Les machines mathématiques par César Bonatti

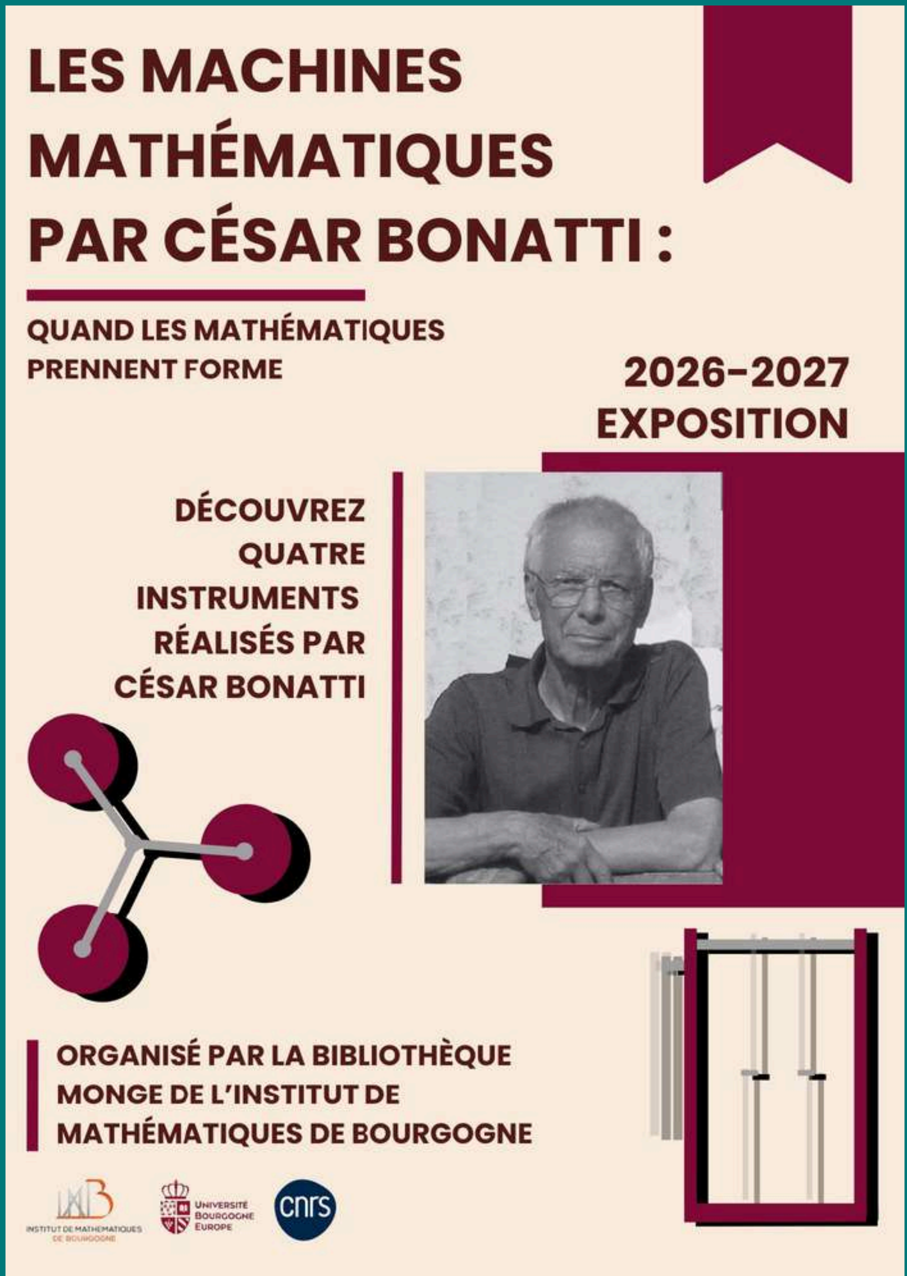
EXPOSITION
2026-2027
À L'IMB
UMR 5584

ORGANISÉE
PAR LA
BIBLIOTHÈQUE
MONGE

INSTIGATEUR : José Luis JARAMILLO
AUTEUR DES TEXTES : Christian BONATTI
CONCEPTION : Mathilde GUIGUI
COORDINATION : Noémie PERRIN et José Luis JARAMILLO

INSTITUT DE MATHEMATIQUES DE BOURGOGNE
UNIVERSITÉ BOURGOGNE EUROPE
cnrs

— Affiche



LES MACHINES MATHÉMATIQUES PAR CÉSAR BONATTI

Donnez-nous votre avis sur l'exposition !

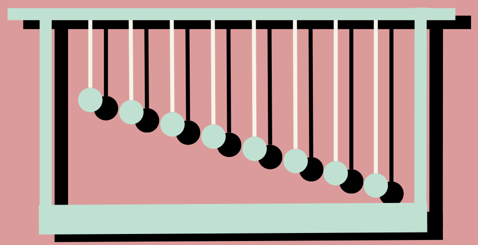
forms.gle/gwkH1s67cmjhVSy9A

2026

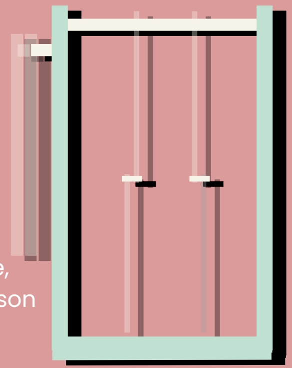
Texte de José Luis JARAMILLO
Mise en forme de Mathilde GUIGUI

QUAND LES MATHEMATIQUES PRENNENT FORME

Pendant des années, quatre « instruments » ont peuplé nos couloirs, émerveillé des enfants et des adultes dans des événements de vulgarisation divers, accompagné des démonstrations pédagogiques des mathématiques dans nos salles de cours, voyagé dans des collèges et des lycées aux quatre coins de la Côte d'Or. Des véritables mathématiques en mouvement, des illustrations du mouvement en mathématiques.



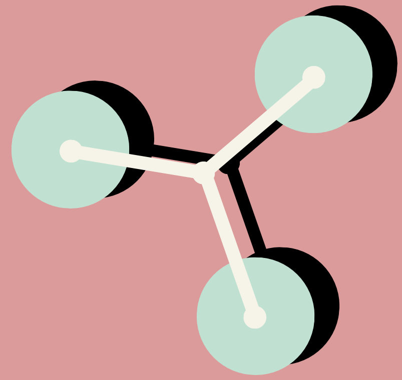
Ces « machines mathématiques gardent néanmoins un secret, connu par quelques-uns d'entre nous, sans doute ignoré par d'autres. Comme tout objet issu d'un travail artisanal, ces machines sont dépositaires d'une partie de l'âme de son artisan créateur : César Bonatti, le père de notre collègue Christian Bonatti.



Les machines mathématiques de César Bonatti sont un reflet et le résultat de la curiosité et de l'esprit enthousiaste, du travail d'exploration et de recherche, de la combinaison de savoir-faire intellectuel et manuel de son créateur. Elles sont, aussi, le témoignage d'un dialogue père-fils singulier et riche.

Nous connaissons bien le travail de longue haleine de Christian consacré à l'étude mathématique des systèmes dynamiques, mais nous ne pouvons qu'imaginer les joies (et sans doute les peines intermédiaires) qu'ils doivent avoir partagé en discutant, esquissant, corrigeant et finalement construisant ces machines*.

**Aussi, ce que nous, les amis et collègues de Christian, pouvons en conclure est que César Bonatti était sans doute un homme de grande patience (sans acrimonie, Christian, c'est une forme de compliment). Aussi, nous voulons signaler la générosité (et courage !) de père et fils, car chaque événement de vulgarisation représente un risque physique d'endommagement pour ces machines. Et nous n'avons jamais eu un refus de leur part pour leur utilisation, bien au contraire… Merci.*

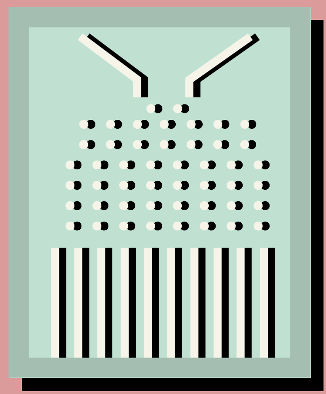


Le résultat de ce dialogue est formidable. Ces machines illustrent et éclaircissent, à travers des instruments à vocation d'être manipulés, les subtilités mathématiques de la dynamique, avec un accent sur les notions de chaos déterministe, des systèmes périodiques et quasi-périodiques, du rôle des probabilités. Solides et fragiles en même temps, elles ont été et continuent à être gracieusement partagées.

Cette exposition rend hommage à César Bonatti et à son travail. Avec grande émotion, nous avons pris connaissance de son décès en juillet 2025.

C'est à ce moment-là que l'idée de cette exposition est née, pour témoigner et mettre en valeur ces machines mathématiques qui sont devenues une partie du paysage de notre laboratoire.

À travers elle, nous voulons remercier César Bonatti pour son travail et sa générosité, en partageant son héritage matériel et son esprit enthousiaste. Ces réalisations, depuis le concept de départ à l'objet matériel final, résonnent avec l'œuvre de l'alchimiste et son processus de création et transformation, dans ce qu'on pourrait référer comme un véritable exemple de « alchimia mathematica », un modèle inspirateur de ce qui se dévoile… quand les mathématiques prennent forme.



2026

Texte de Christian BONATTI
Mise en forme de Mathilde GUIGUI

— Biographie

César Bonatti

1931-2025

Mon père est né le 25 février 1931 dans un coron de Wingles petite ville minière du Pas-de-Calais.

Il était le 11ème enfant d'une famille de 12, premier né en France (trois morts en bas âge), d'une famille d'immigrés italiens fuyant le régime fasciste de Mussolini et cherchant du travail dans les mines.

Il disait que sa première langue était l'italien, la seconde le polonais, car les polonais étaient majoritaires dans les corons, puis le patois du nord qu'on n'appelait pas encore le Ch'ti, ni le Ch'timi, et finalement la langue de l'école : le français.

Ce qu'il racontait de son enfance ressemblait à « la guerre des boutons » : des gamins vivant dans la rue essentiellement en liberté en dehors des heures d'école.

Un instituteur ayant remarqué qu'il était plus malin que les autres lui a demandé de passer « le concours des bourses ». Quand mon père lui a demandé « pourquoi faire ? » l'instituteur lui a expliqué que, s'il gagnait ce concours, il recevrait de l'argent.
Premier enfant du coron à gagner ce fameux concours (grâce à la résolution d'un problème de mathématiques que les instituteurs n'arrivaient pas à résoudre), il est allé demander l'argent à l'instituteur qui lui a expliqué que cela ne se passait pas comme cela, et qu'il devrait aller au collège puis au lycée, et qu'il recevrait chaque mois une bourse pour ses études.

C'était pendant la guerre, et en plus des 11 membres de la famille, la petite maison du coron hébergeait parfois des soldats allemands, qui parfois fusillaient dans la rue des gens soupçonnés de...quelque chose.

Une fois la guerre passée et les deux bacs Mathélem brillamment obtenus, il a été accepté à l'université de Lille en fac de maths, où il ambitionnait de devenir ingénieur des mines, le rêve inaccessible de tout gamin des corons.

Mais la santé de ses beaux-parents et le service militaire au Maroc l'ont obligé à interrompre les études pour chercher du travail. Pion (surveillant), puis instituteur, puis PEGC (professeur d'enseignement général des collèges), c'est à dire professeur sans véritable diplôme à part le BAC, à qui on demandait d'enseigner deux matières. Avec sa femme, ma mère, également PEGC, ils enseignèrent le plus souvent « Math et ScienceNat », parfois « initiation à la physique », parfois « la technologie »...

Dans les années 70, ils durent se mettre aux « math modernes » : ils allaient à l'IREM le jeudi (alors jours de congé pour les élèves) où on leur apprenait ce qu'ils devraient enseigner dès le lendemain. Ce défi a amusé papa, beaucoup moins maman...

... et finalement principal adjoint d'un collège qui avait une partie importante d'enseignement technique.

Toujours passionné de techniques, et de ce fait, bricoleur virtuose trouvant des solutions à la plupart des problèmes mécaniques, il a appris dans ce collège à manier les instruments de travail du bois, de soudure, de ferronnerie, transformant son bricolage en quelque chose de plus sophistiqué.

Les machines mathématiques

Depuis 2004 et la mort de sa femme, il a mis tout son talent au service de ses enfants, petits-enfants, et plus récemment arrière-petits-enfants. Plus on lui demandait des choses compliquées, plus il aimait cela.

Je lui ai donc parlé du pendule double. J'en avais vu un, en métal, dans le labo de physique, de facture professionnelle. Mais j'en voulais un artisanal. J'en voulais en fait 2 exactement pareils et parallèles pour qu'on voit que leur comportement différaient très rapidement, ce qui est la caractéristique des comportements chaotiques. Cela lui a bien plu... cela l'amusait. Trouver les roulements à bille limitant les frottements, ajuster les masses des pendules pour amplifier l'aspect chaotique du mouvement, etc...

Chaque fois qu'un collègue de l'IMB me l'empruntait, il me demandait pour quelle occasion (fête de la science, nuit des chercheurs, etc...) et il était content d'avoir comme cela un pied dans mon labo.

Donc je lui en ai demandé d'autres : la planche de Galton (il m'a fait planter les clous) dont il a imaginé l'entonnoir verseur et le système pour récupérer les billes.

Puis est venue la machine Anosov, beaucoup plus compliquée : demi-succès car les frottements et les vibrations de sa machine ne permettent de voir la dynamique chaotique que pendant de brèves secondes, 20 tout au plus. Cela était resté comme une sorte d'échec et, peu de temps avant que se déclare la maladie qui l'a emporté, il m'avait montré les pièces d'une nouvelle machine qui devait marcher mieux… mais je n'arriverai pas sans lui à la terminer.

Alors que je lui expliquais la différence entre mouvement chaotique et mouvement « quasi périodique », nous avons vu sur internet une autre machine « vague de pendules » où les masses d'une chaîne de pendule effectuaient un ballet d'une grande beauté esthétique…. Et donc « ni une ni deux », et la fois suivante qu'on se voyait, il avait bricolé une vague de pendules, en accrochant des billes métalliques dans des sacs en ballon gonflable… elle marchait très bien mais son dispositif était trop fragile et deux ou trois utilisations ont suffi à le détruire. Sans se décourager, et sans me le dire, il en a refait un autre : celui qui est exposé ici.

Papa et les mathématiques

Donnez lui un problème avec des triangles, des cercles, inscrits, circonscrits, etc. et il vous le résoudra nettement plus vite que moi, au point d'en être vexant, puisque des deux c'est moi qui suis censé être mathématicien.
Tracer un pentagone à la règle et au compas, pas de problème.
Faire la liste des polyèdres réguliers et prouver qu'elle est complète, pas de problème.

Par contre j'ai eu toutes les peines du monde à lui expliquer, il y a une dizaine d'années, que « la trisection de l'angle » n'est pas possible. Pour lui, cela voulait dire qu'on n'y est pas encore arrivé. Il a fallu que je lui explique que les points constructibles sont algébriques de degré une puissance de 2 et que cos (20°) est algébrique de degré 3, qui n'est pas une puissance de 2. L'angle de 60°, tout à fait constructible au compas (c'est l'angle des triangles équilatéraux) n'est donc pas trisécable.

Très récemment, en 2025, j'ai découvert que, pour lui, l'idée qu'il y ait des infinis plus grands les uns que les autres était paradoxale. Je lui ai donc expliqué pourquoi on ne peut pas numéroter les nombres réels avec des nombres entiers, alors qu'on peut tout à fait numéroter les nombres rationnels. La preuve par le « procédé diagonal de Cantor » est de toute beauté, et elle lui a plu.

Il est décédé la nuit du 9 au 10 juillet 2025, avec encore plein de projets en tête dont certains en cours de construction, emporté par un cancer foudroyant qui l'a abattu en un mois.

2026

Texte de Christian BONATTI
Mise en forme de Mathilde GUIGUI

La vague de pendules

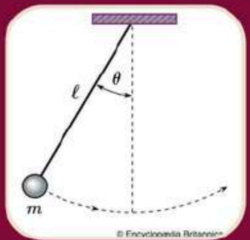
Ou serpent pendulaire

Le pendule simple

Le pendule simple est une masse ponctuelle m suspendue à un fil fixe ou une tige rigide (de masse négligeable) de longueur ℓ, sans frottement, soumis à la seule force de la gravité.

La masse m, la longueur (rayon) ℓ et la valeur g de la gravitation sont les paramètres du système (mais on va voir que la masse m ne joue en fait aucun rôle).

L'état du pendule est décrit par un angle θ (qui donne la position) et une vitesse angulaire $\dot{\theta}$. L'angle θ est « modulo 2π », donc vit sur le cercle, mais la vitesse angulaire est un nombre réel.



L'espace des phases est donc un cylindre :

$$\mathbb{R}/2\pi\mathbb{Z} \times \mathbb{R}$$

L'état du système est donné par un point sur ce cylindre.

L'évolution du pendule est donnée par les solutions (orbites) de l'équation différentielle sur le cylindre :

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= y \\ \dot{y} &= -\frac{g}{\ell}\theta \end{aligned}$$

L'énergie totale $E = \frac{1}{2}m\ell^2\dot{\theta}^2 + mg\ell(1-\cos\theta)$ (cinétique + potentielle) se conserve : elle est constante sur les orbites. Les trajectoires sont donc les courbes de niveau de E.

Ces niveaux sont génériquement des cercles : le mouvement est donc périodique.

Il y a exactement deux niveaux singuliers :

- Niveau inférieur (minimum de E) : point d'équilibre bas → stable. Le pendule est arrêté en bas.
- Niveau supérieur (maximum local, $\theta = \pi, \dot{\theta} = 0$) : équilibre inversé → instable. Le pendule est arrêté mais « la tête en bas » (cela ne peut se produire qu'avec une tige rigide).

Toute orbite autre que ces deux points est fermée (un cercle sur le cylindre), à l'exception de deux orbites exceptionnelles : les séparatrices, qui relient le point instable à lui-même. Elles ne sont pas périodiques (temps infini pour l'atteindre) : vous mettez le pendule en position verticale instable et, comme ce n'est pas parfait, il tombe, mais remonte jusqu'à presque s'arrêter sur la position d'équilibre.

2026

Texte de Christian BONATTI
Mise en forme de Mathilde GUIGUI

La vague de pendules

Ou serpent pendulaire

Période aux petites amplitudes

Pour les très faibles énergie (position et vitesse presque nulles), l'équation se linéarise :

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{\ell}\theta = 0$$

d'où la période

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

(indépendante de l'amplitude très petite).

Cette quasi-indépendance explique pourquoi le pendule a servi de base des horloges mécaniques : la période reste presque constante même si l'amplitude diminue légèrement. D'où le nom courant : pendule pour désigner l'horloge elle-même.

Le serpent (ou vague) pendulaire

Le « serpent pendulaire » consiste en une suite de pendules simples de longueurs croissantes ℓ_n, qui évoluent de façon indépendante. Les périodes sont de plus en plus longues au fur et à mesure que le fil s'allonge. Les pendules lâchés simultanément avec une même amplitude oscillent donc chacun périodiquement mais a des vitesses angulaires différentes.

La ligne de pendule commence par former un serpent qui ondule, avant de se briser et d'apparaître complètement désordonnées.

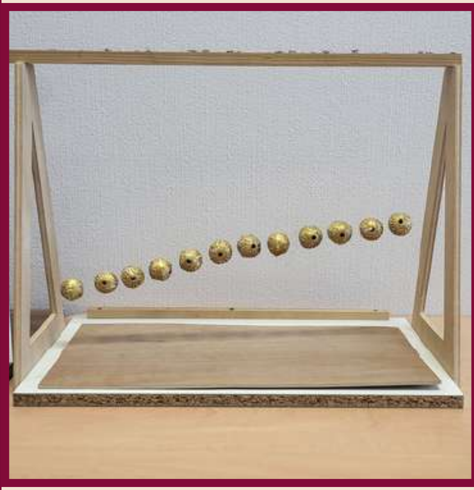
Cependant cette évolution n'est pas chaotique : chaque mouvement étant périodique, l'évolution est complètement prédictible. On peut prédire quand deux ou trois des pendules oscilleront « presque ensemble » puis se sépareront… Et chaque fois qu'on renouvelle l'expérience, cela se passe de la même façon.

A vous de jouer ! Placez la planche verticalement derrière les pendules puis abaissez là pour observer le mouvement d'oscillation (cf. qr code).

Le mouvement est dit « quasi-periodique ».

Flashez le QR code !
ou retrouvez la vidéo "Pendulum Waves" sur YouTube.

Dans la vidéo ci-dessus, les pendules exécutent une danse où l'on voit des motifs apparaître de paquets de 2 ou de 3 qui oscillent ensemble.



La vague de pendules

Ou serpent pendulaire

NOTES DE CHRISTIAN BONATTI

Mon père voulait réussir l’apparition de ces motifs… mais j’y étais opposé : mon but avec cette machine est d’expliquer que ce mouvement d’apparence désordonné n’est pas chaotique. Il est périodique ou quasi périodique, en fonction des rapports des longueurs des pendules.

Le fait que des motifs apparaissent n’a rien a voir avec ce principe : c’est juste un calcul arithmétique entre les rapport des longueurs : cela change de domaine de mathématique, et cela donne une information trompeuse.

2026

Texte de Christian BONATTI
Mise en forme de Mathilde GUIOU

Le pendule double

Le plus simple des systèmes chaotiques

Le pendule double est constitué de deux masses ponctuelles reliées par deux tiges articulées sans frottement. C'est le système mécanique déterministe le plus simple dont la dynamique peut être chaotique : une variation infime des conditions initiales conduit à des évolutions radicalement différentes, donnant l'apparence du hasard.

Flashez le QR code !
ou retrouvez la vidéo "Double Pendulum" sur YouTube.

On le rencontre dans des jouets en bois pour enfants. Par exemple des pantins articulés dont les jambes tournent dans tous les sens quand on tire sur une ficelle.

Chaque jambe est, en fait, un pendule double, d'où ses mouvements désordonnés, imprévisibles.

A vous de jouer ! Relevez les pendules verticalement et lâchez les. Tentez même de les lancer simultanément : combien de temps restent-ils synchronisés ?

Formulation mathématique

L'état du système est décrit par deux angles (θ_1, θ_2) et leurs vitesses angulaires $(\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2)$.

Un angle est un point d'un cercle, une vitesse angulaire est un nombre réel : l'espace des phases est donc le produit de deux cylindres :

$$(\mathbb{R}/2\pi\mathbb{Z})^2 \times \mathbb{R}^2$$

soit une variété de dimension 4.

L'équation du mouvement s'obtient par les équations d'Euler-Lagrange. Elle est plus lourde que pour le pendule simple, mais sa complication n'a rien d'extraordinaire, elle tient en quelques lignes. Le système reste bien déterministe : à des conditions initiales données correspondent une unique trajectoire.

Conservation de l'énergie

L'énergie totale E (cinétique + potentielle) est conservée.

Les trajectoires vivent donc sur des variétés fermées de dimension 3 : les niveaux d'énergie $\{E = \text{ constante}\}$.

Les machines mathématiques par César BONATTI

2026

Texte de Christian BONATTI
Mise en forme de Mathilde GUIOU

Le pendule double

Un mot sur la topologie des niveaux d'énergie

La configuration dépend de la valeur de l'énergie (par rapport aux équilibres) :

- Pour la valeur d'énergie minimale, $E = E_{min}$ (équilibre bas stable) : le niveau est un point isolé.
- Pour l'énergie petite, très légèrement supérieure à E_{min} : le niveau d'énergie est une sphère S^3 et l'évolution consiste en des petites oscillations régulières.
- Pour l'énergie modérée (ni trop petite, ni démesurément grande) : les niveaux sont des variétés plus complexes, par exemple $S^1 \times S^2$ – c'est dans ce genre de niveaux d'énergie qu'apparaît le chaos.
- Pour les énergies démesurément grandes : à nouveau une sphère S^3 (rotation complète).

En résumé, quand l'énergie n'est ni trop petite (sinon le système reste proche de l'équilibre, régulier) ni trop grande (sinon les rotations dominent, régularité retrouvée), la dynamique est chaotique bien que l'équation qui régit le mouvement n'est pas compliquée. C'est là toute la subtilité : la simplicité des lois n'empêche pas la complexité des comportements.

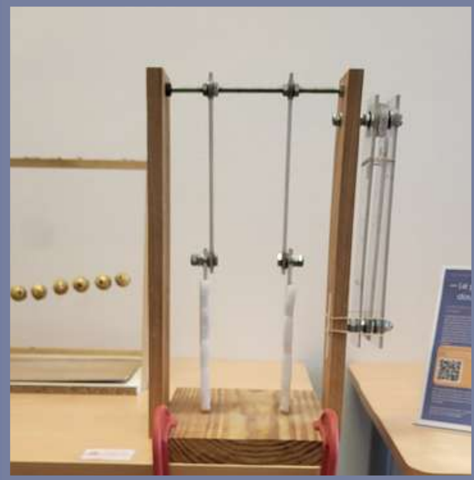
Des simulations montrant la probabilité que suit le mouvement de la masse du deuxième pendule :

Flashez le QR code !
ou retrouvez la vidéo "Double Pendulum Chaos Light Writing (computer simulation) 3" sur YouTube.

L'intensité de la lumière est proportionnelle à la probabilité de présence de la masse en cet endroit.

Flashez le QR code !
ou retrouvez la vidéo "Double Pendulum Chaos Light Writing (computer simulation) 2" sur YouTube.

Les couleurs indiquent non seulement la probabilité de la position de la masse, mais aussi de sa vitesse.



2026
Texte de Christian BONATTI
Mise en forme de Mathilde GUIGUI

La machine d'Anosov

Trois disques, trois tiges, une charnière

La machine d'Anosov : trois disques rigides et lourds, de même masse, qui sont montés sur des axes fixes placés aux sommets d'un triangle équilatéral.

Chaque disque peut tourner librement autour de son axe (avec le moins de frottement possible[1]).
Ils sont ensuite reliés par trois tiges rigides et identiques. Chaque tige est fixée par une extrémité près du bord d'un disque. Les trois autres extrémités sont réunies en une charnière mobile commune.

A vous de jouer ! Lancez les disques d'une certaine façon : ils tournent et la charnière se déplace, entraînée par les tiges.

Le mouvement a l'air chaotique !

Flashez le QR code !
ou retrouvez la vidéo "The triple linkage" sur YouTube.

C'est en fait le mouvement le plus chaotique qui soit : c'est un flot d'Anosov.

Le seul paramètre important est le rapport entre la longueur des tiges et la distance entre les axes des disques.

L'espace de configuration : une surface de genre 3

Le système a deux degrés de liberté angulaires (les trois angles des disques sont liés par une contrainte). L'espace de configuration, c'est-à-dire l'ensemble de toutes les positions possibles de la machine, est une surface à deux dimensions.

Pour une valeur précise du rapport longueur des tiges/distance entre les axes, cette surface s'avère être la célèbre surface P de Schwarz, une surface minimale triplement périodique (une surface fermée minimale dans le tore T^3).

Surface P de Schwarz
© mathscurve

Les machines mathématiques par César BONATTI

2026
Texte de Christian BONATTI
Mise en forme de Mathilde GUIGUI

La machine d'Anosov

Son genre est 3 : elle a la topologie d'une sphère à laquelle on a ajouté trois anses.

L'espace des phases complet, qui inclut les vitesses angulaires, est de dimension 4.
Mais la conservation de l'énergie restreint le mouvement à une variété compacte de dimension 3, qui de fait est homéomorphe au fibré unitaire tangent de l'espace des configurations.

Le mouvement est un flot géodésique

Sur cette variété de dimension 3, le mouvement de la machine n'est pas quelconque : il est exactement le flot géodésique de la surface P de Schwarz.

Autrement dit, les trajectoires du mécanisme correspondent aux plus courts chemins (ou plutôt aux lignes de plus grande longueur, selon la métrique) parcourus sur cette surface.

C'est très naturel : c'est le mouvement d'un système qui évolue sans interaction avec l'extérieur.

Une propriété remarquable : c'est un flot d'Anosov

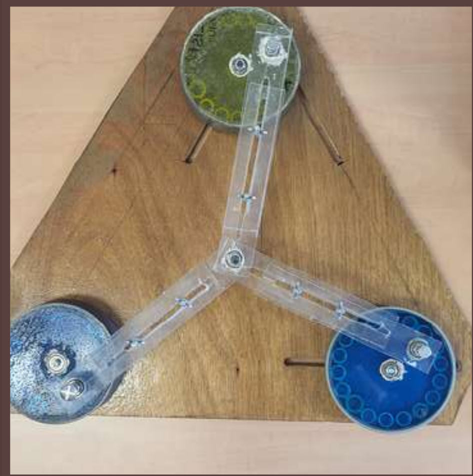
Un flot d'Anosov est un flot uniformément hyperbolique : en chaque point, l'espace tangent se décompose en trois directions — une direction « temps » (celle du flot lui-même), une direction qui se contracte exponentiellement vite, et une direction qui se dilate exponentiellement vite.

La conséquence est spectaculaire : le flot est chaotique au sens fort, extrêmement sensible aux conditions initiales, mais contrairement à certains systèmes chaotiques, cette instabilité est partout et uniforme. C'est un modèle de dynamique « parfaitement » imprévisible, bien que parfaitement déterministe.

Un objet mathématique devenu mécanique

Ce mécanisme, parfois appelé « machine d'Anosov » ou « mécanisme de Thurston-Weeks-Hunt-MacKay », est un exemple rare et élégant d'un flot d'Anosov réalisé par un objet physique concret.

Il montre que des structures mathématiques profondes (géométrie hyperbolique, flots géodésiques) peuvent naître d'un assemblage simple de disques et de tiges.



La machine d'Anosov

NOTES DE CHRISTIAN BONATTI

[1] C'est la partie difficile de la réalisation pratique de cette machine. Mon père a multiplié les roulements à bille, a augmenté au maximum la masse des disques pour que ces frottements deviennent négligeables par rapport à l'énergie cinétique.

Dans les années 2000, Robert MacKay (l'un des inventeurs de cette machine) amenait parfois sa machine en colloque, et cela m'avait émerveillé… Cela fait maintenant presque 10 ans que les flots d'Anosov des variétés de dimension 3 sont mon principal sujet d'étude. J'ai demandé de ce fait à mon père de m'en construire une. Elle n'est pas parfaite, trop de frottements, et elle est conçue de façon à ce qu'on puisse régler le paramètre (rapport des longueurs)… lors d'une présentation, ce rapport s'est déréglé et il est compliqué de retrouver le bon rapport.

2026
Texte de Christian BONATTI
Mise en forme de Mathilde GUIGUI

La planche de Galton

Un dispositif simple

La planche de Galton est un dispositif mécanique inventé par le statisticien Francis Galton.

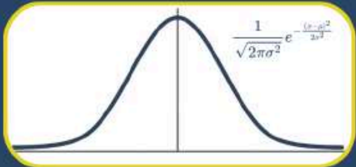
Elle se compose d'une planche verticale sur laquelle sont disposés des rangées régulières de clous, en quinconce. On lâche par le haut une multitude de petites billes. À chaque rencontre avec un clou, chaque bille a une chance sur deux de tomber à gauche, une chance sur deux de tomber à droite.

Au bas de la planche, des compartiments recueillent les billes.

A vous de jouer ! Prenez des billes dans le seau et versez les dans l'entonnoire en haut de la planche.

Le spectacle : une courbe en cloche

Si vous lâchez une seule bille, son trajet est imprévisible. Mais si vous en lâchez des centaines ou des milliers, les hauteurs des piles de billes dessinent une magnifique courbe en cloche : la courbe de Gauss, ou loi normale.



Courbe de Gauss

Allons plus loin !

Des dynamiques parfaitement chaotiques – par exemple un flot hyperbolique (comme celui de la machine d'Anosov décrite dans une autre page de cette exposition) ou un système dynamique déterministe sensible aux conditions initiales – peuvent, en un certain sens, suivre des lois de probabilité.

Le chaos que l'on perçoit quand on veut suivre l'évolution à une échelle de temps précise (par exemple « toutes les secondes » ou « le premier avril de chaque année ») n'empêche pas la régularité statistique si l'on s'intéresse au comportement sur une longue période.

C'est ainsi que le mouvement brownien et certains systèmes chaotiques redeviennent prévisibles.

Les machines mathématiques par César BONATTI

2026
Texte de Christian BONATTI
Mise en forme de Mathilde GUIGUI

La planche de Galton

Flashez le QR code ! ou retrouvez l'explication du mouvement brownien sur Science Questions.

Voici deux exemples, que nous espérons parlants au plus grand nombre :

Le temps qu'il fait est certainement chaotique, et personne ne peut prédire le temps qu'il fera le 13 mai de l'année prochaine à Dijon à 9h35. Mais le temps qu'il fera, en moyenne, durant les mois d'avril et mai, cela s'appelle « le climat », et en moyenne, il est connu des météorologues, et qui est décrit dans nos contrées tempérées par « les saisons ». Le climat, c'est la probabilité qui décrit le temps. Le « dérèglement climatique » signifie justement que « le temps qu'il fait », qui suit (ou suivait) en temps normal, la probabilité d'équilibre qu'est le climat, est en train de ne plus la suivre.

Cela n'a pas de sens de demander où se trouve un électron dans la molécule autour de laquelle il tourne, à un instant donné. Par contre, on peut connaître précisément le temps qu'il passe, en moyenne, dans une région donnée, ainsi que « le temps d'attente » avant qu'il y passe. Le « nuage électronique » est la probabilité de présence des électrons dans la molécule.

Un message fondamental

Cette planche, souvent reléguée au rang de simple curiosité de salon, porte en réalité un message fondamental : le déterminisme statistique n'est pas l'opposé du chaos, mais son dépassement. Appliquer mille fois la même loi aléatoire, c'est faire émerger de la nécessité là où régnait l'apparence du hasard.

BIBLIOTHÈQUE MONGE

INSTITUT DE MATHEMATIQUES
DE BOURGOGNE

UNIVERSITÉ
BOURGOGNE
EUROPE

cnrs