

N° EM : UD014157
Réal : François Xavier Vives
Continuité dialoguée
Un monde en plis
Le code origami

COMMENTAIRE : INTRO

01 :00 :06

Au Japon, pays de profondes traditions, des générations d'enfants apprennent le pliage de petits objets en partant de ce qu'il y a de plus simple : un carré de papier !

01 :00 :20

Le plus connu de ces papiers pliés est sans doute la grue. L'élégante grue japonaise devenue symbole du pays lui-même mais aussi de cette pratique du pliage appelée « origami ». En japonais, « Ori » signifie le pli et « Kami », le papier...

01 :00 :38

Au fil du temps, la pratique de l'origami s'est élevée au rang d'art véritable, porté par la spectaculaire inventivité de ses grands maîtres.

01 :00 :46

Mais depuis un quart de siècle, le petit monde de l'origami s'agite et s'élargit comme jamais auparavant... il est rejoint par la planète scientifique toute entière ! Plus aucun champ de la recherche n'échappe en effet à cette fascination pour l'art ancestral du pliage. Au carrefour de l'art et de la géométrie, l'origami s'invite dans tous les domaines de nos vies.

01 :01 :12

Et en explorant les systèmes de plis tout autour de nous, les chercheurs découvrent que la nature elle-même est sans doute le plus grand origamiste !

01 :01 :22

La compréhension de ces mécanismes pourrait même nous apporter davantage qu'une simple évolution technologique : une nouvelle conception de l'organisation des formes dans la nature, une nouvelle vision du monde révélée par les origamis... la révélation d'un monde en plis ?

TC : 01 :01 :36

Titre : Un monde en plis - le code origami

Erik et Martin Demaine IN

01 :01 :54

Martin Demaine

Do you want to look at the curved folding ?

Tu veux jeter un coup d'œil aux pliages courbes ?

01 :01 :57

Erik Demaine

Wow... Is this a new brand gen octopus ? The details on the suckers, on the tentacles. It's very lifelike.

Houa ! Tu as vu cette pieuvre ? Le détail des ventouses sur les tentacules... c'est très réaliste.

01 :02 :09

Commentaire

Erik et Martin Demaine admirent les splendides origamis exposés à la convention internationale Tanteidan à Tokyo.

01 :02 :24

Erik Demaine

Cool... this is the work of Barry Hayes !

Super, C'est les travaux de Barry Hayes !

01 :02 :29

Commentaire

Toujours le même point de départ, une seule feuille de papier... un nombre incalculable de plis et au bout du compte, une infinie variété de créations...

Erik et Martin Demaine IN

01 :02 :40

Erik Demaine

It's just like that...

Ça aussi, dis-donc...

Martin Demaine

Oh it's really well done!

C'est vraiment bien pensé !

01 :02 :42

Erik Demaine

You know humans started with their back's arched and now they resumed their arched backs.

Cette posture très expressive et comment il a traité le dos voûté...

01 :02 :49

Martin Demaine

Haha

01 :02 :50

Erik Demaine

It's crazy!
C'est dingue !

Commentaire

01 :02 :52

Mais Erik et Martin Demaine ne sont pas seulement des origamistes venus des Etats-Unis... Martin, le père, enseigne les arts plastiques au MIT à Boston et Erik, lui, est chercheur en mathématiques et informatique appliquées dans ce même fameux institut. Tous les deux sont des références incontournables de la planète origami, reconnus pour leurs apports artistiques et scientifiques.

01 :03 :12

Erik Demaine IN dans salle de cours

My father and my explorations into combining art and science through origami...

Avec mon père, nous combinons l'art et la science grâce à l'origami...

01 :03 :20

Erik Demaine

For me origami offered a very interesting geometrical challenge. The idea that you have one sheet of material, all you can do is fold it, no cutting, mathematically. You can't stretch the material and it's not allowed to intersect itself. Those seem like very simple rules and yet I was looking at the art that was possible with origami and it seemed very powerful.

L'Origami m'a offert un défi « géométrique » très intéressant. L'idée de n'avoir, comme seule matière, qu'une seule feuille et tout ce que vous pouvez faire avec c'est la plier, sans la couper. Vous ne pouvez pas étirer cette matière ni la croiser sur elle-même. Ces règles paraissent très simples et pourtant j'imaginai toutes les possibilités artistiques que pouvaient offrir l'origami. C'était très puissant.

Commentaire

01 :03 :49

Erik et Martin profitent de la convention pour rencontrer la légendaire Tomoko Fuse, vénérée dans l'art de l'origami comme un trésor national du Japon... Erik est ému, il a découvert l'origami grâce aux ouvrages de Tomoko. Et soudain, les voilà qui évoquent des projets en commun. Art et sciences se rencontrent et s'inspirent mutuellement. C'est l'image même de cette nouvelle ère, en train de s'ouvrir dans l'histoire de l'origami.

Echange Tomoko Fuse et Erik Demaine IN

01 :04 :14

Martin Demaine

And soon... we will work together...

Et bientôt nous travaillerons ensemble

01 :04 :17

Erik Demaine

Make something!

Créer quelque chose

01 :04 :19

Tomoko Fuse

Yeah make something... something new.

Oui oui créer quelque chose... quelque chose de nouveau

01 :04 :22

Martin Demaine

Something new yeah!

Quelque chose de nouveau oui

Commentaire

01 :04 :39

Depuis sa maison traditionnelle accrochée à une montagne de la préfecture de Nagano, Tomoko Fuse réfléchit, plie, invente de nouveaux types d'origamis.

01 :04 :52

Dans le calme, elle apporte patiemment sa modernité à l'art du pliage.

01 :05 :01

Ces dernières années, la science commence à s'intéresser de près à son travail.

01 :05 :08

Tout comme Erik Demaine, de nombreux scientifiques sont captivés par les énigmes géométriques générées par l'art du pliage.

01 :05 :17

Les modèles en papiers comme ceux de Tomoko sont de véritables casse-têtes pour mathématiciens, mais aussi d'incroyables sources d'inspirations si vous cherchez à mettre au point des structures transformables, légères et modulables faites d'un seul tenant...

01 :05 :36

Quelques plis sur une feuille et une structure prodigieuse surgit !

Commentaire

01 :05 :52

Au nord du Japon, L'Université d'Hokkaido disparaît sous le givre et la neige. C'est là que la jeune et talentueuse ingénieure Kaori Kuribayashi mène ses recherches dans le domaine des nouveaux outils médicaux.

01 :06 :04

Inspirés par une création de Tomoko Fuse, Kaori a eu l'intuition qu'un origami pouvait améliorer l'un des outils incontournables dans le traitement des maladies cardiovasculaires : les « stents ». Ces petites prothèses insérées dans une artère afin de la rouvrir mécaniquement et lui redonner un diamètre normal.

01 :06 :24

Les limites des stents classiques ? Ils combinent plusieurs matériaux dont du métal et demandent des manipulations délicates pour être correctement installés. Le stent de Kaori simplifierait tout ça...

01 :06 :35

Kaori Kuribayashi

I was looking for a particular pattern which can change a diameter. So you can see this, when you fold in this, the diameter really is small, but when we expand the diameter, making it quite large, that's what I really wanted to find out.

We can put it inside our body like that using a catheter and then once they reach in a certain position like then, we can open it up like this.

Je cherchais un modèle particulier qui pouvait changer de diamètre. Vous voyez là, quand on le replie comme ça, le diamètre est vraiment petit, mais quand on élargit le diamètre, ça le rend plus grand, c'est vraiment ce que je recherche...

Nous pouvons le mettre à l'intérieur de notre corps comme ça en utilisant un cathéter et ensuite une fois qu'il a atteint une certaine position, nous pouvons l'ouvrir comme ceci.

Commentaire

01 :07 :08

Le stent origami serait d'un seul tenant, et fait d'une matière se dilatant à la température du corps. Une fois libéré et en position, le stent se déploierait sans aucune manipulation.

01 :07 :19

Kaori Kuribayashi

So we need to have this pattern - particular - that kind of origami pattern to producing a new type of stent graft.

A pattern called a pineapple pattern or sea cucumber pattern. It's one sheet of paper for all these patterns.

Nous devons donc avoir ce modèle, en particulier, ce modèle d'origami pour produire ce nouveau type de stent.

Un schéma de pliage appelé « pineapple pattern » ou encore « concombre de mer ». C'est une seule feuille de papier avec tous ces plis à effectuer...

Commentaire

01 :07 :41

Ainsi, le pliage astucieux d'une petite feuille de papier ou d'un matériau approprié pourrait-il sauver des vies...

01 :07 :48

L'essentiel se joue ici dans ce que les origamistes appellent le « schéma de pliage ». Un schéma dessiné sur la feuille initiale et qui indique la marche à suivre : quels plis et dans quel ordre. En suivant le schéma de pliage pas à pas, on passe de la feuille plane à la forme en volume, de la 2D à la 3D. Et les schémas possibles semblent infinis. Seule l'imagination serait la limite. Une belle création humaine !

01 :08 :15

Mais d'ailleurs, est-ce seulement le fruit de la création humaine ?

Commentaire

01 :08 :20

L'architecte et designer Biruta Kresling développe à ce propos une étonnante approche...

01 :08 :28

Même s'il faut quelques minutes pour préparer la démonstration... Biruta affirme pouvoir créer un origami très complexe en moins... d'une seconde !

D'ailleurs, elle appelle cela un origami « instantané » !

01 :08 :42

Biruta Kriesling

Mit den Papierkegeln, die wir gestaucht haben, haben wir wieder eine Instant-Origami-Figur geschaffen, eine spontane Faltstruktur die ganz ohne Einwirkung einer wissenden Hand, entsteht automatisch, spontan, in einer Sekunde

Avec les cônes en papier, que nous avons compressés, nous avons créé un modèle d'origami instantané, une structure pliée qui se produit automatiquement, sans aucune intervention particulière, spontanément, en une seconde.

Dieser Papierkegel wurde zu einer logarithmischen Spirale, was typisch ist für jedes Wachstum in der Natur, was in Form von Rohren oder von Kegeln wächst (wie zum Beispiel)

Ce cône de papier écrasé suit une spirale logarithmique, qui est typique dans la nature lors des phases de croissance pour tout ce qui se développe en forme de tubes ou de cônes comme des pommes de pin.

Commentaire

01 :09 :22

Grâce à cette expérience, Biruta Kresling nous révèle que le pliage semble être au cœur de l'organisation naturelle de la matière. Et il ne s'agit pas d'une coïncidence isolée. Biruta a trouvé quantité de ces « origami instantanés » suivant différents schémas de pliages.

01 :09 :39

Qu'il s'agisse de géométries complexes ou bien de la plus élémentaire simplicité, c'est bien la nature l'origamiste !

01 :09 :50

Vincent Floederer

Je regarde la végétation naturelle là qui maintient le talus. Et donc il y a une diversité incroyable. C'est des sources d'inspiration. On voit des plis effectivement, du plus simple sur certaines graminées qui sont structurées autour d'un seul pli, qui leur donne quand même une structure. On appellerait ça du froissage parallèle avec des lignes qui sont parallèles tout le long. Là c'est un peu tôt encore, mais enfin bon, les plis on les voit déjà. On voit la naissance de tout ça.

Commentaire

01 :10 :30

Depuis son atelier sur les flancs d'un vallon de Corrèze, Vincent Floederer observe la nature tout en explorant les frontières de l'origami depuis déjà deux décennies. Et il a découvert une façon surprenante de plier le papier ! En le froissant ! Ce qui implique quelques libertés avec le dogme de l'origami traditionnel.

01 :10 :51

Vincent Floederer

Origami ça veut dire papier plié. Je ne fais rien d'autre que plier du papier, y compris quand je le froisse. On fait un pliage avec beaucoup de plis. Un froissage c'est un pliage qui comporte des centaines, des milliers, des millions de plis dans certains cas. Donc c'est difficile de dire à partir de quelle limite c'est un pliage ou s'en n'est pas. C'est quoi, c'est 100, c'est 200, c'est 1000, c'est 2000 plis. C'est quoi ? De toute façon c'est de même nature, il s'agit de plis.

Commentaire

01 :11 :19

Les papiers froissés de Vincent avec leurs milliers de plis sont venus conforter l'évidence d'un lien... celui entre pli et nature... Bien sûr, un champignon ou une pomme de pin, c'est un peu plus que du papier plié... la nature ne plie pas forcément comme Vincent, mais les analogies de formes, de textures... sont troublantes...

01 :11 :41

Vincent Floederer

J'ai un exemple dans les mains. Ça c'est pas mal. Pour moi ça c'est une suite de rectangles, ça ressemble étrangement à un cône, un strobile de pomme de pin. Ça fait même un peu le bruit quand on l'écoute. Voilà et si je déplie ce modèle, voilà j'ai une suite de rectangle. C'est une pure construction géométrique qui va s'auto organiser de cette façon-là. Toute cette technique de froissage est basée là-dessus. Donc ici, ça ressemble furieusement à une éponge, hein ! Ce sont des formes qui sont élastiques, qui sont modulables et pour moi ça c'est une suite de... c'est un pavage d'hexagones. Ça permet d'évoquer des questions comme celles qu'on appelle le phénomène de convergences qu'on va retrouver dans 2 milieux totalement opposés par exemple, le milieu marin et le milieu forestier on va retrouver des formes qui sont similaires. Certains coraux, ressemblent beaucoup à certains lichens ou à certains champignons. Ils ont exactement la même structure. Ils sont pas fait avec le même matériau mais ils ont la même architecture, on va dire. Il est question aussi d'architecture dans ce domaine.

Commentaire

01 :13 :01

Il semble donc qu'il existe une architecture naturelle reposant sur le pli. Mais si tel est le cas pourquoi ce recours au pli ? Quel avantage la nature aurait-elle à pratiquer l'origami et comment peut-elle produire des schémas de pliages aussi complexes ?

01 :13 :16

Tout comme le nord du Japon, Boston est encore sous plusieurs mètres de neige quand nous rencontrons le Professeur Mahadevan. Il nous conduit au cœur de l'arboretum d'Harvard où il espère nous montrer les repliements de certaines feuilles d'arbre en cours de croissance... Mathématicien de formation, il est surtout un inlassable admirateur des inventions de la nature. Mais cette année, l'hiver s'attarde et les bourgeons refusent de s'ouvrir...

01 :13 :42

Mahadevan

Origami as an art form has existed for a relatively short time, but nature has essentially coopted origami in many different systems. And one of those systems turns out to be leaves. And in particular if you look at horn beam or beech leaves, you find that those leaves are essentially closed in their bud in a way which is very reminiscent of origami.

In fact, if you essentially look at a horn beam or a beech leaves in its bud you will find that the fold patterns have a structure rather similar to this.

The ideal situation in fact you would have seen a horn beam or beeches leaf inside its bud in a form similar to what I'm showing you here by holding it in my hand. If I had opened the bud I would have expected to see a small version of this.

L'Origami en tant que forme d'art existe depuis assez peu de temps, mais la nature a associé l'origami à beaucoup de systèmes différents. Et l'un de ces systèmes ce sont les feuilles. Et particulièrement, si vous regardez les feuilles de Charmes ou de Hêtres, vous voyez que ces feuilles sont essentiellement fermées dans leur bourgeon d'une manière semblable à l'origami.

En fait, si vous regardez un bourgeon de feuille de Charme ou de Hêtre, vous constaterez que les schémas de pliage ont une structure plutôt semblable à ceci.

En fait, la situation idéale aurait été que vous voyiez une feuille de Charme ou de Hêtre à l'intérieur de son bourgeon avec une forme semblable à celle que je montre ici dans ma main. Si j'avais ouvert le bourgeon, je me serais attendu à voir une petite version de cela.

Commentaire

01 :14 :49

A Paris, le printemps est plutôt précoce et il permet à Biruta Kresling d'admirer le déploiement des feuilles de charmes et de tant d'autres espèces que Mahadevan cherchait dans le froid de Boston. Voilà qui confirme les hypothèses des chercheurs quant au schéma de pliage utilisé par la nature en pareil cas. Un type de pli en particulier est omniprésent... il s'agit du Miura Ori, selon le nom du maître Japonais de Biruta, le Professeur Koryo Miura qui fut le premier à le mettre en lumière. Et ce Miura Ori semble rencontrer un succès fou dans la nature !

01 :15 :23

Biruta Kriesling

Ich habe entdeckt, dass die Miura-Faltung, die eine sehr regelmäßige Aderung haben und Fältelungen haben und wenn man nun das Prinzip vergleicht, sieht man, dass ein Blatt eigentlich nur ein Detail von einer Miura-Faltung ist mit einer zentralen Ader hier und einer Fältelung, die seitlich abzweigt.

J'ai découvert ce qu'est le Miura Ori avec ses veines et ses plis très réguliers. Et si maintenant nous regardons le principe, vous pouvez vraiment voir qu'une feuille est simplement un détail d'un pli Miura Ori avec une veine centrale ici et un pli, qui part sur le côté.

Commentaire

01 :15 :48

Mahadevan s'élançait vers le tableau noir pour montrer comment la nature joue les origamistes en parvenant à plier du Miura ori...

01 :15 :55

Mahadevan

Think about the leaf as a relatively thin surface. And now it's growing. So it's growing and it's growing, potentially in both directions. If it's growing potentially in both

directions, so the thin sheet is growing faster than the bulk. And if it's growing faster than the bulk as I've shown you in these pink arrows, the bulk compresses the thin sheet. So there are two extreme possibilities. One possibility to the thin sheet to just bend in the two directions so to form something which looks like the surface of a balloon for example relatively small. But if you do that or if the sheet does that then it will have to pull under the substrate because that's the come out. And so that is energetically very expensive.

And there is another potential solution and the other potential solution is to have a much larger number of small bends and of course because it's been compressed in both different directions to grow up I must also have it in the opposite direction. So we can see now that I will have bends in one direction, I'll have bends in the other direction. Sharp bends and in between the sharp bends the sheet remains flat and the consequence is this structure.

So this tells you that the origami pattern is a consequence of growth associated with a growth stress because all patterns are not growing simultaneously and then a small thickness.

Envisageons la feuille comme une surface relativement fine. Et maintenant elle grandit ! Elle grandit, grandit... potentiellement dans les deux directions... Donc, si elle grandit dans les deux directions... la feuille grandit plus vite que son support, son substrat. Si elle grandit plus vite que son support, comme je vous le montre là avec ces flèches roses ici, alors le support comprime la feuille.

Il y a alors deux possibilités :

La première possibilité pour la feuille est de se courber dans les deux directions et donc de former quelque chose qui ressemble à la surface d'un ballon par exemple... relativement petit. Mais si la feuille fait ça, alors elle exerce une forte traction sur le substrat, c'est une loi physique ! Et cela s'avère très couteux énergétiquement.

Mais il y a une autre solution : celle qui conduit à de petites courbures mais plus nombreuses et comme bien entendu la compression se fait dans les deux directions lors de la croissance, les courbures se forment aussi dans la direction opposée.

Donc nous avons des courbures dans une direction et d'autres courbures dans l'autre direction.

Nous avons des courbures aigues entre lesquelles la feuille reste plate. Le résultat de tout ça c'est cette structure...

Voilà qui explique que ce schéma de pliage origami est la conséquence d'une croissance sous contrainte... sous la tension exercée par le support. Car toutes les couches vivantes ne pas grandissent simultanément. Enfin, il y a aussi la finesse de la surface qui joue.

Commentaire

01 :17 :41

Ainsi donc, ces géométries complexes que l'on croirait dessinées par l'homme proviennent-elles de contraintes physiques. L'une des principales contraintes que le pliage origami permet de résoudre c'est le problème de place pour développer ou contenir une structure vivante. L'origami sait faire petit et plat puis au contraire en se dépliant faire grand, 4 fois et demi plus grand dans le cas d'une feuille en Miura Ori.

01 :18 :07

La nature crée du Miura Ori et des dizaines d'autres schémas de pliages que la recherche ne cesse aujourd'hui de mettre au jour : Le « pineapple pattern » aperçu avec Kaori, le « pine cone pattern », et même le « twist buckling » pattern.

La nature plie donc de manière compulsive et pas seulement chez les végétaux !

Rien de mieux par exemple que quelques plis d'origami pour déployer plus rapidement une aile, ou réduire la place qu'elle occupe une fois repliée...

01 :18 :32

Mahadevan

I unfold it. Voilà. So there is this rather large and very beautiful wing and I just show you the reverse. The same thing when I fold it, it packs away and then it's packed. And let's do the same thing on the other side and just to show you an example of how this was. So this is the way the wing was folded and then it opens up, something like that...

This is my open wing... and this is my packed wing... Really beautiful... horn beetle from Thailand.

So evolution might have stumbled into folding patterns repeatedly because those allow you to have larger surfaces in a constraint geometry, in a constraint volume. And so it's not therefore perhaps a surprise that you'll see origami like folding patterns in wings, insect wings, leaves, you'll see it in the gut and if I'm allowed a small generalization you see similar kinds of folding patterns even in cortex.

Je déplie, voilà. On a cette aile assez grande et très belle, et je vous montre maintenant le mouvement inverse. Quand je la plie, elle part de l'autre côté et se retrouve comme retroussée. On va essayer de faire la même chose de l'autre côté et juste pour vous montrer la façon dont l'aile fonctionne : ça c'est l'aile pliée, puis elle s'ouvre, quelque chose comme ça, et ça c'est mon aile ouverte, et voilà mon aile fermée... Vraiment magnifique, ce scarabée de Thaïlande.

Ainsi de façon récurrente, l'évolution a dû retenir les systèmes de plis, parce que cela permet de développer de très grandes surfaces à l'intérieur de tous petits espaces ! Ce n'est donc pas surprenant de voir de l'origami dans les ailes d'insectes, les feuilles, l'intestin, et si vous me permettez cette extrapolation, on peut même voir des systèmes de pliage semblables sur le cortex.

Commentaire

01 :20 :07

Mahadevan et son équipe mettent au point des expériences afin d'étudier aussi la formation des plis dans les organes... (dans le cerveau notamment). Ils cherchent à confirmer que c'est toujours ce même principe de croissance mis en évidence avec les feuilles qui est à l'œuvre. Ici, le modèle est composé de deux couches de gel superposées. Plongée dans un solvant, la couche supérieure se dilate davantage que la couche interne. Mais retenue, freinée par la couche interne, elle se plisse. Alors soudain, les plissements du gel rappellent étrangement ceux de notre matière grise...

01 :20 :45

Devant une telle récurrence des systèmes de plis, difficile de ne pas y voir les bases d'une architecture naturelle universelle.

01 :20 :55

Mais si c'est à ce point universel, pourquoi le découvrons-nous seulement maintenant ?

01 :21 :01

Depuis Weimar, haut lieu de la culture allemande, un iconoclaste historien catalan : Joan Sallas, interroge méticuleusement le passé de l'art du pliage...

01 :21 :16

Joan Sallas

Wenn man diese Bibliothek, diese Sammlung von Belegen, bibliographisch und dokumentarisch betrachtet, merkt man, dass in ganz unterschiedlichen Sprachen - mehr als 30 - dann sieht man, dass die Falte Kunst ganz unterschiedliche Entwicklungen gehabt hat - in Materialien, in Falte Sequenzen, in Grundformen, in Modellen, in ästhetischen Objekten, Erkenntnissen. ...Und es gibt keinen Erfinder von der Falte Kunst es ist einfach die Natur. Und die Menschen haben einfach versucht, dieses Falten in der Natur zu entdecken. Und dann haben sie auch die Falte Techniken entwickelt und haben die Falte Kunst gestaltet. Dieser Prozess der Entdeckung in allen Völkern, in allen Ländern, in allen Kulturen produziert, nicht nur in einer. Genauso wie das Papier dann auch nicht nur aus China kommt. Das Falten kommt auch nicht aus Japan.

Lorsqu'on regarde de près cette bibliothèque, cette collection de documents - dans plus de 30 langues, vous vous rendez compte que l'art du pliage a eu des développements très différents, quant aux matériaux, aux schémas de pliages, aux formes, aux modèles, à l'esthétique... Il n'existe pas un inventeur de la technique de pliage. C'est juste que c'est dans la nature et les gens ont voulu découvrir la nature, et ils ont mis en œuvre leurs propres techniques de pliage, les ont développé et personnalisé.

Et en réalité, ce processus a eu lieu dans chaque nation, dans chaque culture, pas dans une seule. Tout comme le papier ne vient pas uniquement de Chine, l'art du pliage ne vient pas uniquement du Japon.

Commentaire

01 :22 :22

Il suffit à Joan Sallas de choisir un livre de sa collection pour contrecarrer les idées reçues : comme croire cet art indissociable de l'Asie alors qu'il connaît aussi un développement considérable en Europe Centrale dès la Renaissance et même avant.

Croire aussi que l'art du pliage a attendu le papier pour s'exprimer...

01 :22 :42

Joan Sallas

Bevor das Papier nach Europa kam, hat man ganz viel ohne Papier gefaltet. Man hat andere Materialien benutzt, zum Beispiel Leder, zum Beispiel Leinen, Stoffe aller Art und Weise, Naturmaterialien. Und das hat sich im Rahmen eines kulturellen Austauschs zwischen den verschiedenen Ländern, die seit der Antike in Europa waren, produziert. Und auch die Ägypter, Griechen, Römer haben das ausgetauscht und verbessert und nicht nur die Materialien, sondern auch die Falt-Techniken verbessert und auch konzeptuelle, symbolische Sachen, womit alle Projekte geprägt waren, die sie gefaltet haben. Und diese sind auch von einem zum anderen Land übertragen worden durch die Jahrhunderte.

Avant que le papier ne soit arrivé en Europe, les gens ont beaucoup plié sans papier, on a utilisé d'autres matériaux, par exemple le cuir, mais aussi le lin, des tissus de toutes sortes... Ça a été un échange culturel entre les différents pays en Europe, et cela depuis l'Antiquité. Les Egyptiens, les Grecs, les Romains se sont échangés et ont amélioré non seulement les matériaux, mais aussi les techniques de pliage, les éléments symboliques et conceptuels, Et ils les ont amélioré. Ce savoir a été transféré d'un pays à l'autre depuis des siècles.

Commentaire

01 :23 :29

Ainsi les hommes ne cessent-ils d'explorer la géométrie du pliage. Quelles que soient les communautés humaines, son esthétique et sa complexité requièrent un haut niveau de connaissance. En acquérir la maîtrise confère autorité et pouvoir. Car maîtriser la complexité du pliage, c'est chercher à égaler la nature, se mesurer à elle, en maîtriser les lois fondamentales.

01 :23 :50

Même inconsciemment, les maîtres contemporains de l'origami ne sont-ils pas portés par ce même désir : maîtriser les lois du pli au moins aussi bien que la nature ?

01 :24 :03

Mais de quelle manière relèvent-ils aujourd'hui ce défi ?

01 :24 :11

Demandons à l'un des pionniers de la révolution scientifique de l'origami : le mathématicien et plieur infatigable Robert Lang. Son propre lien à la nature il le régénère en arpentant les chênaies de sa vallée californienne.

01 :24 :30

De retour dans son studio, Robert se lance dans un nouveau pliage. Aujourd'hui, une araignée, une veuve noire. Par ses travaux, il a bouleversé et radicalement modernisé l'art du pliage. La première étape de sa démarche reste néanmoins assez classique : analyser et mesurer le modèle. Le simplifier ensuite sous forme de squelette afin de pouvoir le transposer en un schéma de pliage. Mais là où Robert a tout changé, c'est en créant un logiciel appelé « Tree-maker » capable de générer informatiquement les schémas de pliage.

01 :25 :06

Robert Lang

So that's now a crease pattern for the spider. It's got all the parts. You can see roughly the allocation by the shapes that each of these hexagons are still outlining the legs. So there's a leg, front leg, middle leg, middle leg, back leg, back leg, middle leg, middle leg, front leg. This will be the body in the middle.

Ça c'est un schéma de pliage pour l'araignée. Il y a les différentes parties. Vous pouvez voir grossièrement par la répartition des formes, que chacun de ces hexagones représentent bien les pattes. Donc il y a une patte, la patte de devant, la patte du milieu, la patte du milieu, la patte arrière, patte arrière, patte du milieu, patte du milieu, patte de devant. Et au milieu ce sera le corps.

Commentaire

01 :25 :32

Autre innovation : Imprimer ce schéma de pliage sous forme de pointillés percés par un traceur laser.

01 :26 :02

C'est en suivant ce tracé que Robert va pouvoir pré-plier l'ensemble de la forme. Avec Robert et ses logiciels comme « Tree-maker », les mathématiques s'invitent dans le monde de l'origami comme jamais auparavant.

01 :26 :16

Robert Lang

Math has been such an important part of how I approach origami. I'm sure I would've still enjoyed it, I enjoyed it for the years before I applied math to it. But having mathematics available to this, made it much, much more interesting.

Well I started origami when I was about six. And I encountered some instructions in a book, and just coincidentally enough, one of them was for a spider. Considerably easier spider than this one, but I was hooked. And I think the thing that hooked me was the idea that all you needed was a sheet of paper and knowledge. The knowledge of how to fold. Nothing else. You didn't need extra parts that could wear out. Just paper and paper was available anywhere.

This spider shares something in common with most other origami figures. Even going back to that very first figure I folded. This is still after all this manipulation, an uncouth square of paper.

Les maths ont eu une grande importance dans mon approche de l'origami. Je suis sûr que j'aurai quand même adoré ça. J'ai aimé l'origami pendant des années avant que je n'y associe les maths. Mais d'avoir la possibilité d'y appliquer les mathématiques, ça rend la chose beaucoup, beaucoup plus intéressante.

J'ai commencé l'origami quand j'avais six ans. J'ai trouvé quelques instructions dans un livre et coïncidence, c'était pour fabriquer une araignée. Une araignée considérablement plus facile que celle-ci, mais je suis devenu accro. Et je pense que la chose qui m'a accroché était l'idée que tout ce dont vous aviez besoin était une feuille de papier et un certain savoir. La connaissance de la technique de pliage. Rien d'autre. Vous n'aviez pas besoin d'autres composants supplémentaires qui pourraient s'user... Juste le papier et le papier était disponible n'importe où.

Cette araignée a quelque chose de commun avec la plupart des autres figures d'origami. Y compris la toute première figure que j'ai pliée. Même après toutes ces manipulations, ça reste un simple carré de papier.

Commentaire

01 :27 :56

Robert Lang a ouvert la voie en créant les premiers algorithmes de pliage, les premiers outils informatiques qui offrent un énorme gain de temps et la maîtrise de cette incroyable complexité... Mais la soif de maîtrise pousse plus loin encore... vers le graal de l'origami : pouvoir tout plier !

C'est ce que cherche le designer et informaticien Tomohiro Tachi. En duo avec Erik Demaine, il met au point le système « Origamizer », le premier logiciel capable de produire le schéma de pliage de n'importe quelle forme en 3D même la plus complexe. Cependant pour Tomohiro le graal était plutôt... une thière !

01 :28 :32

Tomohiro Tachi

So the objective was to make any polyhedral surface out of a sheet of paper. And I tried to make a geometric way of constructing that, which is something like this. So this one is folded from a sheet of paper and I folded this in 2006.

The teapot is well known for computer graphics community. And it is kind of a test model.

This took a lot of time for me to design but as I knew that once I folded this one, I knew that it is possible to make almost anything.

L'objectif était donc de faire n'importe quelle surface polyédrique à partir d'une feuille de papier. Et j'ai essayé de suivre une voie purement géométrique pour construire cela, et voilà ce que ça donne. Donc ceci est plié à partir d'une seule feuille de papier et je l'ai plié en 2006.

La théière est très connue de la communauté des infographistes. Il s'agit d'une sorte de modèle test.

Cela m'a pris beaucoup de temps pour la concevoir, mais je savais qu'après avoir réussi à plier cette théière, il était presque possible de tout plier.

01 :29 :15

Erik Demaine IN

And let's run Origamizer...

Alors lançons Origamizer!

Commentaire

01 :29 :18

Erik nous décrit le principe de base à l'aide de 3 carrés formant le plus simple des volumes... comme une moitié de cube. Le défi informatique ici : créer un schéma de pliage en 2D, sur une simple feuille, un schéma qui organise le papier de sorte qu'une fois plié seule la forme désirée est apparente ! La matière en trop est cachée.

01 :29 :38

Erik Demaine

So, I've printed that pattern out. It looks like this. I changed the colours a little bit. So, we've got the three squares and we've got some creases to get rid of the stuff in between.

So let's do some folding.

J'ai imprimé ce modèle. Il ressemble à ça. J'ai changé un peu les couleurs. Donc, nous avons les trois carrés et nous avons quelques plis pour se débarrasser de la matière au milieu.

Faisons un peu de pliage.

01 :29 :56

Erik Demaine

The main idea is pretty simple. We're folding along these bisectors to bring two edges of the two squares together. So, something like this. So, the two squares are good. Getting all three at once, though, that's a little trickier.

Yes, so we made exactly what we wanted. I guess I had some extra material out here. I can just fold that away. That's not too bad.

L'idée principale est assez simple. Nous plions le long de ces bissectrices pour mettre les deux bords des deux carrés ensemble. Quelque chose comme ceci. Les deux carrés sont bons. Rassemblons les trois à la fois, c'est un peu plus délicat.

Donc nous avons fait exactement ce que nous voulions. Je suppose que j'ai un peu de matière supplémentaire ici. Je peux juste la replier. C'est pas mal.

Commentaire

01 :30 :28

Les algorithmes qu'Erik et Tomohiro mettent au point sont en fait des outils d'organisation de la matière. A partir de n'importe quelle surface plane il sera possible de créer une forme en 3D. Une seule matière première, une seule pièce, un seul procédé : le pliage. C'est une façon de fabriquer totalement nouvelle, proche des processus naturels et offrant d'immenses perspectives !

01 :30 :55

Tomohiro Tachi

Erik and I will prove that any shape is foldable from a sheet of paper. Yeah, I am, we are very excited about that.

Erik et moi prouverons que toute forme est pliable à partir d'une feuille de papier. Oui, je suis... nous sommes très enthousiastes à ce sujet.

Commentaire

01 :31 :10

Erik et Tomohiro ne sont pas loin du but ! En attendant, grâce à leurs travaux et avant eux, ceux de scientifiques comme Robert Lang, les objets inspirés par les origamis surgissent déjà dans notre quotidien : les airbags de nos voitures, la déco, les emballages, l'architecture, la mode... leur utilité peut toucher tous les domaines même les plus improbables comme avec le projet Starshade. Un programme de la Nasa pour l'observation des exo-planètes. Le déploiement d'un disque de 35 mètres de diamètre bloquera la lumière des étoiles autour desquelles gravitent les exo-planètes, améliorant ainsi leur détection par les télescopes spatiaux...

01 :31 :58

Erik Demaine

In the last few years there's been a lot more excitement about the engineering and science applications of origami. You can make practical structures that fundamentally change their shape. Either going from a flat thing or very tightly folded thing and being able to deploy into different sizes or completely change their structure,

changing from one shape to another by folding. Folding gives you a way to think about shape transformation. Like transformers, which I grew up with. This may be one of the motivations.

Au cours des dernières années il y a eu beaucoup plus d'engouement au niveau de l'ingénierie et des applications d'origami en science. Vous pouvez faire des structures fonctionnelles qui changent fondamentalement leur forme. Partant d'une chose plate ou d'une chose complètement pliée et étant capable de se déployer dans des tailles différentes ou de changer complètement leur structure, passant d'une forme à une autre en se pliant. Le pliage vous donne le moyen de penser à la transformation des formes. Comme les Transformers, avec lesquels j'ai grandi. C'est peut-être une des motivations ?

Commentaire

01 :32 :40

Le défi de la maîtrise du pli est en passe d'être remporté. Pourtant la révolution origami n'est pas la déferlante qu'on pourrait attendre... Au-delà de quelques objets quotidiens et de splendides prototypes comme cet abri d'urgence inventé par Tomohiro, la logique origami peut-elle réellement se généraliser dans nos sociétés comme elle l'est déjà dans la nature ?

01 :33 :06

Yves Klett de l'Institut de Design Aéronautique de Stuttgart y croit, et il y travaille en portant l'origami dans le monde de l'industrie...

01 :33 :14

Yves Klett

Wir waren auf der Suche nach neuen Kernmaterialien für Sandwich-Anwendungen, für Leichtbauanwendungen. Und wir fanden diese Strukturen, die vom Origami inspiriert sind. Und es hat sich gezeigt, dass diese Strukturen sich hervorragend eignen, um Kernstrukturen für Sandwich-Anwendungen zu bauen. Eine typische Sandwich-Konstruktion sieht so aus: wir haben zwei Deckschichten und wir haben in diesem Fall einen gefalteten Kern dazwischen. Und was wir gewinnen, ist eine enorme Stabilität. Wir haben eine sehr leichte Struktur, die sehr hohe Lasten ertragen kann. Also ich kann jetzt dieses Teil hier gar nicht mehr zerdrücken, während der Kern an sich relativ wenig Stabilität aufweisen würde. In der Kombination bekommen wir aber sehr, sehr leichte und sehr leistungsfähige Bauteile. Aber clever gesetzte Falten kann man aus einem einfachen Stück Papier eine Struktur machen, die mehrere Tonnen aushalten kann.

Nous étions à la recherche de nouveaux matériaux pour les applications qu'on appelle « sandwich », des applications à structures légères. Et nous avons trouvé ces structures, qui sont inspirées par l'origami. Elles sont idéales pour applications de type « sandwich ». Une construction de type « sandwich » ressemble à ceci :

nous avons deux couches extérieures et, dans ce cas, nous avons un noyau plié entre les deux. Et ce que nous gagnons est énorme, en termes de solidité. Nous avons une structure très légère, qui peut résister à des charges très élevées. Je ne peux désormais plus écraser cette partie, alors que le noyau, en tant que tel, pourrait s'avérer fragile. Avec cette combinaison, nous obtenons des composants très, très légers et très résistants. Avec quelques plis astucieux, vous pouvez concevoir une structure, qui peut résister à plusieurs tonnes, avec un simple morceau de papier.

01 :34 :34

Yves Klett

Das Experiment war erfolgreich. Wir konnten mit dem Auto auf wenige Gramm Papier fahren. Und damit haben wir gezeigt, dass diese Idee, Origami für Leichtbaustrukturen zu verwenden auch wirklich funktioniert. Da freuen wir uns. Und es ist erstaunlich, was man mit wenigen Gramm Papier alles ausrichten kann. Diese Struktur kann auch noch höhere Lasten ertragen.

Notre expérience a marché. On a pu rouler sur seulement quelques grammes de papier avec une voiture. Et cela montre que notre idée d'utiliser de l'origami pour des constructions légères fonctionne véritablement. C'est vraiment surprenant ce qu'on peut faire avec juste quelques grammes de papier. En sachant que cette structure est capable de supporter un poids bien plus élevé encore !

Commentaire

01 :34 :56

En nous aidant à construire léger et résistant, l'origami pourrait en effet jouer un large rôle dans les technologies innovantes. Mais il souffre d'un important handicap pour son industrialisation : la nécessité de la main humaine pour le pliage ! Yves Klett en a bien conscience et tient peut-être la solution ? Solution qu'il garde d'ailleurs en partie secrète...

01 :35 :17

Yves Klett

Ein interessanter Aspekt ist natürlich, dass man mit Origami theoretische sehr, sehr viel Verwirklichen kann. Ich kann sehr viele verschiedene Strukturen falten. Aber nicht alle dieser Strukturen eignen sich jetzt für den industriellen Einsatz. (sondern) da brauche ich eine Struktur, die immer aus den gleichen Elementen aus wiederholten Elementen besteht, die ich auch automatisiert herstellen kann. Und deswegen arbeiten wir mit solchen tessellations, die sehr regelmäßig sind. Die bestehen aus sehr einfachen Einheitszellen, sehr einfachen Elementen, die dann immer und immer wieder wiederholt werden. Und nur so kann man dann auch automatisiert gewährleisten, dass wir die Strukturen effizient herstellen können.

Ce qui est très intéressant avec l'origami c'est que vous pouvez réaliser théoriquement tous les objets que vous voulez... un nombre incalculable de

structures différentes. Mais toutes ces structures ne sont pas adaptées à l'heure actuelle à une utilisation industrielle. Pour l'automatisation, la structure doit être plus ou moins uniforme, je ne peux pas produire des plis différents partout. J'ai forcément besoin d'une structure qui se compose toujours des mêmes éléments, des éléments récurrents, dont je peux automatiser la fabrication. Et voilà pourquoi nous travaillons avec des trames qui sont très régulières. Elles sont constituées de cellules unitaires simples, très simples même, des éléments qui seront ensuite répétés encore et encore. Ceci est le seul moyen pour que les structures soient produites efficacement et automatiquement.

01 :36 :26

Yves Klett

Und genau da stehen wir jetzt. Wir haben Prototypenanlagen, die automatisch falten und jetzt arbeiten wir zusammen mit Industriepartnern daran, daraus Produkte zu entwickeln.

Et voilà où nous en sommes. Nous avons mis au point des prototypes de machine pour le pliage automatique et maintenant nous travaillons avec des partenaires industriels pour développer des produits avec eux.

Commentaire

01 :36 :42

Ainsi sommes-nous en passe de savoir tout plier, même à échelle industrielle si besoin ?

Mais sommes-nous pour autant aussi efficace que la nature en matière de pliage ? Peut-être pas tout à fait ? Car la nature garde un avantage : elle assemble et pli automatiquement pourrait-on dire ? Et là... difficile de rivaliser !

01 :37 :25

Robert Wood Student IN

Okay, there is a flight in three, two, one... go!

Bien, il y a un vol dans trois, deux, un ... Partez!

Commentaire

01 :37 :37

A l'Université d'Harvard, l'équipe de roboticiens dirigée par Robert Wood se passionne pour cette aptitude de la nature à auto-assembler des formes par repliement. Pour Robert Wood, la nature en fait nous montre la voie pour construire plus librement à de petites échelles. Et c'est toute la robotique qui pourrait en être révolutionnée !

01 :37 :59

Robert Wood

If I think about an example of assembling a car, you know, however many thousands or tens of thousands of components go into that.

Now if I want to assemble something maybe not that complicated but similar complexity down on the scale of an insect or even smaller you're not going to be able to do the sort of nuts and bolts approach. You're not going to be able to hand assemble hundreds or thousands of components together.

On the other hand if you can do things that are self-assembled and in our case we use folding at the self-assembly means that it allows you to do things faster, more precise.

Si je pense à l'exemple de l'assemblage d'une voiture, des milliers, des dizaines de milliers de composants sont requis.

Maintenant si je veux assembler quelque chose peut-être pas aussi compliqué mais qui se situe à l'échelle d'un insecte ou encore plus petit, je ne vais pas être capable d'avoir une approche du type pièces détachées ! On ne va pas pouvoir assembler des centaines ou des milliers de composants.

En revanche si on peut faire des choses qui sont auto-assemblées et dans notre cas nous utilisons le pliage comme moyen d'auto-assemblage, ça va nous permettre de faire des choses plus rapidement, plus précises.

Commentaire

01 :38 :42

Robert Wood encourage son équipe à prendre des libertés par rapport aux règles de l'origami : Il invite à pratiquer quelques coupes et à empiler les pliages. Les possibilités se décuplent alors et, un peu comme la nature ferait éclore une fleur ou s'animer un bourgeon, le corps d'un mini robot se déploie, simplement par changement de température ou passage d'un courant électrique... les moyens différents de ceux de la nature, mais la logique reste très proche.

01 :39 :09

Robert Wood

Now that we have the ability to manufacture small articulated actuated things like the RoboBee we can apply these techniques to other areas: Consumer electronics is one, surgical robotics is another. Places where you'd want various small featured sizes or cheap disposable things with you know any arbitrary material, rapid prototyping etc. This is what really motivates us, is these sorts of application areas.

Maintenant que nous avons la capacité de fabriquer de petites choses actionnées et articulées comme le RoboBee, nous pouvons appliquer ces techniques à d'autres domaines: l'électronique grand public par exemple, ou la robotique chirurgicale. Des endroits où on voudrait des dispositifs de petites tailles, ou des choses jetables bon marché, un prototypage rapide etc. Ce qui nous motive vraiment, c'est ce genre de domaines d'application.

Commentaire

01 :39 :39

Robert Wood fait donc se rencontrer robotique et biomimétique grâce à la maîtrise de l'auto-repliement. L'un des derniers né du labo en témoigne : découpé dans une seule feuille en polymère, ce robot s'auto-repli à l'aide de charnières actionnées par augmentation de température... quand il a atteint sa forme définitive, ses petits moteurs embarqués s'activent d'eux-mêmes, animent ses pattes et il part en vadrouille...

Le petit robot a fait le tour de la planète, au moins sur internet, tant il a bluffé la communauté des chercheurs...

01 :40 :10

La nature construit en pliant et avec l'origami nous apprenons donc à faire de même. Ce n'est que le début d'un processus, mais force est de constater qu'on ne se débrouille déjà pas si mal...

Commentaire

01 :40 :26

Le biologiste Ivan Huc considère néanmoins qu'en matière d'auto-repliement inspiré par la nature, il est possible d'aller beaucoup plus loin qu'on ne l'imagine... Car si la nature construit en pliant, nous n'avons peut-être pas réalisé à quel point et surtout jusqu'à quelle échelle !

Ivan n'est pas un bricoleur du dimanche, il dirige l'Institut Européen de Chimie et de Biologie installé à Pessac près de Bordeaux. Avant de rejoindre son labo, il est venu chercher de quoi nous montrer combien la vie est une affaire de pli !

01 :40 :58

Ça peut paraître étrange, mais pour Ivan différentes charnières accrochées à la suite les unes des autres fournissent un exemple simple et parlant des mécanismes essentiels du vivant.

01 :41 :16

Et oui, les molécules de la vie : les acides nucléiques comme L'ADN qui porte rien moins que nos gènes et les protéines qui sont les chevilles ouvrières de notre organisme, sont des chefs d'œuvre de pliages en 3 dimensions ! Et il y a des très bonnes raisons à cela...

01 :41 :34

Yvan Huc

Le vivant, on peut avoir un niveau de description qui est la constitution de système organisé. On part d'un environnement naturel qui est chaotique et la caractéristique du vivant c'est qu'il s'organise et qu'il s'auto organise. Et ce processus d'auto organisation il démarre à l'échelle moléculaire et les plus petits objets très organisés qu'on voit dans le vivant, c'est les protéines repliées, les acides nucléiques avec leurs motifs repliés également.

Commentaire

01 :42 :04

L'intérieur de nos cellules n'est pas un monde paisible ! Car à l'échelle des molécules, l'agitation est énorme. Un univers de chocs et de mouvements incessants. Or pour fonctionner, le vivant a besoin de stabilité. Cette stabilité, il la trouve dans l'auto assemblage d'objets repliés. Les protéines qu'étudie Ivan Huc en sont le parfait exemple.

Les protéines sont assemblées dans la cellule à partir d'éléments s'accrochant les uns aux autres comme le train de charnières fabriqué par Ivan : d'incroyables petits origamis, pliés non pas à partir d'une feuille, mais de brins à une dimension.

01 :42 :42

Yvan Huc

[Voilà l'ensemble est constitué.](#)

Commentaire

01 :42 :49

Chaque charnière étant articulée selon un angle disons idéal, la protéine se replie et se tortille jusqu'à atteindre sa forme repliée stable.

01 :43 :00

Le brin à 1 dimension devient alors un objet stable en 3 dimensions capable de résister au tumulte du monde cellulaire !

01 :43 :09

Autant de protéines autant de formes repliées différentes. Et à chaque forme, une fonction : Toutes les fonctions vitales de notre métabolisme : la respiration par exemple avec l'hémoglobine qui fixe l'oxygène.

01 :43 :20

Yvan Huc

[Donc la fonction dérive de la forme dans le vivant et ce que ça sous-entend c'est que si l'objet n'est pas replié correctement la fonction sera altérée. Il y a beaucoup de pathologie connues qui sont liées à des défauts de repliements](#)

Commentaire

01 :43 :33

En effet, un défaut dans le repliement de l'hémoglobine et les globules rouges n'auront plus leur forme optimale, ils n'emporteront plus assez d'oxygène, entraînant une maladie redoutable appelée anémie falciforme ou drépanocytose...

01 :43 :50

Comprendre le repliement des protéines est donc une préoccupation majeure de la recherche contemporaine. Déceler les défauts de plis, savoir les réparer, ce serait un immense progrès. Mais il y a tellement de combinaisons possibles de plis que pour l'instant, les chercheurs se perdent en route.

En revanche, ils peuvent s'inspirer du principe !

L'idée : mimer l'auto-assemblage d'une protéine mais en se limitant à une forme simple, une forme dont on peut créer et exécuter le schéma de pliage de manière contrôlée.

01 :44 :20

C'est le projet des Foldamères, terme issus de « fold », plier en anglais et « mère » l'unité en chimie - comme dans « polymère » - les maillons en quelques sortes.

01 :44 :32

Yvan Huc

Donc là on est en train d'assembler des foldamères. Le processus passe par l'activation des maillons un par un pour les accrocher à la chaîne et de cette façon-là on peut avoir des maillons qui sont tous différents des uns des autres. C'est surtout une gestuelle. C'est de la manipulation. C'est vraiment fait à la main, avec les mains. Néanmoins, les propriétés des objets qui sont fabriqués sont extrêmement sophistiqués.

Commentaire

01 :45 :00

Avec les foldamères, la logique origami nous permet de créer des nouvelles molécules chargées de fonctions spécifiques : livrer des médicaments au cœur des cellules malades ou comme dans cet exemple, détecter des substances indésirables ou même toxiques. Le foldamère ici en forme d'hélice s'ouvre pour piéger une molécule de la substance recherchée et se referme pour la capturer. Une fois la substance capturée, le foldamère émet de la lumière par fluorescence, signalant ainsi la détection.

01 :45 :30

Avec les foldamères nous assistons à l'apparition de nouveaux outils inspirés des systèmes de plis et opérant à des échelles infimes.

01 :45 :53

Nous attendions-nous à débusquer la logique origami à une si petite échelle ? Le pli est au cœur de la vie. C'est en quelque sorte son mécanisme fondamental !

01 :46 :06

Et cela quelle que soit l'échelle à laquelle nous observons...

Commentaire : début seq Neyrinck

01 :46 :16

Sur la côte Est des Etats-Unis, à Baltimore, une application pour le moins inattendue de l'origami se développe.

01 :46 :26

Un astrophysicien de l'université Johns Hopkins, Mark Neyrinck, met au point un nouveau modèle pour expliquer les structures de l'univers.

01 :46 :46

L'un des grands défis de l'astrophysique contemporaine réside dans la création de modèles pour parvenir à représenter la structure de l'univers et les différents types de matières qui le composent. Il y a la matière dite « ordinaire » qui répond aux lois classiques de la physique et dont nous sommes faits ainsi que planètes et soleils, mais aussi la très énigmatique matière noire, plus abondante, mais que nous ne pouvons pas voir... Le domaine de prédilection de Mark Neyrinck c'est la matière noire...

01 :47 :13

Mark NEYRICK

The dark matter started to accumulate into clumps almost immediately after the big bang and we wouldn't have as much structures as we see in the universe today if there hadn't been this dark matter. It started to clump immediately.

The normal matter started to form structures based on the ground work, the skeleton that the dark matter laid down right away. So the dark matter is really the basis of understanding of the structures that we see today. Except deeply inside galaxies where ordinary matter of course plays a huge role.

La matière noire a commencé à s'accumuler presque immédiatement après le big bang et nous n'aurions pas toutes les structures que nous voyons dans l'univers aujourd'hui s'il n'y avait pas eu cette matière noire. Elle a commencé à s'agglomérer immédiatement.

La matière « ordinaire » a commencé à former des structures basées sur la matrice, le squelette que la matière noire avait laissé. Donc la matière noire est vraiment à la base de la compréhension des structures que nous voyons aujourd'hui. A l'exception de ce qui se passe à l'intérieur même des galaxies où la matière ordinaire joue évidemment le rôle principal.

Commentaire

01 :47 :56

Mark cherche à modéliser le réseau de matière noire qui structurerait l'univers, avec ses filaments tissés dans les immensités cosmiques et ses points de chevauchements, des nœuds au sein desquels la matière ordinaire s'est concentrée. Pour figurer la dynamique des filaments de matière noire au niveau de ces nœuds, Mark utilise des formes géométriques. En l'occurrence des polygones qui se superposent. Au centre, une structure triangulaire apparaît... Or inspiré par les

origamis, Mark a découvert qu'un pliage en torsion restitue idéalement le mécanisme de ces nœuds de matière noire.

01 :48 :28

Mark NEYRICK

So in a twist fold, you have small polygons. Let's say a triangle. So here we have a triangle and going from the unfolded to the folded state entails twisting that triangle. Even though this is a dark matter structure, it accretes regular matter towards it.

So the galaxy would form here. So that is pretty simple. I think it is engaging, because you can actually form a model of the universe. You can fold your own universe. It's a strong approximation that the universe forms like an origami model. The way that the elements of the cosmic web are spinning are very explicit in this model.

We see in the universe that neighbouring galaxies tend to be rotating in the same direction and that actually relates to this origami model.

Avec un pli en torsion, vous avez de petits polygones. Disons un triangle. Ainsi ici nous avons un triangle et passer de l'état déplié à l'état plié cela implique de tordre le triangle.

Bien que ceci soit une structure de matière noire, il y a aussi accumulation de matière ordinaire dans sa direction.

Donc la galaxie se formerait ici. C'est assez simple. Je pense que c'est très prometteur parce qu'on peut fabriquer un modèle de l'univers. On peut plier notre propre univers. C'est une approximation crédible qui permet de montrer que l'univers se forme selon un modèle origami. La façon dont les éléments du cosmos tournent, est très explicite avec un tel modèle.

Nous voyons dans l'univers que les galaxies voisines ont tendance à être en rotation dans un même sens et c'est ce que montre ce modèle origami !

Commentaire

01 :49 :41

Mark a proposé à ses étudiants de plier un modèle en papier issu de ses derniers travaux. Le schéma de pliage représente l'organisation de la matière noire dans une portion de l'espace.

01 :50 :02

Les points figurent les galaxies. Là où sont les plis en torsion, il y a accumulation de matière noire et donc un plus grand nombre de galaxies. Le modèle reproduit également avec justesse le sens de rotation des galaxies et leurs interactions !

01 :50 :17

Mark Neyrick IN

Leave some slack in the paper because it's gonna contract.

Ne tendez pas trop le papier, parce qu'il va se contracter ensuite...

Commentaire

01 :50 :26

Mark est ravi de la pertinence de son modèle origami. Dans un domaine où l'abstraction scientifique rend la connaissance difficile à appréhender... l'approche par le pliage apporte un peu de concret et de beauté. Elle nous captive et nous aide à rêver, sans doute plus facilement que devant des lignes d'équations ?

Commentaire : conclusion

01 :50 :49

Voyager dans la logique origami nous offre des clés fondamentales pour la compréhension de l'univers. Des immensités de l'espace jusqu'au cœur de nos cellules.

01 :51 :01

Ce voyage est initié par un mariage inédit entre l'art et la science. Comment imaginer que le pliage d'une simple surface plane nous porte vers la découverte d'un code universel de la nature ? Pourtant quelque soit l'échelle à laquelle nous les observons, les systèmes de plis sont à l'œuvre. Ils nous aident à comprendre comment la nature se structure et s'organise. Comment le vivant se développe et se maintient.

01 :51 :27

Nous nous en inspirons pour créer et construire un peu à sa manière. A mesure que se révèle à nous notre monde en plis...

Fin