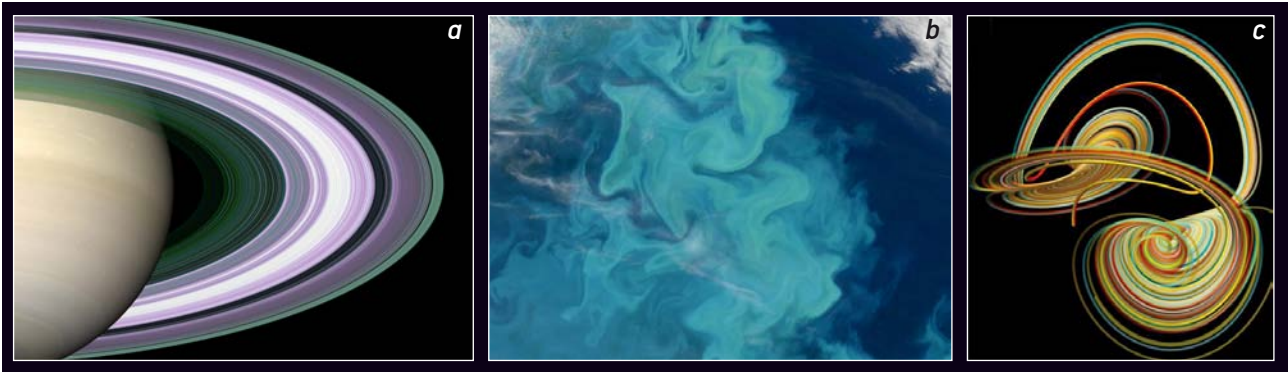




4. LE CHAOS SE MANIFESTE dans des contextes variés : les anneaux de Saturne, où les régions vides correspondent à des orbites chaotiques [a] ; les efflorescences de plancton (vues ici sur une image satellite de la mer de Barents) qui forment des structures semblables à des

fractales en raison du comportement chaotique des écoulements dans le sillage d'une île [b] ; le champ géomagnétique de la Terre qui inverse ses pôles à des intervalles chaotiques irréguliers – un comportement visualisé dans l'espace des phases par cette simulation [c].

Les attracteurs chaotiques – dits aussi étranges –, dont celui de Lorenz est un exemple, ont tendance à émerger quand un système dissipatif est régulièrement forcé à compenser la perte d'énergie, comme quand un enfant sur une balançoire accompagne le mouvement de ses jambes pour ne pas s'arrêter. Dans le cas du système de Lorenz, c'est la source de chaleur qui compense la perte d'énergie due à la viscosité du fluide.

Dès le début, Lorenz semble avoir saisi une caractéristique essentielle du chaos : il a reconnu non seulement que la non-périodicité implique une sensibilité aux conditions initiales, mais aussi que cette sensibilité est la cause profonde de la non-périodicité. De fait, on sait aujourd'hui que dans l'espace des phases, une structure chaotique telle que l'attracteur de Lorenz baigne dans un ensemble infini d'orbites périodiques instables : si l'on s'écarte un tant soit peu d'une telle orbite, la trajectoire du point représentatif du système devient chaotique.

La publication fut peu remarquée. Douze ans après, l'article était cité moins de 20 fois. Le tournant a eu lieu en 1975, notamment via sa citation dans l'article qui établit le nom du domaine : *Period three implies chaos*, de Tien-Yen Li et James Yorke, de l'Université du Maryland, aux États-Unis. Dès la fin des années 1980, non seulement la recherche sur le chaos a connu un essor considérable, avec des milliers de publications scientifiques à l'appui, mais elle est aussi familière aux

■ LES AUTEURS

Adilson E. MOTTER est professeur de physique et d'astronomie à l'Université du Nord-Ouest à Evanston, dans l'Illinois, aux États-Unis. David K. CAMPBELL est professeur de physique et de génie électrique et informatique à l'Université de Boston.

■ BIBLIOGRAPHIE

A. E. Motter et D. K. Campbell, *Chaos at fifty*, *Physics Today*, vol. 66, pp. 27-33, 2013.

Fifty years of chaos : applied and theoretical, *Chaos*, numéro spécial, vol. 22, 2012.

E. Ott, *Chaos in Dynamical Systems*, Cambridge University Press, 2002.

Y. Ueda, *The Road to Chaos-II*, Aerial Press, 2001.

J. Gleick, *La théorie du chaos*, Flammarion, 1999.

F. Diacu et P. Holmes, *Celestial Encounters : The Origins of Chaos and Stability*, Princeton Univ. Press, 1996.

E. N. Lorenz, *The Essence of Chaos*, Univ. of Washington Press, 1993.

non-scientifiques. Aujourd'hui, le chaos est aussi décrit dans les systèmes dynamiques conservatifs – dont l'énergie totale est conservée au fil du temps. Dans de tels systèmes, il ne peut y avoir d'attracteur : le chaos se manifeste comme une sorte de poussière en mouvement dans l'espace des phases (parfois nommée poussière de Cantor).

Le chaos se distingue des autres grandes théories de la physique. Contrairement à la relativité ou à la mécanique quantique, il ne décrit pas un phénomène physique particulier, mais apporte un ensemble de concepts et de méthodes pour analyser un comportement insoupçonné qui peut se manifester dans des disciplines diverses. Ces caractéristiques expliquent en partie l'indifférence avec laquelle ont été accueillies les premières indications du phénomène. Les premières confrontations avec le chaos ont eu lieu dans des disciplines disparates (mécanique céleste, mathématiques, ingénierie), les uns n'étant pas au courant des découvertes des autres.

Aujourd'hui, si nombre de problèmes liés au chaos demeurent irrésolus, tels que ses implications dans les systèmes quantiques et relativistes, la théorie du chaos est utilisée dans de multiples domaines : physiologie, informatique, finance, dynamique des fluides... Comme le résume l'annonce du prix de Kyoto que reçut Lorenz en 1991 : « [Le chaos déterministe] a amené l'un des changements les plus importants de notre vision de la nature depuis Isaac Newton. » ■

La sélection de livres

■ POUR LA SCIENCE

Découvrez la sélection
du mois *Pour la Science*
avec des ouvrages scientifiques
amusants. Ne manquez
pas la nouvelle collection
« InfoGraphie »
Bonne lecture !

En partenariat
avec les éditeurs

Belin:
ÉDITEUR INDÉPENDANT
DEPUIS 1777

Éditeur
Le Pommier

Tous ces livres sont
également disponibles
en librairie.

Requins

De la préhistoire à nos jours

Gilles Cuny, Illustrations d'Alain Beneteau

Les requins ? Ils sont presque
à égalité avec les dinosaures
dans l'imaginaire collectif. Ce livre
original, illustré de 200 reconsti-
tutions et photographies, écrit par
LE spécialiste français des requins, est
riche en informations scientifiques, en
sensations et en surprises.

Éditions Belin 2013

224 pages – 27,90 euros – ISBN 978-2-7011-5423-7



Réf. 005423

La science amusante !

La physique surprise

Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik



Réf. 075121

Éditions Belin-Pour la Science 2013

224 pages – 26 euros – ISBN 978-2-8424-5121-9

Passionnés de physique et
curieux de tout, Jean-Michel
Courty et Édouard Kierlik vous
invitent à de nouvelles prome-
nades scientifiques dans un
langage accessible, simple et
imagé, sans jargon ni formules.
Avec eux, laissez-vous sur-
prendre par les phénomènes
que vous avez déjà côtoyés sans même les
remarquer.

50 expériences pour épater vos amis au jardin

Jacques Guichard, Kamil Fadel et Guy Simonin

Marcher sur l'eau, tirer la nappe sans
faire tomber ce qui est sur la table,
créer un double arc-en-ciel, trans-
percer un ballon sans qu'il explose...
Voici 50 nouvelles expériences très
faciles à réaliser avec, pour chacune,
du matériel simple, le déroulé pas à pas, les
gestes précis et les trucs pour la réussir à coup
sûr. Et pour ceux qui veulent en savoir plus, des
compléments scientifiques et des indications
sur les lieux où l'on peut observer ces phéno-
mènes à grande échelle.

Éditions Le Pommier 2013

168 pages – 18,90 euros – ISBN 978-2-7465-0618-3



Réf. 090618*

Faire léviter de l'eau

Florian Briant



Réf. 007535

Éditions Belin 2013

128 pages – 21 euros – ISBN 978-2-7011-7535-5

Comment provoquer une tempête
dans une bouteille ? Sauriez-vous al-
lumer une ampoule sans la brancher,
souffler une bulle géante ou bien
extraire votre propre ADN ? Décou-
vrez le plaisir de faire de la science,
à travers des expériences ludiques et
réalisables avec du matériel simple. À
vous l'excitation du « labo » !

Mathémagic

David Acheson

De pi au pendule chaotique,
de Pythagore à Andrew Wiles,
embarquez pour une fasci-
nante balade au pays des
mathématiques ! De savou-
reuses illustrations achève-
ront de convaincre le profane comme l'initié
qu'il s'agit là d'un des livres les plus réjouissants
jamais écrit sur le sujet.

Éditions Belin 2013

176 pages – 15 euros – ISBN 978-2-7011-7686-4



Réf. 007686

Nouvelle collection

InfoGraphie, une collection d'ouvrages résolument graphiques, pour se faire son opinion sur de grandes questions de société ! Un concentré d'informations sous forme de textes, graphes, chiffres clés et avis d'experts.

Le Cannabis ?

Marina Julienne

Qui sont les consommateurs de cannabis ? Quels sont ses effets sur la santé ? Le cannabis peut-il aussi soigner ? Comment aider les jeunes à arrêter ? Qui sont les trafiquants de cannabis ? Etc.

Éditions Belin 2013
80 pages – 19 euros – ISBN 978-2-7011-6380-2



Réf. 006380

La Biodiversité ?

Lise Barnéoud

Depuis combien de temps les espèces disparaissent-elles ? Combien de terres sauvages sont-elles chaque année englouties sous l'asphalte ? Reste-t-il encore de la nature « sauvage » ? Etc.

Éditions Belin 2013
80 pages – 19 euros – ISBN 978-2-7011-5692-7



Réf. 005692

La Procréation assistée ?

Lise Barnéoud

Qui peut recourir à la PMA, en France et dans le monde ? Est-ce une solution pour éviter de transmettre une maladie génétique ? Comment débattre des problèmes éthiques et sociaux soulevés ? Etc.

Éditions Belin 2013
80 pages – 19 euros – ISBN 978-2-7011-6144-0



Réf. 006144

À LIRE AUSSI...

Incertitudes sur le climat

Katia Laval
et Guy Laval

Éditions Belin 2013
272 pages – 19 euros
ISBN 978-2-7011-7485-3



Réf. 007485

Une brève histoire du magnétisme

Jean-Paul Poirier
et Jean-Louis Le Mouél

Éditions Belin 2013
224 pages – 18,50 euros
ISBN 978-2-7011-7532-4



Réf. 007532

Cendrillon et la mort des étoiles

Robert Gilmore

Éditions Le Pommier 2013
358 pages – 19 euros
ISBN 978-2-7465-0706-7



Réf. 090706*

Le Dernier fado de l'androïde

Hugues Bersini

Éditions Le Pommier 2013
256 pages – 17 euros
ISBN 978-2-7465-0705-0



Réf. 090705*

Pour commander ces ouvrages

renvoyez le bon de commande ci-dessous

ou connectez-vous sur www.pourlascience.fr/librairie

[sauf références signalées par un * sur www.editions-belin.fr]

BON DE COMMANDE

à retourner accompagné de votre règlement à : Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil • Tél. : 0 805 655 255 • e-mail : pourlasciencevpc@daudin.fr

☐ Oui, je commande les livres présentés dans la sélection de *Pour la Science*. Je reporte les titres, prix et références à 6 chiffres correspondant aux ouvrages choisis :

Titre	Réf.	Prix
		€
		€
		€
		€
		€
Frais de port (4,90 € France – 12 € étranger)	+	€
Total à régler	=	€

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

C.P. : | | | | | Ville : _____

Pays : _____ Tél. : | | | | |
Pour le suivi client (facultatif)

E-mail : | | | | | @ | | | | |
Pour recevoir la newsletter Pour la Science (à remplir en majuscules)

Je choisis mon mode de règlement :

☐ par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ par carte bancaire

Numéro | | | | |

Date d'expiration | | | | |

Cryptogramme | | | | |

Signature obligatoire



En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐.

DPL433 Offre valable jusqu'au 30.11.2013, dans la limite des stocks disponibles.

LOGIQUE & CALCUL

La quête du pavé apériodique unique

Les spécialistes des pavages et des quasi-cristaux espéraient depuis longtemps découvrir un pavé unique avec lequel le pavage du plan serait nécessairement non périodique. Un tel pavé a été trouvé... enfin, presque.

Jean-Paul DELAHAYE

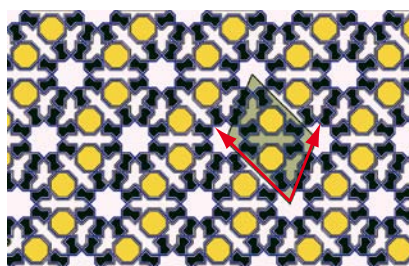
Des contraintes locales ont-elles des conséquences à l'infini ? La théorie des pavages apériodiques a examiné cette question et un domaine de la cristallographie en est né, amenant une interaction nouvelle des mathématiques et de la physique. Dernier résultat : un pavé décoré interdit à lui seul la périodicité ! Ainsi, les aspects ludiques et sérieux de la géométrie se mêlent pour donner de nouveaux outils aux physiciens.

Périodiques ou non ?

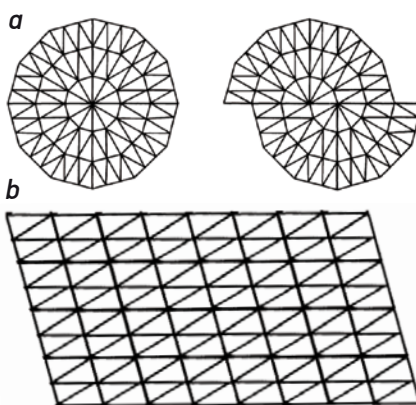
Dans un pavage périodique du plan, une partie finie, en forme de parallélogramme, permet de paver totalement le plan en utilisant deux translations (un pavage est périodique s'il existe deux vecteurs de translation non colinéaires qui le laissent invariant) (voir la figure 1).

Sauf de rares exceptions, les pavages décoratifs utilisent des motifs périodiques, sans doute pour des raisons de facilité d'impression ou d'assemblage. Il est cependant facile de concevoir des motifs non périodiques qui pavent le plan. Deux exemples très simples utilisent un pavé en forme de triangle isocèle, dont l'angle au sommet est égal à 30° ; ce pavé peut bien sûr composer un pavage périodique, comme c'est le cas de tout triangle (voir la figure 2).

On a longtemps pensé que tout ensemble de pavés qui permet de paver le plan autorise aussi un pavage périodique.



1. UN EXEMPLE DE PAVAGE PÉRIODIQUE du plan. Ce pavage peut être construit en dupliquant le parallélogramme en gris et en le translatant selon les deux vecteurs (en rouge) construits sur ses côtés.



2. DEUX EXEMPLES de pavage apériodique du plan (a) dont le pavé élémentaire est un triangle isocèle d'angle au sommet égal à 30° . Ce pavé permet aussi de recouvrir périodiquement le plan (b).

Personne ne réussissant à démontrer cette affirmation, on s'est demandé s'il existait des ensembles de pavés conduisant uniquement à des pavages non périodiques, ce que nous dénommerons des « ensembles de pavés apériodiques ».

Si un tel ensemble existe, alors des contraintes géométriques locales (que des pavés se joignent parfaitement) imposent une propriété globale, l'apériodicité, ce qui n'est pas une évidence (c'est, d'ailleurs, impossible en dimension 1).

Le pavage, un problème indécidable

La solution est issue d'une question algorithmique. Les logiciens, dont en particulier Hao Wang, un confident de Kurt Gödel, se sont posé une question : un ensemble de formes géométriques élémentaires étant donné, peut-on savoir par un moyen systématique, c'est-à-dire par un algorithme, si oui ou non on pourra couvrir tout le plan avec des exemplaires de ces formes sans chevauchement et sans laisser de vide ? C'est le problème de la « décidabilité du pavage ». Il est aussi dénommé « problème des dominos », car une version simplifiée ne fait intervenir que des dominos carrés à côtés colorés que l'on dispose en tenant compte des couleurs (ce que l'on ramène à des pavés sans couleur en déformant les côtés, pour transformer les contraintes de couleur en contraintes de forme).