artiste Josua Putzke qui invite à une compréhension intuitive du concept selon lequel tous les éléments de l'univers sont fondamentalement liés, se transforment constamment tout en maintenant une structure cohérente. Le laboratoire étudie désormais les propriétés mathématiques polyédriques, dans la lignée des formes que Putzke a introduites dans son installation cinétique.

Le public est invité à manipuler les sphères afin d'en découvrir les motifs géométriques changeants.

These three spheres are prototypes created by the EPFL Geometric Computing Laboratory, led by Mark Pauly, for *Aetherocohedron*, a kinetic installation by artist Josua Putzke, that invites an intuitive understanding of the concept that all elements and forces in the universe are fundamentally linked, constantly transforming while maintaining a coherent structure. The laboratory is now investigating the mathematical properties of polyhedral shapes, in line with the forms Putzke introduced with his kinetic installation.

Visitors are invited to manipulate the spheres and discover their changing geometrical shapes.

Traces

Dans le mouvement de nos lignes, dans les figures que nous esquissons se dessine le fil de notre existence. Pour *Traces*, les mathématiques deviennent un trait d'union entre l'expression singulière de l'individu et l'harmonie universelle, en révélant comment les gestes créatifs d'une artiste s'accordent avec les structures géométriques fondamentales que les mathématicien·nes d'aujourd'hui s'efforcent de comprendre.

Au cœur de ces installations collaboratives émerge une question fondamentale qui unit artistes et mathématicien·nes : comment les formes géométriques s'articulent-elles entre elles ? Là où l'artiste saisit intuitivement l'équilibre entre les formes, les mathématicien·nes cartographient ces relations en incorporant des notions de distance et de transformation dans ce qu'ils·elles nomment les espaces de modules* – vastes paysages structurés de toutes les formes géométriques possibles.

Prendre part à ces créations collaboratives contribue à tisser des liens entre ces deux univers. Chaque contribution existe à la fois en tant qu'expression personnelle et en tant que point dans un espace infini de possibles, tel un mot dans la Bibliothèque de Babel de Borges où l'univers se déploie sous les formes d'une vaste bibliothèque.

Le public est invité à laisser sa trace dans ce dialogue évolutif entre l'art et les mathématiques. Ici, l'expression individuelle permet d'approcher l'universel en intégrant une vaste mosaïque collective qui se compose dans un perpétuel devenir.

* Maryam Mirzakhani (1977–2017) était l'une des plus grandes spécialistes de la théorie des espaces de modules et de la géométrie hyperbolique. Première femme lauréate de la médaille Fields, elle concevait les mathématiques comme une recherche artistique intrinsèque : « *La beauté des mathématiques ne se révèle qu'aux plus patients* ».

Traces

Every line we draw, every shape we create, carries an echo within our human experience. For *Traces*, mathematics becomes a bridge connecting individual expression to the universality of harmony, revealing how personal traces resonate with fundamental geometric structures that today's mathematicians aspire to decipher.

Through these collaborative installations, we explore a profound question that unites artists and mathematicians: how do forms relate to one another? While artists intuitively grasp balance between shapes, mathematicians map these relationships by incorporating notions of distance and transformation in what they call moduli spaces* – vast structured landscapes of all possible geometric forms.

Participating in these collaborative creations helps weave these two worlds together. Each contribution exists both as personal expression and as a point in an infinite space of possibilities, much like a word in Borges' Library of Babel that conceives the universe in the form of a vast library.

Visitors are invited to add their trace in this evolving dialogue between art and mathematics. Here, personal expression becomes part of a larger pattern, approximating the universal through the personal, linking the individual and collective creativity.

*One of the most important experts in moduli space theory, and its relationship to curves on surfaces and hyperbolic geometry, was Maryam Mirzakhani (1977–2017), the first female Fields medalist. For her, mathematics were inherently an artistic pursuit: “*The beauty of mathematics only shows itself to more patient followers.*”

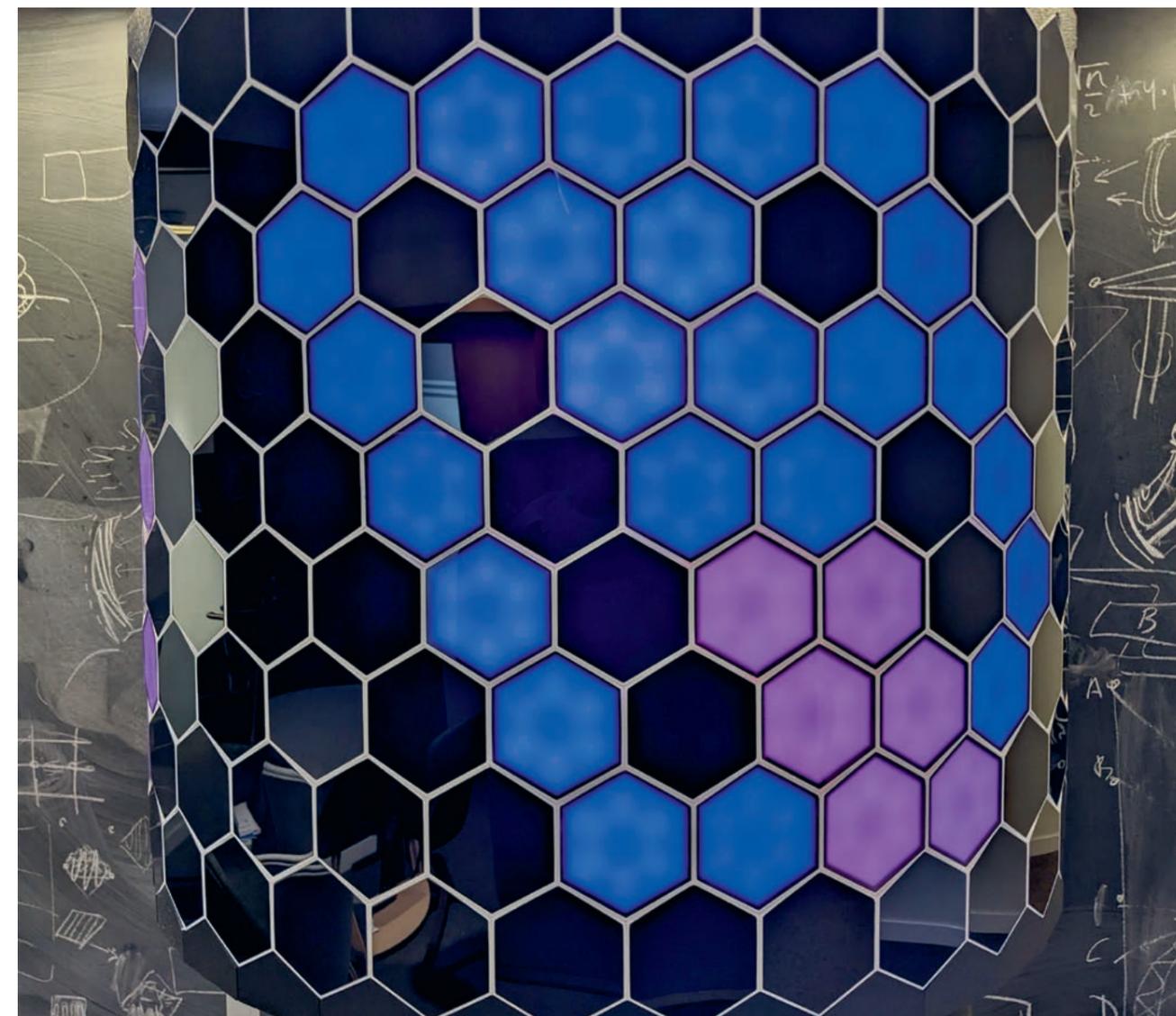
Cyclicity

Hugo Parlier & Bruno Teheux
2025
Installation interactive, 186 × 90 cm de diamètre.
Département de Mathématiques, Université du Luxembourg.

Cyclicity

Hugo Parlier & Bruno Teheux
2025
Interactive installation, 186 × 90 cm diameter.
Department of Mathematics, University of Luxembourg.

Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Hugo Parlier & Bruno Teheux



Les cycles sont les formes les plus simples parmi les motifs mathématiques – un retour perpétuel au point d'origine. Cette installation interactive transforme les cycles en une œuvre d'art évolutive. Les visiteur·euses créent des chemins fermés sur un pavage d'hexagones projeté sur un tore : les rangées supérieures et inférieures du cylindre sont identiques. Chaque parcours cyclique se révèle par une transformation des couleurs, se retire, pour ressurgir sous forme d'écho perpétuel. Ces vagues chromatiques ondulent dans un espace quadri-dimensionnel : à travers les deux dimensions spatiales de la surface, à travers le changement cyclique des couleurs et le long de la flèche du temps.

Si l'œuvre repose sur une périodicité mathématique multiple – avec son pavage hexagonal, sa topologie toroïdale et ses échos temporels – la création collective qui en émerge échappe à toute prédiction humaine, révélant comment des règles simples peuvent engendrer une complexité qui nous dépasse.

Cycles are the simplest form of mathematical pattern – a perpetual return to origin. This interactive installation turns cycles into an evolving artwork. Visitors create closed paths on an hexagonal grid mapped onto a torus: the top and bottom rows of the cylinder are set to be identical. Each cyclic trace transforms colours but then retracts, only to resurface endlessly in echoing waves. These rhythmic returns ripple through a four-dimensional space: across the surface's two spatial dimensions, through the cyclic selection of colours, and along time's arrow.

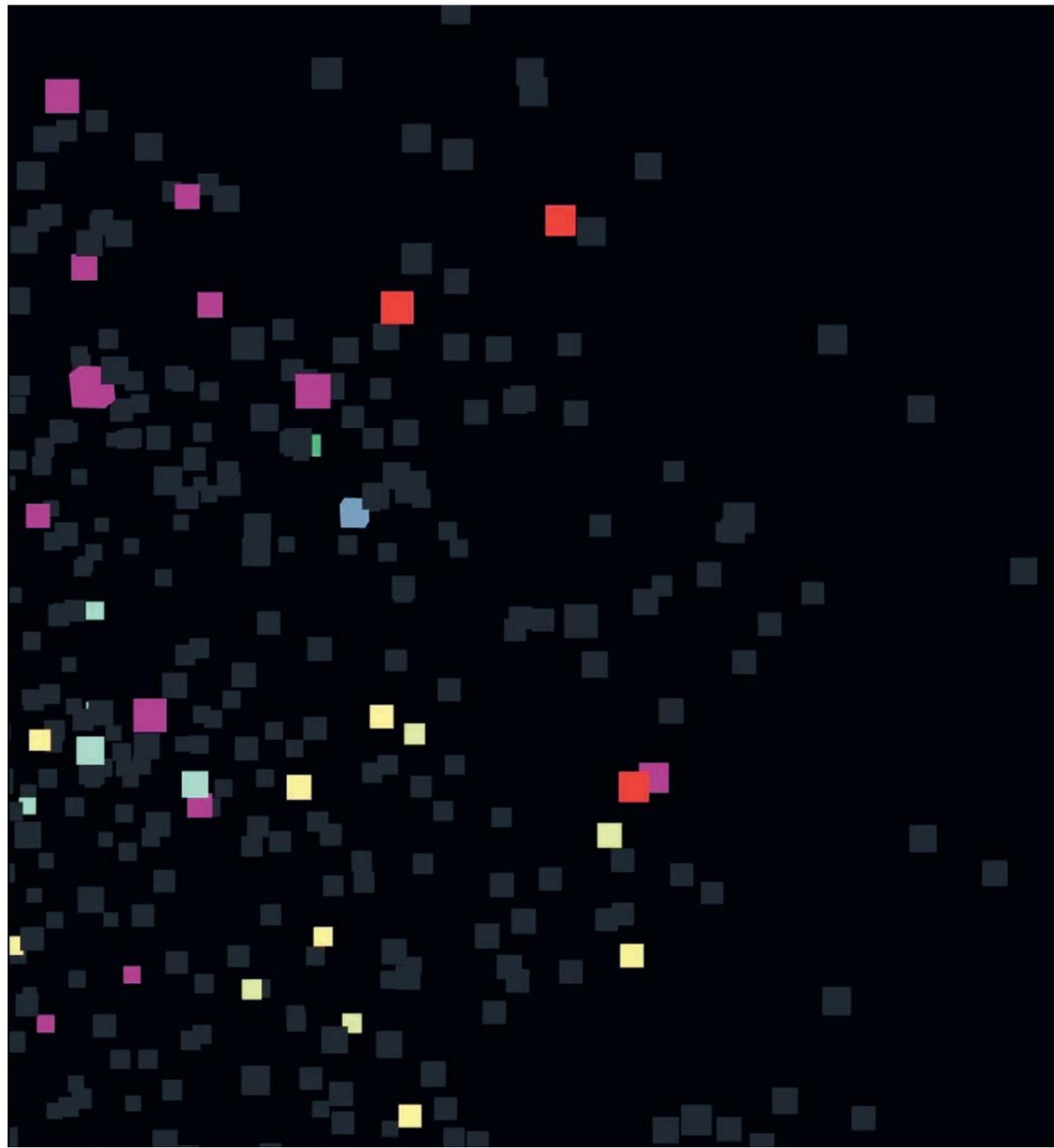
Although built upon mathematical periodicity – in its hexagonal tessellation, toroidal topology, and temporal echoes – the collective artwork defies human prediction, revealing how simple rules give rise to complex behaviour.

Shifting Squares

Hugo Parlier et al.
2024
Dispositif interactif.
Concept et design : Hugo Parlier et Paul Turner.
Développement du logiciel : Mario Gutiérrez et Reyna Juárez.

Shifting squares

Hugo Parlier et al.
2024
Interactive display.
Concept & Design: Hugo Parlier and Paul Turner.
Software development: Mario Gutiérrez and Reyna Juárez.



Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Hugo Parlier.



Les jeux Quadratis sont des puzzles auxquels on joue sur des « plateaux » quadrillés qui ont été découverts par des mathématicien·nes ayant travaillé sur les espaces de modules. Chaque puzzle est associé à un réseau de motifs possibles que vous pouvez atteindre en faisant glisser les carrés.

Shifting Squares est une activité dérivée des Quadratis. Ces réseaux sont à explorer. Il n'y a pas de mouvement juste ou faux, il faut simplement un peu de créativité pour trouver son chemin. Chacun des mouvements s'intègre dans une supernova de formes et de couleurs.

Pour jouer avec les jeux originaux Quadratis, scannez le code QR.

The Quadratis games are puzzles played on square-tiled "boards" which were discovered by mathematicians working on moduli spaces. Each puzzle has an associated network of possible patterns you can reach by sliding the squares around.

Shifting Squares is an activity that derives from Quadratis. These networks are here for you to explore. There is no right or wrong, just the necessity of creativity to find your way. Each movement will be part of a supernova of patterns and colours.

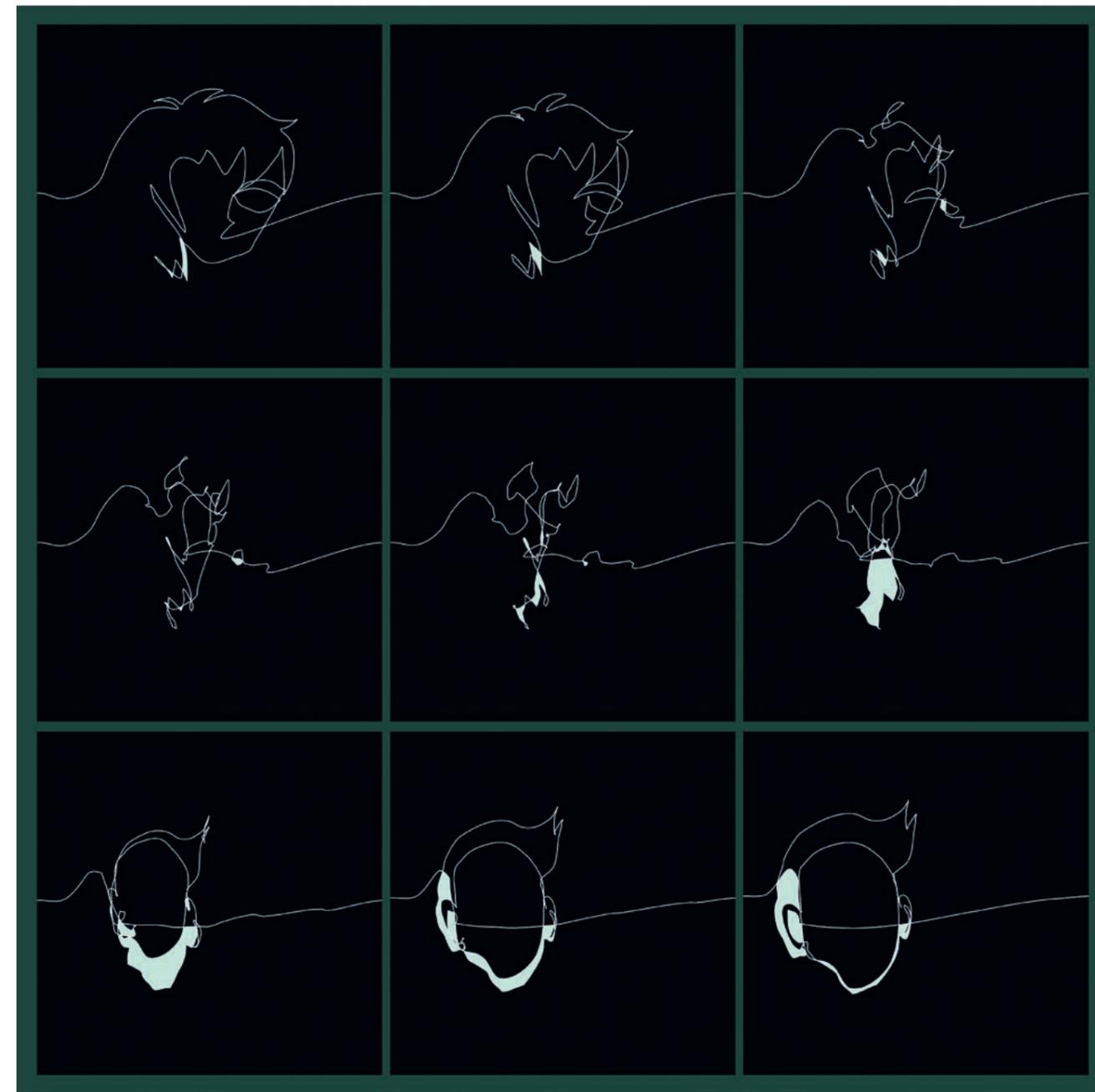
To play with the original Quadratis games, please scan the QR code.

Life Lines

Hugo Parlier & Bruno Teheux
2024
Dispositif interactif.

Life Lines

Hugo Parlier & Bruno Teheux
2024
Interactive display.



Avec l'aimable autorisation de / Courtesy of Hugo Parlier & Bruno Teheux.

Les mathématiques et l'art jaillissent d'une même source : notre besoin fondamental de créer et d'ajouter notre voix à la grande conversation de l'humanité. Chaque théorème, chaque œuvre d'art, affirme son existence en dialogue avec les autres, formant un corpus vivant d'émotions partagées.

Ici, les créations individuelles se fondent dans l'imagination collective. Grâce aux mathématiques, chaque courbe tracée devient un coup de pinceau sur une toile commune. Selon les mots de Beuys, « *Tout le monde est un artiste* ». L'art est le cœur battant de l'humanité.

Mathematics and art both spring from the same source: our fundamental need to create, and to add our voice to a greater conversation. Each theorem, each artwork exists in resonance with others, forming an evolving body of shared emotions.

Here, individual creations merge into collective imagination. Thanks to mathematics, each curve you draw becomes a brushstroke on a shared canvas. As Beuys said, "*Everyone is an artist*". Art is the heartbeat of humanity.

4.4

Le Huit – Hommage à Marta Pan

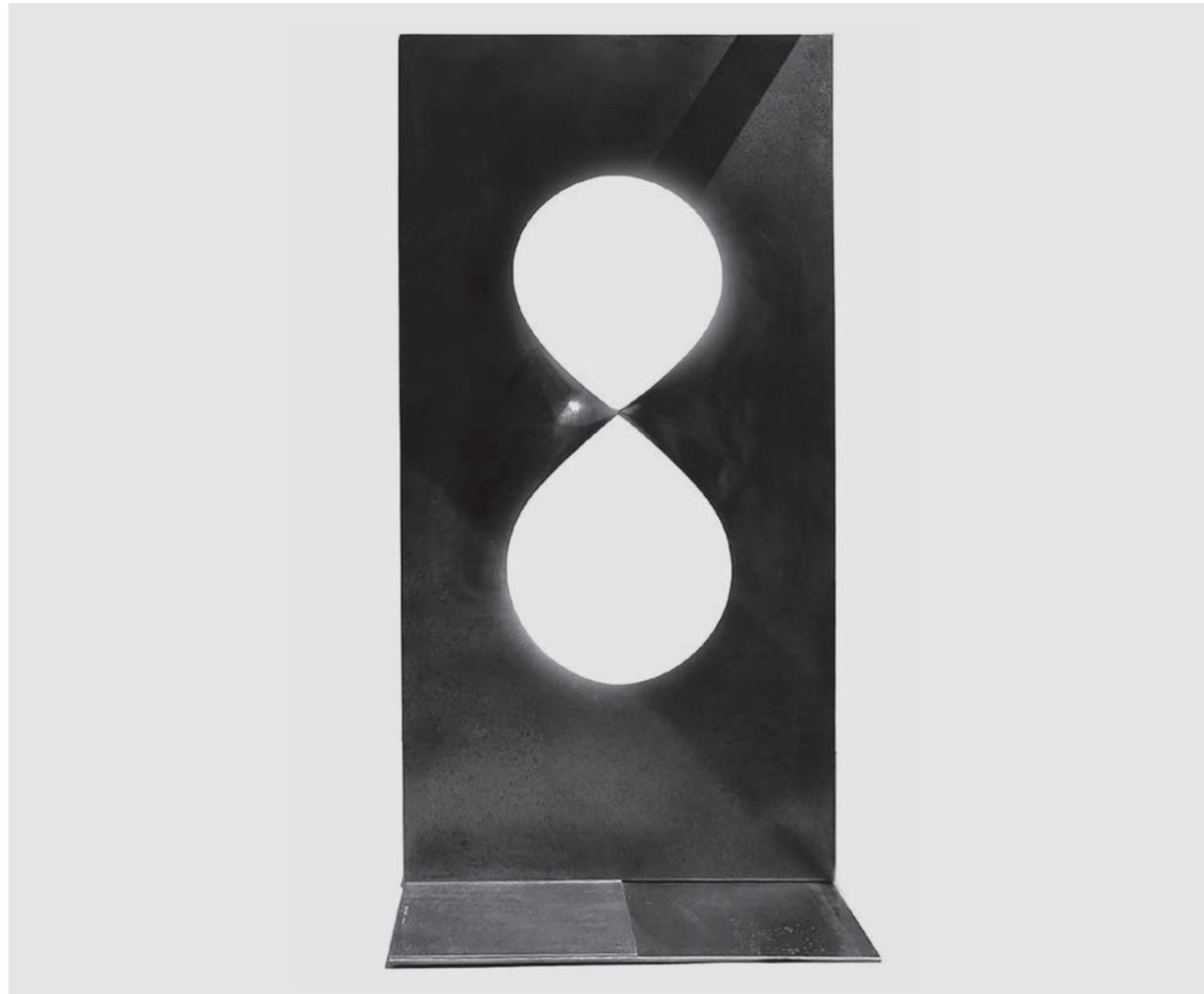
Ulysse Lacoste
2019
Sculpture, acier patiné, 240 × 130 × 60 cm.

Ulysse Lacoste est un sculpteur français, basé en Bourgogne.

Le Huit – Hommage à Marta Pan

Ulysse Lacoste
2019
Sculpture, patina steel, 240 × 130 × 60 cm.

Ulysse Lacoste is a French sculptor based and working in Burgundy.



© Anne Blanchard.

L'œil glisse le long de sa surface, s'enroule en cercle tour à tour devant puis derrière, repassant indéfiniment par son centre. Cette sculpture s'apparente à l'anneau de Möbius bien connu en topologie. C'est une figure obtenue par torsion faisant naître un volume à une seule face.

Le Huit est l'agrandissement à échelle humaine de l'*Infini*, l'un des modèles mathématiques / modules poétiques, une série de 10 objets créés par l'artiste en 2017, des modèles réduits pour sculptures monumentales.

Cette sculpture représente dans sa forme même le symbole mathématique infini inventé par le mathématicien John Wallis en 1655 et inspiré de la lemniscate de Bernoulli, redressée ici pour s'apparenter au chiffre huit.

L'artiste l'a choisi pour rendre hommage à Marta Pan (1923–2008), sculptrice majeure du XXe siècle, héritière de Brancusi (1876–1957) et pionnière des mises en espace dans ses propositions aux formes épurées. Elle aussi avait réalisé une œuvre monumentale nommée *Infini*.

The eye slides along its surface, winding in a circle in front of it, then behind it, passing indefinitely back through its centre. This sculpture resembles the Möbius ring, well known in topology. It is a shape obtained by twisting, giving rise to a single-sided volume.

Le Huit is the enlargement to human scale of *Infini*, one of the ten objects created by the artist in 2017, part of his series, *mathematical models / poetic models*.

This sculpture's shape represents the mathematical symbol of infinity as invented by the mathematician John Wallis in 1655 and inspired by the lemniscate of Bernoulli. The sculpture was put straight up to resemble the number eight.

The artist chose it to pay tribute to Marta Pan (1923–2008), major sculptor of the 20th century and heir to Brancusi (1876–1957), and a pioneer of spatial installations in her purely formal works. She too created a monumental work called *Infini*.

4.5

Divisions régulières du plan

Cygnes
1938

Oiseaux et poissons
1938

Reptiles
1942

M.C. Escher
Impressions en fac-similé de haute qualité sur du papier de gravure allemand sans acide de 310 g fabriqué à la main par Hahnemühle.
© M.C. Escher Foundation, 34 × 45 cm.

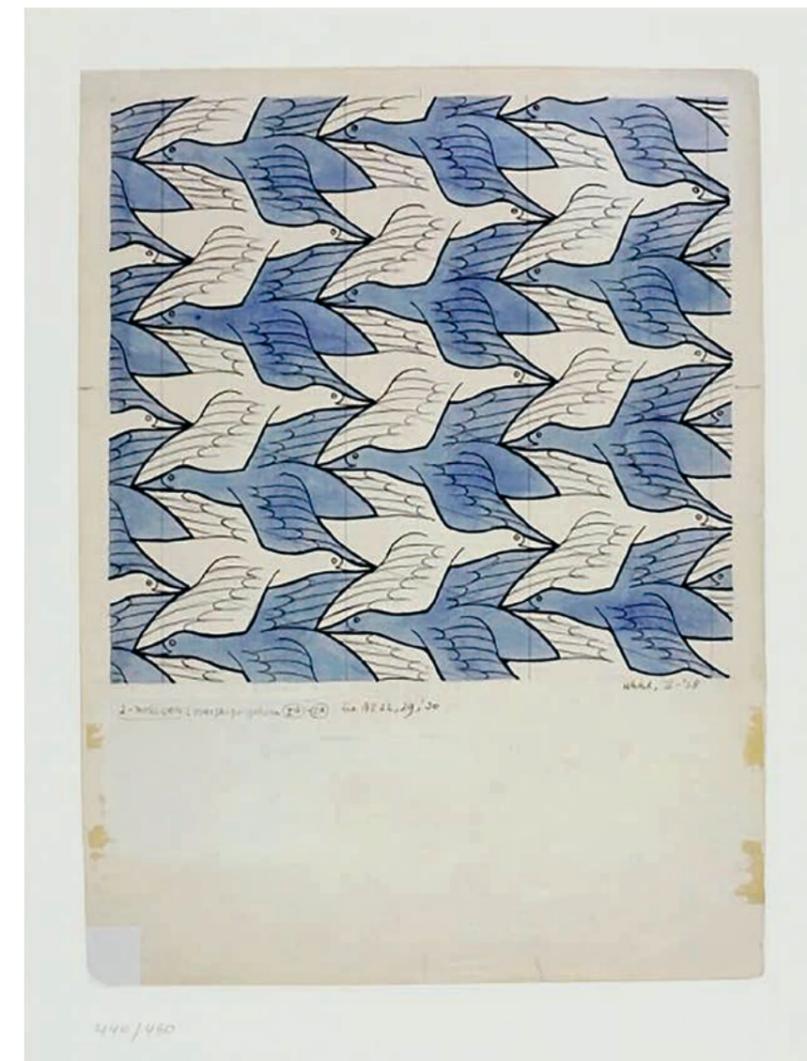
Regular Divisions of the Plane

Swans
1938

Birds and Fish
1938

Reptiles
1942

M.C. Escher
High Quality Facsimile prints on 310g handmade acid-free German etching paper by Hahnemühle.
©M.C. Escher Foundation, 34 × 45 cm.



© M.C. Escher Foundation.

M.C. Escher était fasciné par les divisions régulières du plan, inspiré par ses visites au palais de l'Alhambra à Grenade. Selon lui, une division régulière du plan est un motif constitué de formes congruentes qui s'emboîtent parfaitement, chaque motif étant disposé de manière cohérente tout au long du pavage. En utilisant des transformations géométriques telles que la rotation, la réflexion et la translation, Escher a créé des motifs complexes et infinis, où les formes s'entrelacent parfaitement pour couvrir toute la surface. Les trois œuvres exposées sont emblématiques de l'exploration d'Escher sur les motifs réguliers et les pavages.

M.C. Escher was deeply fascinated by regular divisions of the plane, inspired by his visits to the Alhambra palace in Granada. According to him, a regular division of the plane is a pattern made up of congruent shapes that fit seamlessly together, with each motif adjoining its neighbour in a consistent arrangement throughout. Using geometric transformations such as rotations, reflections, and translations, Escher created intricate, infinite patterns where the shapes perfectly interlock to cover the entire surface. The three artworks on display are emblematic of Escher's exploration of regular patterns and tessellations.

Shapes

Patterns in Art and Science

17.1. – 9.3. 25



EPFL Pavilions Amplifier for Art, Science and Society
Lausanne

Mardi—Dimanche 11h—18h	Entrée libre
Tuesday—Sunday 11am—6pm	Free Entry

Place Cosandey
1015 Lausanne

epfl-pavilions.ch

Programme complet sur / Full programme on:



Crédits d'exposition / Exhibition Credits

Direction scientifique / Scientific Direction

- Marc Troyanov, Professeur titulaire, Institut de Mathématiques, EPFL / Adjunct Professor, Institute of Mathematics, EPFL
- Hugo Parlier, Professeur ordinaire, Département de mathématiques, Université du Luxembourg, Université de Fribourg / Full Professor, Department of Mathematics, University of Luxembourg, University of Fribourg
- Michael Herbst, Professeur assistant, Institut de Mathématiques et Institut des Matériaux, EPFL / Assistant Professor, Institute of Mathematics and Institute of Materials, EPFL

Collaborations scientifiques / Scientific Collaborations

- EPFL, PRN MARVEL, Conception et découverte de nouveaux matériaux par la simulation / NCCR MARVEL, Computational Design and Discovery of Novel Materials
Lidia Favre-Quattropani, Coordinatrice scientifique / Scientific Manager
- EPFL, Institut de Mathématiques Marina Viazovska, Directrice, Professeure ordinaire / Director, Full Professor
Xavier Morvan, Responsable de la promotion des mathématiques / Outreach Officer
- EPFL, Laboratoire d'Informatique géométrique / Geometric Computing Laboratory
Mark Pauly, Professeur ordinaire / Full Professor
Avec / with Josua Putzke, artiste, dans le cadre du / as part of the Artist-in-Residence Program, EPFL, dirigé par / led by Giulia Bini

- UNIL, Département de microbiologie fondamentale, PRN Microbiomes / University of Lausanne, Department of Fundamental Microbiology, NCCR Microbiomes
Estelle Pignon, Doctorante / PhD Student
Yolanda Schaerli, Professeure associée / Associate Professor
- Naturéum (Muséum cantonal des sciences naturelles / Cantonal Museum of Natural Sciences)
Nicolas Meisser, Conservateur au Département de géologie / Curator at the Geology Department
Gilles Borel, Conservateur en chef du Département de géologie / Chief Curator of the Geology Department, Nadir Alvarez, Directeur / Director
- Université du Luxembourg, Département de Mathématiques / Department of Mathematics
Bruno Teheux, Professeur assistant / Assistant Professor

Collaborations artistiques et techniques / Artistic and Technical Collaborations

- Robert Turner Collective, SZKMD Production
- Ulysse Lacoste
- Emmanuel Baud
- Kirell Benzi
- Mario Gutiérrez & Reyna Juarez

Production EPFL Pavilions

- Marie Carrard, Responsable / Manager, Exhibitions & Programmes
- Anne-Gaëlle Lardeau, Responsable / Manager, Operations & Administration
- Alexia Panos, Assistante de production / Assistant Producer, Exhibitions & Programmes

- Loïc Sutter, Chargé de la communication / Communications Officer
- Jean-Pablo Mühlestein, Designer et technicien d'exposition / Exhibition Designer and Technician
- Ryan Jones, Technicien d'exposition / Exhibition Technician
- Audrey Hostettler, Médiatrice culturelle / Cultural Mediator
- Sophie Bauer & Stéphanie Romon, Assistantes administratives / Administrative Assistants

Prestataires / Suppliers

- Lamm & Kirch (Florian Lamm, Jakob Kirch): Design graphique / Graphic design
- Decora Publicité : Signalétique galerie, vitrines / Gallery and window signage
- Renov'immeuble : Peinture / Painting
- EPFL Repro, BSR imprimeurs : Impression / Print

Soutiens Financiers / Financial Supports

- EPFL, Institut de Mathématiques
- EPFL Pavilions
- EPFL, PRN MARVEL
- EPFL, Chaire de théorie des représentations / Chair of Representation Theory, Andrei Negut, Professeur ordinaire / Full Professor
- EPFL, Chaire de processus stochastiques / Chair of Stochastic Process, Thomas Mountford, Professeur ordinaire / Full Professor
- EPFL, Chaire de géométrie aléatoire / Chair of Random Geometry, Juhan Aru, Professeur assistant / Assistant Professor
- Université du Luxembourg, Département de Mathématiques / Department of Mathematics
- Fonds national de la recherche du Luxembourg / Luxembourg National Research Fund (FNR)

Remerciements / Thanks

- Maroussia Schaffner Portillo, assistante administrative / Administrative Assistant, Institut de Mathématiques / Institute of Mathematics, EPFL
- Yifei Guan, assistant-doctorant / Assistant PhD, Chaire de physique condensée / Chair in Computational Condensed Matter Physics, EPFL
- Manuel Leitons, Chef d'atelier de fabrication additive / Head of the Additive Manufacturing Workshop, EPFL



Institut de Mathématiques



UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG

Department of Mathematics