

égaux à une différence de deux nombres récursivement énumérables forment un ensemble infini dénombrable, alors que les nombres réels constituent un ensemble infini non dénombrable (donc plus « grand »). On réalise de magnifiques et surprenants calculs dans le monde des signaux, mais certaines limitations persistent.

Remarquons que le nombre Ω de Chaitin, dont la connaissance donnerait la solution de la majorité des grands problèmes mathématiques, telle la conjecture de Goldbach, est un nombre récursivement énumérable, donc calculable par signaux rationnels.

Calculs plus rapides

À côté du problème de ce qui est faisable en principe par le calcul (décidabilité, indécidabilité, etc.) un autre problème préoccupe les théoriciens de l'informatique : quels sont les calculs réalisables rapidement et quels sont ceux qui, du fait même de leur nature, demandent un temps impossible à envisager en pratique, et qu'on nomme « intrinsèquement difficiles ».

Les problèmes NP-complets sont la plus importante catégorie de problèmes de calcul considérés comme intrinsèquement difficiles. Par exemple, déterminer si un graphe est coloriable avec trois couleurs, sans que deux nœuds reliés soient de la même couleur, est un problème NP-complet.

On n'a pas démontré que les résoudre en temps polynomial était impossible, mais cela semble très probable et en attendant qu'on réussisse à le prouver (c'est la grande conjecture de l'informatique théorique, notée $P \neq NP$), on admet que les problèmes NP-complets sont intrinsèquement difficiles.

Est-ce qu'un calcul avec des signaux peut résoudre rapidement un problème NP-complet ? La réponse est oui. Denys Duchier, J. Durand-Lose et Maxime Senot ont réussi, sans utiliser de points d'accumulation (cela aurait été trop facile), à concevoir un algorithme géométrique pour signaux qui résout en temps constant et espace constant un problème NP-complet. Comme les problèmes NP-complets sont tous d'une difficulté équivalente, ce sont en fait tous les problèmes NP-complets que

le modèle des signaux permet de résoudre efficacement.

L'encadré 3 représente le calcul du PGCD de deux nombres, effectué géométriquement avec seulement trois types de signaux. Cette figure est l'élément clef pour la solution du problème du nombre de signaux minimum nécessaire aux calculs.

Notons d'abord qu'avec 15 types de signaux différents n'utilisant que quatre vitesses différentes, on peut calculer tout ce qui est calculable par machine usuelle discrète. On n'a donc pas besoin en général d'un très grand nombre de vitesses différentes pour travailler. La question se pose cependant de savoir combien de signaux sont nécessaires pour mener des calculs. Ce problème a récemment été traité. Voici ce qu'on a trouvé et démontré.

– Avec des signaux n'utilisant qu'une vitesse, ou deux vitesses, il est impossible d'obtenir des points d'accumulation.

– Avec quatre vitesses différentes bien choisies, des points d'accumulation sont calculables, et on réussira même à calculer tout ce qui est calculable avec les machines habituelles discrètes.

– Avec trois vitesses différentes, aucun point d'accumulation ne peut être obtenu par calcul de signaux si les rapports entre vitesses ou entre distances initiales de signaux sont tous des nombres rationnels.

– En revanche, avec trois vitesses différentes, il existe des situations où un point d'accumulation est construit en exploitant l'irrationalité du rapport de deux des vitesses, et des situations où un point d'accumulation est construit en exploitant l'irrationalité de deux des distances initiales entre signaux de départ.

– En 2013, J. Durand-Lose a montré que tout calcul classique était faisable avec une machine à 25 types de signaux n'utilisant que trois vitesses différentes.

On le voit, cette compréhension fine du monde idéalisé des signaux, outre l'intérêt mathématique pour l'informatique théorique, nous prépare pour le futur... quand nous saurons créer des points d'accumulation dans notre espace-temps, si les physiciens nous confirment que c'est possible. Merveilles du rêve mathématique !

L'AUTEUR



J.-P. DELAHAYE est professeur à l'Université de Lille et chercheur au Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille (LIFL).

BIBLIOGRAPHIE

J. Durand-Lose, *Irrationality is needed to compute with signal machines with only three speeds*, dans *The Nature of Computation*, Springer [LNCS 7921], pp. 108-119, 2013.

H. Andréka et al., *Closed timelike curves in relativistic computation*, *Parallel Processing Letters*, vol. 22(3), 1240010, 2012.

D. Duchier et al., *Computing in the fractal cloud : Modular generic solvers for SAT and Q-SAT variants*, dans *Theory and Applications of Models of Computation*, Springer [LNCS 7287], pp. 435-447, 2012.

B. S. Cooper et al. (ed.), *How the World Computes*, Turing Centenary Conf. and 8th Conf. on Computability in Europe, CiE 2012, Cambridge, UK, June 18-23, Proceedings, 2012.

J. Durand-Lose, *Abstract geometrical computation 1 : Embedding black hole computations with rational numbers*, *Fund. Inf.*, vol. 74(4), pp. 491-510, 2006.

I. Nemeti et G. David, *Relativistic computers and the Turing barrier*, *Appl. Math. Comput.*, vol. 178(1), pp. 118-142, 2006.

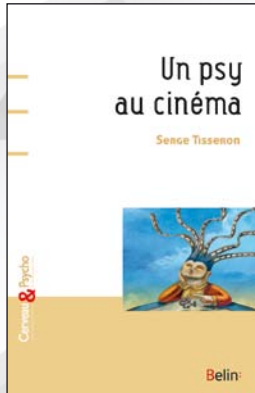
La librairie SCIENCE

Le savoir scientifique au fil des pages

Un psy au cinéma

Serge Tisseron

Réf. 84245127



Le cinéma fascine. Il surprend, il amuse, il nous permet de nous évader, il émeut. Chacun a son avis sur les films qu'il voit. Mais si le cinéma nous parlait d'abord de nous ? De ce que nous sommes, de nos peurs avouées ou non, de nos bassesses et de nos grandeurs ? Il s'agirait moins alors de le comprendre que de nous comprendre à travers lui,

individuellement, mais aussi collectivement.

Éditions Belin 2013

280 pages – 25 euros – ISBN 978-2-84245-127-1

Le cerveau mélomane

Emmanuel Bigand (dir.)

Réf. 84245118



La musique touche tout un chacun et suscite de multiples émotions. Elle ne laisse personne indifférent. Ce que l'on sait moins, c'est la puissance de la musique. Puissance sur les capacités cognitives et intellectuelles de ceux qui en écoutent souvent ou qui la pratiquent ; mais aussi puissance

thérapeutique chez certains sujets.

Éditions Belin 2013

200 pages – 21 euros – ISBN 978-2-84245-118-9

Les sens trompés

Des anomalies du cerveau aux comportements étranges

Patrick Verstichel

Réf. 84245111



Cet ouvrage est un recueil des articles que le neurologue Patrick Verstichel a publiés dans le magazine *Cerveau & Psycho*. L'auteur, médecin clinicien, nous propose des « enquêtes médicales » sur des cas cliniques parfois difficiles à élucider !

Éditions Belin-Pour la Science 2013

160 pages – 25 euros
ISBN 978-2-8424-5111-0

Maux d'artistes

Ce que cachent les œuvres

Sebastian Dieguez

Réf. 84245101



Existe-t-il des liens cachés entre une œuvre d'art – une peinture, une sculpture, une composition musicale ou une œuvre littéraire – et une maladie de l'esprit que présentait son auteur ? Examinant divers chefs-d'œuvre avec un regard de neuropsychologue, Sebastian Dieguez analyse plus d'une vingtaine d'œuvres de

Dostoïevski, Monet, De Chirico, Proust, Van Gogh, etc.

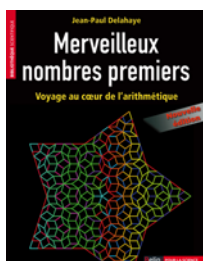
Éditions Belin / Pour la Science 2010

176 pages – 25,40 euros – ISBN 978-2-8424-5101-1

La sélection de livres

POUR LA SCIENCE

Découvrez la science dans tous ses états
avec des expériences ludiques, des voyages
mathématiques, des drôles d'animaux
ou des nombres fascinants !



Merveilleux nombres premiers

Voyage au cœur de l'arithmétique

Jean-Paul Delahaye

Réf. 84245117

Les nombres premiers fascinent. Connus dès les débuts de l'arithmétique, ils ont suscité la curiosité des mathématiciens. Ils sont au cœur de la science des nombres, car tout entier se décompose de façon unique en un produit de facteurs premiers. Dans cet ouvrage, l'auteur mêle éclaircissements théoriques et anecdotes piquantes.

Éditions Belin / Pour la Science 2013 – 296 pages – 28 euros – ISBN 978-2-8424-5117-2



Requins

De la préhistoire à nos jours

Gilles Cuny, illustr. de Alain Beneteau

Réf. 70115423

Les requins ? Ils sont presque à égalité avec les dinosaures dans l'imaginaire collectif. Une histoire qui conduit à découvrir des monstres du passé, à la morphologie invraisemblable, illustrée de près de 200 reconstitutions et photographies. Un livre facile à lire, écrit par LE spécialiste français des requins.

Éditions Belin 2013 – 224 pages – 27,90 euros – ISBN 978-2-7011-5423-7



Faire léviter de l'eau

et autres expériences ébouriffantes

Florian Briant

Réf. 70117535

Comment provoquer une tempête dans une bouteille ? Sauriez-vous allumer une ampoule sans la brancher, souffler une bulle géante ou bien extraire votre propre ADN ? Découvrez le plaisir de faire de la science, à travers 20 expériences ludiques et réalisables avec du matériel simple. À vous l'excitation du « labo » !

Éditions Belin 2013 – 176 pages – 21 euros – ISBN 978-2-7011-7535-5

La physique surprise

Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik

Réf. 84245121



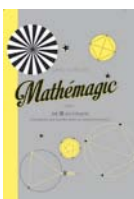
Passionnés de physique et curieux de tout, Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik vous invitent à une nouvelle promenade sur des chemins de traverse dans un langage accessible, simple et imagé, sans jargon ni formules. Avec eux, laissez-vous surprendre par les phénomènes physiques que vous avez déjà côtoyés sans même les remarquer !

Éditions Belin / Pour la Science – 184 pages
26 euros – ISBN 978-2-8424-5121-9

Mathémagic !

David Acheson

Réf. 70117686



De pi au pendule chaotique, de Pythagore à Andrew Wiles, embarquez pour une fascinante balade au pays des mathématiques ! De savoureuses illustrations achèveront 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

50 expériences pour épater vos amis à table

Jacques Guichard,
Kamil Fadel et Guy Simonin

Réf. 74650544*



Retournez votre verre de vin sans en perdre une goutte, transformez l'eau en vin, créez un nuage dans une bouteille, mettez une olive en lévitation ! Des expériences très faciles à réaliser et enrichies d'une explication simple et compréhensible des phénomènes scientifiques en jeu.

Éditions Le Pommier 2013 – 168 pages
18,90 euros – ISBN 978-2-7465-0544-5

En partenariat avec les éditeurs



Pour commander ces ouvrages www.pourlascience.fr/librairie *
ou en renvoyant le bon de commande (page ci-contre).

* Pour commander les titres édités par Le Pommier : www.editions-belin.fr

Découvrez la collection !



Destination Systèmes dynamiques avec Poincaré

Aurélien Alvarez (Dir.)

Réf. 74650707*

Prévoir l'avenir, calculer le futur...Vraiment ?! Prédire le devenir d'un système en évolution au cours du temps n'est pas chose facile ! Henri Poincaré s'est

très tôt passionné pour les systèmes dynamiques. Aujourd'hui, les mathématiciens étudient beaucoup de systèmes dynamiques de nature bien différente les uns des autres...

Éditions Le Pommier 2013 – 160 pages – 19 euros – ISBN 978-2-7465-0707-4



Destination Géométrie et topologie avec Thurston

Aurélien Alvarez (Dir.)

Réf. 74650708*

Topologie, géométrie, en petites dimensions ?

Mais késako ?! S'appuyant sur des intuitions très géométriques, le mathématicien William Thurston

a bouleversé notre façon d'appréhender les espaces de dimension 3. Son programme de recherche fut mené à son terme dans les années 2000 par le mathématicien Grigori Perelman d'une manière tout aussi grandiose !

Éditions Le Pommier 2013 – 160 pages – 19 euros – ISBN 978-2-7465-0708-1



Nouveauté

Secrets d'épaves

Anne et Jean-Pierre Joncheray

Réf. 70117534

Les deux auteurs, archéologues, ont consacré leur vie aux épaves, à leur recherche et leur fouille.

Ce livre détaille 25 épaves emblématiques s'échelonnant des temps préhistoriques à la Seconde Guerre mondiale, de la grotte Cosquer au mythique Lightning de Saint Exupéry. Plongez dans des siècles d'histoire sous-marine !

Éditions Belin – 240 pages en coul.
39,50 euros – ISBN 978-2-7011-7534-8

Qu'est-ce qu'un pulsar, une naine brune, une supernova ?

Ce livre propose un vaste panorama de l'astrophysique des étoiles en une trentaine de sujets de 4 pages chacun, abondamment illustrés de photographies époustouflantes.

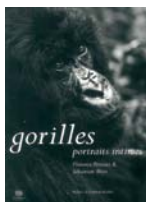
Éditions Belin – 160 pages en coul.
25 euros – ISBN 978-2-7011-6285-0

Gorilles

Portraits intimes

Florence Perroux, Sébastien Meys

Réf. 74650646*



« Croiser le regard d'un grand singe est une expérience singulière qui laisse rarement indifférent. » Côté photographiant les singes anthropoïdes depuis plusieurs années, les auteurs ont eu envie de nous faire découvrir le plus impressionnant mais aussi le plus sensible de nos cousins simiesques : le gorille.

Éditions Le Pommier 2012 – 144 pages
29 euros – ISBN 978-2-7465-0646-6



Nouveauté

Ce que disent les étoiles

Dannielle Briot et Noël Robichon

Réf. 70116285

Qu'est-ce qu'une étoile et par quel mécanisme brille-t-elle ? Comment naît une étoile ?

À LIRE AUSSI...

Merveilleux crabes

101 histoires pour un éloge de la biodiversité

Catherine Vadon

Réf. 70115414

Éditions Belin 2013 – 176 pages
29,50 euros – ISBN 978-2-7011-5414-5



Arachna

Les voyages d'une femme araignée

Vincent Tardieu, Christine Rollard

Réf. 70115556

Éditions Belin 2011 – 192 pages
30,45 euros – ISBN 978-2-7011-5556-2



Cendrillon et la mort des étoiles

Robert Gilmore

Réf. 74650706*

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



Le dernier fado de l'androïde

Et autres histoires de sciences exotiques

Hugues Bersini

Réf. 74650705*

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



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 : pourlascience@daudin.fr

POUR LA SCIENCE

☐ Oui, je commande les livres présentés dans la sélection de Pour la Science. Je reporte les titres, prix et références à 8 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.* : _____

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



Tous ces livres sont également disponibles en librairie.

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 ☐.

SCIENCE & FICTION

Les plantes fantastiques

Mobiles, rapides, carnivores ou « intelligentes », les plantes de la science-fiction ne sont pas tellement éloignées de celles qui recouvrent la Terre...

J. Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

En 1886, le poète Jules Laforgue rêve déjà d'exobiologie et signe un poème où il imagine un écosystème lunaire complet. Il devient l'un des premiers à inventer des végétaux extraterrestres. Aujourd'hui, les descriptions de plantes extraterrestres sont plutôt rares dans les évocations des mondes imaginaires. Elles sont souvent ignorées au profit d'animaux plus ou moins exotiques issus de bestiaires monstrueux. C'est bien sûr nier l'importance du règne végétal.

Même si le nombre d'espèces animales répertoriées aujourd'hui sur Terre dépasse celui des espèces végétales (quelque 1 250 000 contre environ 315 000), les animaux ne peuvent vivre ni se développer sans bactéries et sans leurs cousins eucaryotes (organismes uni- ou pluricellulaires à noyau) : les plantes et les champignons. Rappelons également que les premiers écosystèmes terrestres ont été façonnés depuis l'Ordovicien (il y a 450 millions d'années environ) par les lichens et les plantes terrestres (embryophytes), formant rapidement le gîte et le couvert pour d'autres vagues successives, de vers, d'arthropodes, puis de tétrapodes. À l'évidence, les animaux n'auraient pu se développer sur Terre sans les plantes.

Des efforts ont tout de même été faits pour décrire les plantes de mondes imaginaires : c'est le cas par exemple des « planet opera », ces œuvres de science-fiction qui se déroulent sur une exoplanète réaliste et parfois déroutante. Sur le monde Pandora du film *Avatar* (James Cameron, 2009), satellite de la géante gazeuse Polyphème,

« Et vous, fleurs fixes ! Mandragores à visages, Cactus obéliscals aux fruits en sarcophages, Forêts de cierges massifs, parcs de polypiers, Palmiers de corail blanc aux résines d'acier ! »

Jules Laforgue,
*Climat, faune et flore
de la Lune*, 1886



1. DANS LE FILM *THE RUINS* (2008), comme dans d'autres films de science-fiction ou d'horreur, les plantes prennent le dessus sur l'homme.

les héros explorent la forêt et rencontrent des helicoradians, étranges plantes orangées et hélicoïdales qui se rétractent en spirale au moindre contact. Cette plante rappelle *Spirobranchus giganteus*, un ver benthique vivant dans les eaux tropicales peu profondes. Mais il existe des végétaux dotés d'une pareille mobilité : c'est le cas de *Mimosa pudica*. Les feuilles de cette plante rampante, connue sous le nom de sensitive ou d'herbe mamzelle aux Antilles, ont la capacité de se replier rapidement au moindre contact. C'est une stratégie utile pour se protéger des intempéries et des prédateurs herbivores – une feuille repliée est moins appétissante qu'une feuille bien ouverte.

La mobilité des végétaux

Mais comment ce phénomène, nommé thigmonastie par les botanistes, est-il possible chez les végétaux ? Le moindre contact exercé en surface déclenche la propagation d'un signal (dû à des mouvements d'ions) qui modifie la pression dite osmotique dans les cellules situées à la base de la feuille. La baisse rapide de cette pression permet à la feuille de se plier et de bouger quasi-instantanément. En fait, les végétaux sont des organismes mobiles : certains bambous poussent de un mètre par jour, des réseaux de racines recouvrent rapidement le sol, et beaucoup d'espèces végétales migrent. Ainsi, les graines à hélice (ou samare), du frêne par exemple, qui tournent comme des pales d'hélicoptère, les graines à crochets qui deviennent des « passagers clandestins » des oiseaux migrateurs, ou encore