

plus faciles à isoler et leur croissance est la plus rapide. Bien qu'à l'instar de tous les virus, les bactériophages ne se multiplient qu'à l'intérieur d'une cellule hôte, Delbrück est convaincu que la réplication des phages est un processus autonome, et il décide de se concentrer sur eux.

Pour résister ainsi aux changements chimiques constants de leur environnement, pense-t-il, les gènes doivent être constitués de molécules d'une grande stabilité, donc de protéines. Il devrait donc être possible d'observer leur duplication pendant la réplication des phages. Mais comment isoler des virus au moment de leur réplication ? La durée de réplication variant d'un phage à l'autre, Delbrück et son collègue Salvador Luria ont l'idée d'infecter la même bactérie avec deux souches d'un phage, l'une se reproduisant plus vite que l'autre. Ils espèrent ainsi isoler des formes intermédiaires de la réplication de la souche « lente » au moment où la bactérie éclate à cause du phage « rapide ».

Toutefois, l'expérience de la double infection ne se déroule pas comme prévu. Luria et Delbrück constatent que l'infection par une souche virale empêche l'infection par l'autre. À la même époque, Thomas Anderson, de l'Université de Pennsylvanie, examine au microscope électronique un échantillon de l'une des souches de phage de Delbrück et Luria. Il découvre que les virus sont bien plus complexes que les scientifiques l'avaient imaginé et qu'ils comportent donc certainement plus d'un gène atomique. Le phage se révèle une particule en forme de têtard, composée à la fois de protéines et d'acides nucléiques, et qui se fixe sur la surface externe de la bactérie pour déclencher une infection. La correspondance un virus/un gène envisagée par Delbrück bat de l'aile.

Le biologiste ne se laisse pas démonter pour autant. Pour comprendre comment certaines bactéries résistent à l'infection par les phages, il met au point avec Luria un « test de fluctuation ». Inspiré des calculs probabilistes de la mécanique quantique, ce test consiste à cultiver séparément quelques bactéries d'une même souche, puis à mettre chaque population obtenue en contact avec le phage. Les proportions de bactéries résistantes dans chaque cas indiqueront si les mutations sont

apparues aléatoirement ou en réaction au phage. L'expérience montre que les bactéries évoluent selon les principes darwiniens, au gré de mutations aléatoires qui, parfois, leur confèrent des avantages pour leur survie.

Le test de fluctuation n'a pas fait avancer la compréhension de la réplication des virus, au grand dam de Delbrück. De plus, il devenait clair que le phage utilisait les ressources cellulaires de la bactérie hôte pour se répliquer. Contrairement à l'hypothèse initiale de Delbrück, on ne pouvait pas ignorer l'hôte. Néanmoins, son intuition de se concentrer sur un système simple a été fructueuse. Elle a permis de montrer que le patrimoine des bactéries est transmis par des gènes et non acquis par un simple mécanisme d'adaptation au milieu, marquant les débuts de la génétique des bactéries et de la biologie moléculaire. Et le phage est devenu un organisme modèle pour toute une génération de biologistes, inspirant même James Watson dans sa quête de la structure de l'ADN. Quant à Delbrück et Luria, ils ont reçu (avec Alfred Hershey) le prix Nobel de physiologie et médecine en 1969, en partie pour ces travaux.

Et aujourd'hui ?

Dans ces deux exemples, des scientifiques ingénieux ont avancé des idées fausses. Ces erreurs, peu banales, ont entraîné des développements majeurs dans différents domaines de la science fondamentale, bientôt appuyés par des programmes de recherche de plusieurs milliards d'euros, et l'éclosion d'industries prospères.

Les erreurs de N. Herbert et Delbrück invitent à la réflexion. Delbrück a fait une carrière scientifique prestigieuse. Il a expertisé des approches non conventionnelles et soumis même la meilleure science à un examen critique. Il était assez reconnu par ses pairs pour se permettre l'hétérodoxie. N. Herbert, en revanche, peinait à joindre les deux bouts, allant parfois même à l'assistance publique. Qui sait si, aujourd'hui, son article aurait été publié ? Notre système d'évaluation des contributions scientifiques laisse-t-il une chance de reconnaître ces quelques erreurs qui pourraient susciter un bond créatif en science ? ■

■ LES AUTEURS



David KAISER est professeur d'histoire des sciences au Département de physique de l'Institut de technologie du Massachusetts, aux États-Unis.



Angela CREAGER est professeur d'histoire de la biologie à l'Université de Princeton, aux États-Unis.

■ BIBLIOGRAPHIE

D. Kaiser, *How the Hippies Saved Physics*, W. W. Norton, 2011.

G. Holton [dir.], *Errors : consequences of big mistakes in the natural and social sciences*, *Social Research*, n° 72, 2005.

S. Bergia, *Einstein. Le père du temps moderne*, Belin, 2004.

M. Morange, *Les mousquetaires de la nouvelle biologie*, *Les Génies de la Science*, n° 10, 2002.

A. Creager, *The Life of Virus : Tobacco Mosaic Virus as an Experimental Model, 1930-1965*, University of Chicago Press, 2001.

M. et M. Delbrück, *Bacterial viruses and sex*, *Scientific American*, vol. 179(5), pp. 46-51, 1948.

La sélection de livres

■ POUR LA SCIENCE

Profitez de l'été pour découvrir les dernières nouveautés de nos différentes collections ! Voyagez au pays des physiciens, mathématiciens, neuroscientifiques, biologistes ou encore des naturalistes avec des ouvrages de référence. Bonnes lectures estivales !

En partenariat
avec les éditeurs

Belin:
ÉDITEUR INDÉPENDANT
DEPUIS 1777



Tous ces livres sont
également disponibles
en librairie.

Les sens trompés Des anomalies du cerveau aux comportements étranges

Patrick Verstichel

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 978-2-84245-111-0



Réf. 075111

Merveilleux crabes

101 histoires pour un éloge de la biodiversité

Catherine Vadon

Tourteau, araignée de mer, étrille, etc. : si les crabes sont un mets apprécié, l'incroyable diversité de ces animaux aux formes, aux couleurs et aux modes de vie étonnants reste méconnue. Le livre aux 101 histoires de crabes : des histoires de biodiversité, d'exploration des mondes marins, de pêches, de légendes, etc. Chaque histoire est illustrée de magnifiques photos ou planches anciennes.

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



Réf. 005414

Répondre du vivant

Roland Schaer

La puissance technique a fait de nous une espèce dominante. Si la puissance appelle la responsabilité, comment penser l'exercice de cette responsabilité aujourd'hui ? En cessant de tenir l'homme pour une exception placée hors de la nature. Au travers de cet essai très agréable à lire, Roland Schaer nous amène à effectuer un changement de perspective profond.

Éditions Le Pommier 2013
256 pages – 21 euros – ISBN 978-2-7465-0667-1



Réf. 090667*



Réf. 090663*

Nous, les mammifères

Jean-Louis Hartenberger

Les humains que nous sommes connaissent-ils bien leur nature profonde ? Ils y gagneraient ! L'auteur nous raconte comment, peu à peu, nous avons appris à connaître les mammifères. Puis il nous explique, avec force détails et anecdotes, les particularités qui caractérisent les mammifères, dont nous sommes : lactation, placenta, oûie, dentition et cerveau.

Éditions Le Pommier 2013
240 pages – 21 euros – ISBN 978-2-7465-0663-3

Enquête sur les créationnismes

Olivier Brosseau, Cyrille Baudouin

Fruit d'une enquête minutieuse et riche d'interviews de spécialistes reconnus (biologistes, cosmologistes, sociologues, philosophes, etc.), cet ouvrage est à la fois un recueil d'informations sur les créationnismes et un outil indispensable pour exercer son esprit critique dès lors que la science est convoquée pour justifier des positions politiques.

Éditions Belin 2013
336 pages – 21,50 euros – ISBN 978-2-7465-5795-5



Réf. 005795

Higgs. Le boson manquant

Sean Carroll

Ce livre conte l'histoire de la plus fascinante aventure scientifique de notre temps : la quête du boson de Higgs. La découverte de cette particule élémentaire en juillet 2012 a secoué le monde, tant pour son étrangeté que pour la démesure des moyens déployés. Cosmologiste et vulgarisateur de renom, l'auteur détaille la genèse du projet, mais aussi les rivalités, les doutes et les intuitions géniales de ses acteurs.

Éditions Belin 2013
400 pages – 22 euros – ISBN 978-2-7011-7685-7



Réf. 007685

LHC : le boson de Higgs

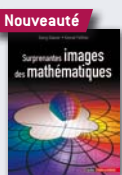
Michel Davier

Le LHC, le plus grand accélérateur de particules du monde, l'instrument scientifique le plus complexe jamais construit, a permis la mise en évidence du mythique boson de Higgs, une particule d'un type nouveau prévue par la théorie, mais qui n'avait encore jamais pu être observée. Quelles en sont les conséquences ? La théorie doit-elle être révisée ?

Éditions Le Pommier 2013
192 pages – 10 euros – ISBN 978-2-7465-0677-0



Réf. 090677*



Réf. 005695

Surprenantes images de mathématiques

Georg Glaeser et Konrad Polthier

Est-il possible de déformer un polyèdre, voire de le retourner ? Peut-on comprendre les tourbillons et la structure complexe des courants ? Ce livre propose une approche visuelle des mathématiques grâce à des images fascinantes et inédites qui illustrent les réponses à toutes ces questions.

Éditions Belin 2013
324 pages – 24 euros – ISBN 978-2-7011-5695-8

La vie, et alors ?

Jean-Jacques Kupiec (Dir.)

Ce livre réussit le tour de force de fournir à la fois une histoire critique, synthétique et accessible des sciences la vie, et un instantané des débats passionnés qui, en ce début de XXI^e siècle, traversent cette discipline.

Éditions Belin 2013
148 pages – 23,50 euros – ISBN 978-2-7011-6148-8



Réf. 006148*

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]

À LIRE AUSSI...

Les gènes voyageurs

Eric Baptiste

Éditions Belin 2013
192 pages – 19,50 euros
ISBN 978-2-8424-5885-3



Réf. 005885

Les mécanismes du sommeil

Sylvie Royant-Parola (dir.) Joëlle Adrien, Claude Gronfier

Éditions Le Pommier 2013
192 pages – 10 euros
ISBN 978-2-7465-0676-3



Réf. 090676*

L'Âge d'or des sciences arabes

Ahmed Djebbar

Éditions Le Pommier 2013
192 pages – 10 euros
ISBN 978-2-7465-0675-6



Réf. 090675*

Le guide des oiseaux de France

Jérôme Morin, Gérard Guillot et Julien Norwood

Éditions Belin 2013
528 pages – 29,50 euros
ISBN 978-2-7011-6505-9



Réf. 006505

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 ☐.

LOGIQUE & CALCUL

La persistance des nombres

Quand on multiplie les chiffres d'un nombre entier, on trouve un autre nombre entier, et l'on peut recommencer. Combien de fois ? Onze fois au plus... semble-t-il.

Jean-Paul DELAHAYE

Certains problèmes qu'on explique en quelques secondes semblent hors de portée des raisonnements abstraits et des capacités de calcul des plus puissants ordinateurs. Le problème de la persistance multiplicative des nombres en base 10, d'énoncé très simple, est l'une de ces redoutables énigmes où le blocage est total.

Considérons un nombre entier positif, par exemple 377. Multiplions ses chiffres : $3 \times 7 \times 7 = 147$. Opérons de même avec le résultat 147 : $1 \times 4 \times 7 = 28$. Reconnaissons : $2 \times 8 = 16$. Encore : $1 \times 6 = 6$. Arrivé à un nombre d'un seul chiffre, on ne peut plus rien faire : $377 \rightarrow 147 \rightarrow 28 \rightarrow 16 \rightarrow 6$.

Cette suite est la « suite multiplicative » de 377 et la « persistance multiplicative » p de 377 est le nombre de fois qu'il a fallu multiplier les chiffres avant d'arriver à un nombre à un seul chiffre ; ici, $p = 4$.

Voici le tableau des persistances multiplicatives (en rouge) des entiers inférieurs à 100 (chaque ligne représente une dizaine) :

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	2	3
4	1	1	2	2	2	3	2	3	2
5	1	1	2	2	3	2	3	2	3
6	1	1	2	2	2	3	2	3	3
7	1	1	2	3	3	2	4	3	3
8	1	1	2	2	2	3	3	3	3
9	1	1	2	3	3	3	3	3	2

Parmi les entiers compris entre 0 et 100, 77 a la plus grande persistance : elle vaut 4.

La persistance multiplicative d'un entier ne peut pas être infinie. Ce n'est pas étonnant, mais démontrons-le, nous en tirerons une information plus fine sur la longueur des suites multiplicatives. Quand nous multiplions les chiffres d'un nombre $N = a_1 a_2 \dots a_c$ ayant c chiffres (avec $c \geq 2$), nous obtenons au plus $a_1 \times 9^{c-1}$, car chaque a_i vaut au plus 9. Ce maximum possible est strictement inférieur à N (car $N \geq a_1 \times 10^{c-1}$). La suite multiplicative de N , qui ne comporte que des entiers positifs ou nuls, est strictement décroissante et donc finie.

La persistance atteint-elle un maximum ?

Ce que nous venons de dire permet de majorer la persistance d'un nombre en fonction de son nombre de chiffres. En effet, puisque le produit des chiffres de $N = a_1 a_2 \dots a_c$ est inférieur ou égal à $a_1 \times 9^{c-1}$, le produit des chiffres d'un nombre N de c chiffres est inférieur à $N \times (9/10)^{c-1}$. Comme $(9/10)^{22} = 0,09847\dots < 1/10$, on en déduit que si N a 23 chiffres ou plus, le nombre de chiffres du produit des chiffres de N est strictement inférieur au nombre de chiffres de N . Il s'ensuit que la persistance de N est majorée par le nombre de chiffres de N plus une constante. Des calculs complémentaires montrent que la constante 2 convient jusqu'à 10^{23} , et

donc qu'elle convient aussi pour tout N : la persistance d'un entier N de c chiffres est toujours inférieure ou égale à $c + 2$.

Maintenant se posent les questions naturelles et élémentaires suivantes :

– La persistance d'un nombre peut-elle être n'importe quel entier ?

– Si ce n'est pas le cas, quelle est la persistance maximale d'un nombre ?

Ces questions paraissent faciles, dans la mesure où l'ordinateur peut suppléer à nos capacités limitées de manipulation des chiffres. L'expérience montre qu'il n'en est rien : jusqu'à présent, ni le raisonnement ni le calcul par ordinateur n'ont permis de trouver d'entiers ayant une persistance supérieure à 11 ! Et l'on désespère d'en découvrir, ainsi que de réussir à prouver que 11 est le maximum.

Voici le tableau des entiers N les plus petits ayant une persistance multiplicative p égale à 1, 2, 3, ..., 11 :

p	N
1	10
2	25
3	39
4	77
5	679
6	6788
7	68889
8	2677889
9	26888999
10	3778888999
11	277777788888899