

Pour la Science

■ POUR LA

SCIENCE

Novembre 1998

édition française de

SCIENTIFIC
AMERICAN

Hormones
et ménopause

La musique
de Cro-Magnon

Le nuage d'Oort

La vie en apesanteur

Écritures
sous contraintes

Amortissement
et dérivées non entières

La classification
périodique des éléments

Les bactéries artistes



JEU-CONCOURS

Calculatrice rudimentaire

par Pierre Tougne

6



BLOC-NOTES

de Didier Nordon

7

TRIBUNE DES LECTEURS

8

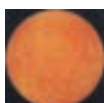


POINT DE VUE

Les modes en science

par Guy Ourisson

11



PRÉSENCE DE L'HISTOIRE

La musique des sphères

par Marc Lachièze-Rey et Jean-Pierre Luminet

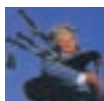
12

SCIENCE ET ÉCONOMIE

Le «levier» de la politique monétaire

par Bernard Guerrien et Sophie Jallais

16

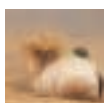


SCIENCE ET GASTRONOMIE

Terroirs de whisky

par Patrick Rives

20



PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

22

■ Un «roi des mers» égaré? ■ L'art du pisteur préservé

■ La capitale des Mannéens ■ Régénération du foie

■ Parasites et environnement ■ Dracula, un enragé?

■ Accélération anormale ■ Images subliminales

■ Carrés hypermagiques

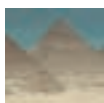


LOGIQUE ET CALCUL

Écritures sous contraintes

par Jean-Paul Delahaye

102



VISIONS MATHÉMATIQUES

Une main-d'œuvre pharaonique?

par Ian Stewart

108



ANALYSES DE LIVRES

110

■ Michel-Eugène Chevreul, *Un savant des couleurs*, sous la direction de G. Roque, B. Bodo et F. Viénot

■ *Art et science de la couleur. Chevreul et les peintres, de Delacroix à l'abstraction*, de G. Roque

■ *Une introduction aux neurosciences cognitives*, J. Delacour

■ *L'eau dans l'espace rural : production végétale et qualité de l'eau*, édité par C. Riou, R. Bonhomme, P. Chassin, A. Neveu et F. Papy

■ *Annuaire du Bureau des Longitudes, Éphémérides astronomiques 1999*

Hormones et ménopause

36

par Craig Jordan

Des composés nommés SERM semblent efficaces contre le cancer du sein, l'ostéoporose et divers troubles associés à la ménopause.



Le corps humain en apesanteur

44

par Ronald White

Les séjours prolongés dans l'espace perturbent la physiologie humaine. La médecine progresse par l'étude des astronautes en orbite.



Son et musique au Paléolithique

52

par Michel Dauvois, Xavier Boutillon, Benoît Fabre et Marc-Pierre Verge

L'étude de quelques instruments sonores fabriqués par les hommes du Paléolithique et l'exploration acoustique de leurs grottes ornées montrent qu'ils utilisaient des phénomènes acoustiques et jouaient de la musique.



Le nuage de Oort

60

par Paul Weissman

Aux confins du Système solaire, des comètes formant un vaste nuage sont attirées presque autant par le Soleil que par les autres étoiles. Les astronomes étudient la dynamique de ce nuage afin de comprendre l'origine du Système solaire.



La création de nouveaux éléments 68

par Peter Armbruster et
Fritz Peter Hessberger

Au cours des dernières années, les physiciens ont créé trois nouveaux éléments : les éléments 110, 111 et 112.



La classification périodique des éléments 74

par Eric Scerri

Depuis ses prémices, il y a environ 200 ans, la classification périodique est devenue un outil essentiel pour les chimistes modernes.



Les mathématiques de l'amortissement 80

par Alain Oustaloup

On perfectionne les systèmes d'amortissement en utilisant les notions mathématiques de fractales, de récursivité et de dérivées non entières.



Des photopiles sans soleil 88

par T. Coutts et M. Fitzgerald

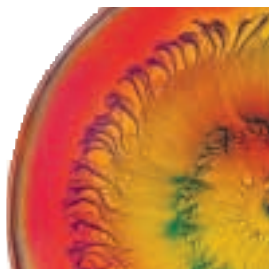
Les générateurs thermophotovoltaïques transforment directement la chaleur radiante en électricité. Ils remplaceront bientôt les groupes électrogènes.



Les beautés du monde microbien 94

par Eshel Ben-Jacob
et Herbert Levine

Les motifs des colonies de bactéries ou d'amibes ressemblent à ceux du monde minéral.



L'intelligence derrière les objets

Les manifestations de l'intelligence ne sont pas apparues subitement, par hasard ou par un coup de baguette magique, dès que le cerveau a atteint une taille suffisante (proche, a-t-on trop longtemps pensé, de sa taille actuelle). Les caractéristiques humaines telles que les pratiques de chasse, la confection d'outils, les réalisations culturelles – bijoux, peintures, instruments de musique – ont contribué au développement cérébral, lequel en retour a permis la poursuite de l'épanouissement technique et de la floraison artistique.

Notre cerveau actuel recherche les connaissances du cerveau passé, et pour cela il tente de discerner les activités intellectuelles sous-tendues par les reliques du passé. Dans cet esprit, il semble raisonnable de penser que le passage du sifflet utile, à la flûte, aux trous «harmonieusement» disposés, dénote une socialisation artistique (voir *Son et musique au Paléolithique*, page 52).

La question est : «Comment discerner la pensée derrière le réel?» En d'autres termes, comment mesurer la pertinence de l'interprétation des messages légués par nos ancêtres? L'exégèse est difficile : ainsi les dessins stylisés des grottes du Paléolithique supérieur, situés à proximité des peintures d'animaux, symbolisent-ils le vagin fécond, source de fertilité comme le pensait Leroi-Gourhan, ou représentent-ils des traces d'animaux utilisées à des fins d'enseignement? L'archéologue trouvera dans les réalisations anciennes mille belles intentions que leurs auteurs n'avaient peut-être pas, du moins de façon consciente. Cela peut agacer les puristes. Devraient-ils pour cela interdire ou se moquer de ces interprétations alors que nous les pratiquons avec emphase pour les expressions artistiques modernes? C'est en interprétant les caractéristiques techniques des objets anciens que l'on précisera leur fonction sociale.

L'analyse fondée sur les connaissances acoustiques actuelles, démontre que les facteurs de flûte et les percussionnistes qui jouaient en frappant les concrétions calcaires des grottes n'étaient pas des esprits simples n'utilisant, ou ne fabriquant, que des instruments simplistes. Chez nos lointains ancêtres, l'empirisme a progressé vers le raisonnement hypothético-déductif, qu'il s'agisse de retrouver la piste d'animaux, de percer les trous de la flûte ou de déterminer les meilleures résolutions des stalactites.

Philippe BOULANGER

JEU-CONCOURS N° 53

PIERRE TOUGNE

Calculatrice rudimentaire

Une calculatrice arithmétique simple ne peut effectuer que les quatre opérations fondamentales : addition, soustraction, multiplication et division, plus l'extraction de racine carrée. Comment calculer une racine cubique à la précision de la machine (classiquement huit chiffres significatifs)? L'idée la plus simple est de procéder par dichotomie. Prenons l'exemple du calcul de la racine cubique de 10. On part d'une estimation par défaut et par excès, disons 2 et 3. On prend le

milieu de l'intervalle, soit 2,5 dont on compare le cube à 10, il est supérieur, donc le résultat cherché est dans l'intervalle [2, 2,5] et l'on recommence jusqu'à ce que l'intervalle soit inférieur à la précision d'affichage de la calculatrice. Il faut 26 itérations du processus pour obtenir le résultat 2,1544346. Ce procédé est long, utilise l'addition, la multiplication et la division, suppose de mémoriser les résultats intermédiaires et enfin demande de prendre une décision à chaque étape du

processus. Sauriez-vous trouver un algorithme itératif n'utilisant que la multiplication et la racine carrée pour calculer la racine cubique d'un nombre?

Envoyez vos réponses aux questions sur carte postale à Pour la Science, 8, rue Férou, 75006 Paris. Parmi les réponses exactes reçues pendant le mois de novembre 1998, dix gagnants tirés au sort recevront un livre.

RÉPONSE AU JEU-CONCOURS N° 51

Pour analyser ce jeu de soustraction, il suffit de procéder à une analyse rétrograde.

Explicitons le procédé sur le jeu normal en base 5. Sur le tableau de la figure 1, la ligne supérieure indique le chiffre joué et la colonne de gauche le nombre affiché avant la soustraction. Dans chaque case du tableau, on place le chiffre 1 si le coup est gagnant, le chiffre 0 si le coup est perdant.

Comment remplit-on le tableau? Tout d'abord, les lignes -3, -2, -1 sont remplies de 1, car l'affichage étant négatif, l'autre joueur avait déjà perdu au coup précédent. La ligne 0 est remplie de 0, car tout coup du joueur aboutira à un résultat négatif, et donc toutes les positions de la ligne sont perdantes. Prenons maintenant la case (1,1) en bleu : les seuls coups jouables par le deuxième joueur sont les cases en bleu de la ligne supérieure qui sont toutes perdantes, donc la case (1,1) est gagnante pour le joueur, et l'on met un 1 dans celle-ci. Passons à la case (1,2) en rouge ; les réponses de l'adversaire sont les cases en rouge de la deuxième ligne supérieure qui sont gagnantes pour le deuxième joueur, donc la case (1,2) est perdante pour le joueur, et l'on met un 0 ; et ainsi de suite.

Afin d'automatiser le procédé, il est commode de se faire un cache montré sur la figure 2. Un carré du bas étant sur la case à remplir, on regarde les chiffres dans les trois cases correspondantes (par exemple, la troisième case à gauche correspond aux rectangles de la troisième rangée à partir du bas). Si au

	CHIFFRE JOUÉ			
	1	2	3	4
-3	1	1	1	1
-2	1	1	1	1
-1	1	1	1	1
0	0	0	0	0
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	1	0	1	1
5	0	0	0	0
6	1	0	0	1

Figure 1

Figure 2

moins un 1 apparaît dans les cases vides de la rangée, on met un 0 dans la case et l'on met un 1 dans le cas contraire. Le tableau de la figure 1 montre le remplissage jusqu'à la ligne 6. Si on le prolonge, on voit très vite que les lignes se reproduisent avec une période 5 et que toutes les lignes $5 \times k$ (en base 10) ne comportent que des 0 et sont perdantes pour le premier joueur.

Pour la variante à qui perd gagne, il suffit d'invertir les 1 et les 0 des quatre premières lignes et de recommencer le remplissage sur le même principe : on découvre alors que les positions perdantes du premier sont $5 \times k + 4$ (en base 10). En base 6, les résultats sont $9 \times k$ pour le jeu normal et $9 \times k + 4$ ($k > 0$) pour le jeu à qui perd gagne.

Pour les bases supérieures, l'analyse manuelle devient vite impossible, mais un tableur ou un petit programme en *basic* font cela très bien. Que trouve-t-on? Après un début irrégulier, le tableau devient périodique (ce qui est prévisible), et il y a toujours des valeurs perdantes pour le premier joueur (ce qui est bien moins évident). Les périodes pour les bases de 2 à 12 sont données pour les deux variantes dans le tableau de la figure 3. Deux constatations s'imposent : après un début assez régulier, ces périodes sont assez imprévisibles et peuvent même décroître! D'autre part, ces périodes sont en général identiques dans les deux variantes, sauf pour les bases 9 et 12. L'espoir de trouver une règle générale me semble très hypothétique. Aucun lecteur ne l'a trouvée, mais c'est un défi. Que les médaillés Fields se mobilisent...

BASE	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PÉRIODE JEU NORMAL	2	3	4	5	9	57	114	183	645	501	120
PÉRIODE JEU INVERSE	2	3	4	5	9	57	114	18	645	501	1503

Figure 3

L'hippopotame aussi

Quand on le lance en l'air, le chat retombe sur ses pattes. Un autre animal possède ce don : l'hippopotame. Curieusement – alors que l'aptitude du chat à retomber d'aplomb est bien connue – celle de l'hippopotame n'a jamais été mise en évidence. Peut-être vous demandez-vous alors comment je sais qu'il la possède. C'est pourtant simple : je le sais parce que c'est vrai ! Je n'ai pas besoin d'attendre la confirmation expérimentale. (C'est l'avantage d'être un théoricien.) Pourquoi personne n'a-t-il encore eu la curiosité de lancer un hippopotame, et de le voir se récupérer habilement sur ses pattes (c'est un beau spectacle) ? Sans doute les chercheurs craignent-ils que l'animal, retombant dans la boue qui lui sert d'habitat, ne les éclabousse.

Tu enfanteras dans la douleur

« **C**'est 90 % de souffrance et 10 % de bonheur », affirme Laurent Jalabert dans *Le Monde* (12-13 juillet 1998). L'étonnant n'est pas que cette personnalité soit un coureur cycliste : *Le Monde* s'est – récemment, mais fermement – reconverti en journal fana du sport. L'étonnant est que Jalabert utilise quasi-

ment les mêmes termes qu'une autre personnalité, le mathématicien Alain Connes, interviewé voici quelques années : « Nous souffrons 90 % du temps », disait-il. Étrange constance de la proportion... Quel critère, alors, orientera un jeune masochiste vers le métier de mathématicien ou vers celui de coureur ?

Ceux qui en ont le goût pourraient entreprendre une collection de citations, dues aux professionnels les plus divers – écrivains, artistes, sportifs, scientifiques – reprenant toutes ce même thème. Il n'existe pas de spécialité qui ne mène à 90 % de souffrance (au moins !) quand on veut y exceller. Dure condition humaine.

X - files

Depuis que Descartes l'a utilisée pour désigner les inconnues, la lettre X fait une carrière magnifique. Elle a servi aux rayons X, ainsi baptisés initialement parce que leur nature était mystérieuse. Elle sert de réconfort aux victimes qui, à défaut de se venger d'un agresseur inconnu, se consolent en portant plainte contre X. Enfin, les étudiants les plus habiles à trouver les valeurs prises par l'inconnue X gagnent le droit d'entrer dans la Grande École, conséquemment surnommée X, ce qui est un premier pas vers la gloire.

S'il n'y a pas loin des inconnues à la gloire, il n'y a pas loin non plus de l'inconnu à l'anonymat. Or l'anonymat est cher aux adeptes de certains types de spectacles. C'est pour cela, j'imagine, que cette même lettre X désigne les films porno. Il y a beaucoup de sagesse dans cet usage : même vénale, même mimée grossièrement pour subvenir aux besoins des productions de films pour quartiers de gares, il y a toujours, dans la rencontre avec l'autre, un inconnu abyssal, tout le mystère du X.

Le passé est un mystère

Du nez de Cléopâtre à la maladie de Cromwell, en passant par le succès ou l'échec des attentats contre les tyrans, le rôle du hasard dans les affaires humaines donne le vertige. Mais s'agit-il bien de hasard ? La réponse à cette question diffère selon que l'événement considéré a déjà eu lieu, ou s'il est au contraire à venir, donc objet de craintes ou d'espoirs. Selon l'historien Jean Stengers, une étonnante dissymétrie sépare nos perceptions du passé et de l'avenir : le hasard s'applique au passé, guère à l'avenir.

Quand il pense à l'avenir, l'homme est habité de croyances – croyances en des forces bien ou malveillantes, en une bonne ou mauvaise étoile personnelle, en la possibilité d'infléchir les forces dont il dépend. Tout cela s'efface quand il se tourne vers le passé : « Que l'on songe aux innombrables prières adressées à Dieu pour qu'il évite aux hommes telle ou telle catastrophe. Que reste-t-il de cela lorsqu'on écrit l'histoire ? Pratiquement rien. Tout le vocabulaire, chargé d'idées et de sentiments, qui sert au présent et à l'avenir – le destin, la chance, la malchance, la veine, la poisse, la bonne fortune, la bonne étoile, la Providence, la baraka, le mauvais sort, l'injustice du sort, la bonté de Dieu, les aptitudes spéciales des saints – tout cela est presque complètement balayé, quand il s'agit du passé, au profit d'un mot et d'une idée : le hasard.

« Des mots chargés d'affectivité sont remplacés par un terme parfaitement neutre et froid. Toutes les forces que l'on croit voir en action dans le monde présent et futur sont oblitérées au profit de l'incompréhensible. C'est le hasard, à peu près seul, qui occupe le passé. » (Jean Stengers, *Vertige de l'historien*, Les empêcheurs de penser en rond, 1998.)

L'impossible négativisme

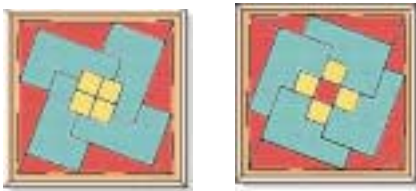
On connaît l'ironie de cet homme préhistorique gravant de mystérieux hiéroglyphes sur une paroi tout en disant à son *Homo sapiens* de voisin : « Ça ne veut rien dire, mais ça les rendra fous dans 10 000 ans. »

D'autres beaux esprits, plutôt que s'exténuer à chercher le sens éventuel d'un texte obscur, déclarent sèchement qu'il n'en a pas. Ainsi ont procédé les physiciens A. Sokal et J. Bricmont. On s'en souvient, leur livre, *Impostures intellectuelles*, réunit des citations d'auteurs « postmodernes » suivies d'un blâme affirmant que les textes cités ne veulent rien dire. En réaction vient de paraître un livre collectif dont le titre sans surprise, *Impostures scientifiques* (La Découverte, 1998), annonce clairement l'intention : continuer la guerre. De cet ensemble inégal, retenons une remarque de Jean-Michel Salanskis : « L'affirmation qu'un texte n'a pas de sens est l'affirmation théorique la plus ambitieuse et la plus difficile à étayer qui soit. Établir qu'une phrase n'a pas de sens exigerait qu'on détienne une vue *a priori* des modes de la construction du sens, couvrant effectivement la multiplicité vertigineuse des possibilités en la matière, tenant compte de l'incidence de toutes les connivences et les partages de culture notamment. Je condamne donc la légèreté qu'il y a à professer dogmatiquement – et avec agacement par surcroît – que des phrases n'ont pas de sens. »

La position de J.-M. Salanskis a de la beauté. Seulement, les bluffeurs existent, semble-t-il : doit-on s'interdire tout moyen de les épingle ? Et puis, même si J.-M. Salanskis a raison dans l'absolu, il faut une rare noblesse d'âme pour renoncer à ce plaisir grisant entre tous qui consiste à décréter que tel ou tel texte n'a aucun sens, donc que son auteur est un charlatan, donc que les lecteurs qui le prennent au sérieux sont des imbéciles...

L'aire manquante

Martin Gardner proposait dans *Les jeux mathématiques* (voir *Pour la Science*, octobre 1998) l'énigme illustrée par la figure ci-dessous. Chaque motif est l'assemblage des mêmes 16 pièces, mais celui de droite a en plus un trou carré en son centre. D'où vient cette surface supplémentaire ? La solution vient de la différence entre les angles aigus des petits et des grands triangles. Les côtés du motif de gauche sont donc légèrement concaves, tandis que ceux du motif de droite sont légèrement convexes : les angles aux coins sont supérieurs à 90 degrés, ce qui laisse au centre l'aire du carré.



Vaccination contestée

L'article de Philippe Kourilsky, *Un vaccin contesté* (voir *Pour la Science*, septembre 1998) appelle quelques remarques. D'abord, ce n'est pas le vaccin qui est contesté, mais ses indications. J'injecte des dizaines de doses de vaccin anti-hépatite B, parfois plus de 20 par individu, depuis 15 ans, à des population à très haut risque, des hémodialysés. Qui peut contester que, dans cette population, la disponibilité du vaccin a été une révolution ? Mais l'hépatite B se transmet par voie sexuelle et sanguine. Les précautions prises actuellement pour la transfusion rendent le risque extrêmement faible et, pour la transmission sexuelle, le préservatif reste la méthode de choix (avec le dépistage des partenaires qui deviennent réguliers) pour prévenir l'ensemble des maladies sexuellement transmissibles. À quoi sert alors de vacciner les nouveau-nés ?

Comme pour toute thérapeutique, le fait d'étendre à la population générale la vaccination a fait apparaître les effets secondaires rares qui n'avaient pas été détectés auparavant. Combien de médicaments ont été retirés du marché quelques années après leur commercialisation, malgré les études préalables prouvant leur innocuité ? Qui connaît un médicament efficace et sans aucun effet secondaire ? Ce serait une grande première en médecine ! Chaque fois que l'on introduit (notamment par effraction) dans l'organisme un antigène, il est susceptible de déclencher une réaction. Pourquoi contester que cet antigène destiné à

provoquer une réaction immunologique (fabrication d'anticorps anti-Hbs) chez un individu, puisse, sur un terrain particulier, provoquer une réaction immunologique inattendue qui peut intéresser de nombreux organes, et pas uniquement le système nerveux (voir sur l'Internet : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/search?for=hepatitis+b+vaccine+AND+side+effets>).

Chaque fois qu'un praticien prescrit un médicament, il doit évaluer le rapport «risque sur bénéfice», donc en connaître les deux termes, et informer son patient avant de décider avec lui d'une action thérapeutique. Les Français ne sont pas les seuls à nourrir des doutes, voir les sites aux adresses : <http://www.rmplc.co.uk/education/sites/autism9a.html> et <http://www.i-wayco.com/niin/vaccinationupdate/hepatitisb.html>

José GUISEX, Saint-Pierre

On ne peut prétendre à la sécurité absolue. Sans doute, mais en tenant simplement compte des rapports entre l'intérêt et les risques, cette campagne de vaccination est un non-sens, en France. Peut-on éradiquer l'hépatite B dans un seul pays à l'heure de la mondialisation ? On nous dit que l'un des objectifs premiers de l'Organisation mondiale de la santé est de supprimer cette maladie... Comment envisager sérieusement la chose en vaccinant 25 millions de Français au milieu de 320 millions d'Européens non vaccinés en les mêmes termes ?

Jean-Marie GENDARME, Criel-sur-Mer

Pour étayer sa défense de cette vaccination, P. Kourilsky se réfère aux 271 cas d'atteintes démyélinisantes rapportées par l'Agence du médicament et ajoute qu'en fonction de l'incidence générale de ces maladies : «On en attendait deux à trois plus chez les vaccinés.» La vaccination aurait donc évité entre un tiers et la moitié des atteintes neurologiques ! Pense-t-il sincèrement que l'on puisse adhérer à un tel raisonnement ? Ces 271 cas correspondent en fait à des notifications spontanées que les médecins ont d'ailleurs beaucoup de mal à faire enregistrer, et après des délais interminables.

Les seules données irréfutables seraient des enquêtes épidémiologiques approfondies, effectuées par des experts indépendants. L'enquête, c'est qu'actuellement elles sont inexistantes. Ainsi, dans un dossier publié en 1997 par la Pharmacie centrale des hospices civils de Lyon, après neuf ans de mise sur le marché et six ans d'utilisation massive des vaccins recombinants, on lit : «L'efficacité des vaccins recombinants en terme de protection contre l'hépatite B a été évaluée» et : «Il convient

de promouvoir des études épidémiologiques appropriées pour explorer, notamment, les effets indésirables de ces vaccins.»

Le cas du BCG auquel P. Kourilsky se réfère est exemplaire. Une étude effectuée en 1984 situait le risque d'ostéite à BCG à 1 pour 28 270 en Suède et 1 pour 2 700 000 en France, soit 100 fois moins ! L'explication la plus simple est qu'il n'existe pas de système de surveillance régulier de ces incidents en France.

Quant à l'évaluation du rapport entre le coût et le bénéfice de la vaccination antihépatite B, le résultat de la seule étude que je connaisse est sans appel : la politique vaccinale coûte 20 fois plus cher que le traitement des hépatites pour la population générale et cinq fois plus cher pour les hommes de 15 à 40 ans. Le coût est équivalent pour les homosexuels. La politique vaccinale ne devient rentable que pour les toxicomanes.

Michel GEORGET, Chambray-lès-Tours

Réponse de Philippe Kourilsky

La publication par les autorités de santé, le 1^{er} octobre 1998, d'un ensemble détaillé de données épidémiologiques ainsi que d'une étude de la comparaison des bénéfices et des risques de la vaccination contre l'hépatite B, répond à la plupart de ces remarques. Les conclusions ayant été largement diffusées et commentées, il suffit ici de rappeler deux points majeurs.

Aucune association statistiquement significative entre vaccination et sclérose en plaques (SEP) n'a été dégagée, ni dans les études françaises ni à l'étranger (voir le rapport de l'Organisation mondiale de la santé élaboré à la suite de la réunion d'experts tenue à Genève du 28 au 30 septembre 1998). Une étude menée en Grande-Bretagne laisse ouverte, mais sans validation des données, la possibilité que la vaccination agisse comme un révélateur, en provoquant une accélération des symptômes de la SEP sans en accroître l'incidence. L'évocation, par certains responsables, d'une «tendance» à l'association, est assez surprenante, car cette notion n'a pas de sens statistique. L'absence d'association est une conclusion qui, en raison de sa nature statistique, ne vaut que dans un certain intervalle de confiance. Ce que l'on peut traduire d'une autre manière : la vaccination est inoffensive sauf, peut-être, pour une sous-population dont la taille est d'autant plus réduite que les données épidémiologiques sont plus abondantes. On imagine, sans en avoir la preuve, que cette sous-population hypothétique pourrait être constituée de ceux qui ont des antécédents de SEP. Ce qui induit une logique de l'interrogatoire préalable à l'acte vaccinal. C'est, si j'ai bien compris, ce qui a conduit les pouvoirs publics à suspendre

DES LECTEURS

la vaccination des pré-adolescents en milieu scolaire.

La comparaison des bénéfices et des risques effectuée par J. Drucker et ses collaborateurs penche fortement en faveur de la vaccination (il s'agit de bénéfices médicaux et non économiques, comme l'évoque un lecteur). Le rapport souligne à nouveau l'absence de corrélation statistique et montre que, dans l'hypothèse d'une association, le nombre de premières atteintes démyélinisantes centrales (signalant l'émergence de la SEP) dans une cohorte de 800 000 pré-adolescents non vaccinés et fictivement suivis jusqu'à l'âge de 30 ans serait situé dans une fourchette de 0,56 à 2 cas au total. Dans le même temps, la vaccination éviterait, selon les scénarios, entre plusieurs centaines et plusieurs milliers d'infections par le virus de l'hépatite B, d'où résulteraient entre 3 et 29 hépatites aiguës fulminantes, ainsi qu'entre 12 et 147 cancers du foie.

L'objectif de la vaccination contre l'hépatite B n'est pas d'éradiquer le virus (ce qui n'est pas possible dans le court terme, en raison du nombre élevé de porteurs chroniques), mais d'offrir une protection individuelle contre la maladie. La vaccination des nourrissons a pour buts principaux de mettre l'enfant à l'abri de l'infection, de protéger le futur adolescent, et de bloquer la transmission verticale à partir de mères porteuses du virus. Dans les trois cas, les risques ne sont pas négligeables en raison de l'existence, en France, de 100 000 à 150 000 porteurs chroniques, pour la plupart asymptomatiques. La vaccination des enfants est à la fois efficace et de longue durée. Telles sont, je pense, les raisons qui motivent la recommandation des autorités de santé de poursuivre la vaccination des nourrissons. Selon les conclusions du rapport de J. Drucker, celle-ci devrait même être amplifiée, de façon à compenser la baisse de vaccination des pré-adolescents.

On ne pourra jamais conclure à l'innocuité absolue du vaccin, de même qu'on ne peut être totalement assuré que la prise d'un comprimé d'aspirine ne va pas provoquer un accident grave. La recherche du risque minimum est un exercice difficile. En l'occurrence, la suspension, en milieu scolaire, de la vaccination des pré-adolescents semble privilégier un risque hypothétique et faible par rapport à un risque avéré et beaucoup plus élevé. Ceci me renforce dans la conviction que j'ai déjà développée ailleurs qu'il est essentiel de mener des réflexions plus approfondies sur la notion de risque et sur le concept de précaution. Le principe de précaution est généreux dans l'intention, mais il recouvre d'importantes inversions de logique sociale. Dans son état actuel, il est largement dépourvu de contenu et peut être invoqué et utilisé à n'im-

porte quelle fin, y compris celle de bloquer toutes innovations, s'il n'est pas assorti de définitions et de méthodologies qui permettent de mieux circonscrire et, dans certains cas, de hiérarchiser les risques. Comme les réactions de certains lecteurs le montrent, les attitudes envers la vaccination sont souvent passionnelles. L'histoire de la vaccination et l'analyse des réactions qu'elle a suscitées et suscite encore, valent d'être réfléchies. L'actuel débat prendrait sa vraie dimension s'il était inscrit dans une réflexion calme et posée sur la définition et l'acceptabilité des risques aux plans individuel et collectif.

Atomes et éléments

Dans l'article de Philippe Chomaz et Gilles de France *Les symétries dans les atomes et les noyaux* (voir *Dossier Pour la Science, Les symétries de la nature*), on lit que «les Grecs connaissaient les cinq polyèdres réguliers... et les identifiaient aux cinq substances simples du monde : les cinq atomes». Platon a dû se retourner dans sa tombe, lui qui, contrairement à Démocrite et à ses atomes, a décrit le monde comme formé de quatre éléments associés chacun à un polyèdre régulier, le feu (le tétraèdre), la terre (le cube), l'air (l'octaèdre) et l'eau (l'icosaèdre), le cinquième solide régulier, le dodécaèdre, représentant l'Univers.

Plus loin, on apprend que : «Les propriétés chimiques des atomes varient périodiquement avec le numéro atomique comme l'a observé Alexei Mendeleïev sans le comprendre.» Alexei Mendeleïev doit être un parent de Dimitri Mendeleïev, l'homme de la classification périodique des éléments qui, mort en 1907, n'a effectivement rien compris à l'interprétation électronique de la notion de numéro atomique élaborée en 1913 par Henri Moseley.

Georges BRAM, Orsay

Réponse de Philippe Chomaz

Ces remarques sont justifiées. On peut ajouter que les Grecs ne connaissaient au début que quatre polyèdres réguliers, donc quatre éléments, et que la découverte d'un cinquième les plongea dans une grande perplexité. Cette crise a été résolue en associant le cinquième à l'éther.

Pour ce qui est du numéro atomique c'est la masse qui a servi de base à la classification périodique de Dimitri Mendeleïev, et non le nombre d'électrons, même si aujourd'hui nous savons que c'est ce dernier qu'il faut considérer. La vérité historique ne coïncide pas toujours avec la vérité physique, et les connaissances nouvelles permettent parfois de réinterpréter les découvertes anciennes et de corriger des erreurs.

Les modes en sciences

GUY OURISSON

L'attribution démocratique des crédits amplifie les modes.

Les sciences dures ne suivraient pas la mode et ne pourraient la subir. Elles avanceraient par étapes, quand elles le peuvent, quand les scientifiques constatent qu'ils peuvent combler une lacune, expliquer un point jusqu'alors inexpliqué, quand ils peuvent utiliser ce qu'ils ont acquis dans un domaine pour faire progresser un champ différent. Comment des activités aussi raisonnables, aussi rationnelles, seraient-elles influencées par des modes? Les activités scientifiques ayant d'autant plus de mérite qu'elles sont originales, elles perdraient tout mérite si elles n'étaient que des exercices à la mode.

Voire! Un instant de réflexion suffit pour démontrer l'ineptie de cette vision angélique du travail en sciences dures. Tout d'abord, la mode qu'on lance est parfaitement recommandable. Ainsi la chimie mettant en jeu des assemblages de molécules, la chimie supramoléculaire lancée, il y a une vingtaine d'années par Jean-Marie Lehn, valut à ce dernier un prix Nobel. Le style lucide que J.-M. Lehn utilise pour présenter ses travaux, les développements originaux qu'il n'a cessé d'y apporter, le choix d'un excellent terme, intuitivement compréhensible dans toutes les langues, ont attiré des dizaines de groupes de recherche, et la chimie supramoléculaire est devenue un axe majeur de développement de la chimie. Pourtant, si les travaux de J.-M. Lehn et de quelques autres qui s'en inspirent constituent une œuvre réellement originale, que de suivistes!

Pourquoi les démarches originales sont-elles l'exception? En partie parce qu'en sciences dures, certaines modes sont imposées par les commissions qui attribuent les moyens de travail. On peut ainsi accuser les commissions du CNRS d'avoir d'abord retardé en France l'avènement de la biologie moléculaire, à laquelle elles n'étaient pas réceptives. Cette obstruction a conduit les biologistes moléculaires à contourner le système, par une voie moins démocratique : ils ont obtenu leurs crédits de recherche

en s'adressant à la Délégation générale de la recherche scientifique et technique. Puis, une fois en place, les biologistes moléculaires ont siégé dans des commissions, et ils ont tué les sciences naturelles.

Ce type de fonctionnement pathologique résulte d'une difficulté de partage des crédits : il n'y en a pas assez pour toutes les disciplines, et les secteurs les plus actifs accaparent les budgets. Ainsi, quand la biologie a examiné les bases moléculaires du fonctionnement du monde vivant, elle a fait de si foudroyants progrès qu'elle a bouleversé notre santé, notre alimentation, l'économie mondiale, mais aussi la psychologie sociale de nos pays. Les activités plus classiques ont semblé peu fructueuses et peu utiles.

La situation est même devenue paradoxale : alors que la mode moléculaire, si fertile, si innovante, devenait hégémonique, nos grands herbiers, tels celui du Muséum, n'ont pas assez bénéficié des possibilités nouvelles que leur offraient l'informatique, le traitement des images, l'analyse chimique automatisée à grand débit ou les méthodes d'analyse du génome. Le dernier rapport de conjoncture du CNRS, en 1996, contient, dans ses 600 pages, quelques brefs paragraphes qui défendent les sciences naturelles, sans utiliser ce terme démodé, mais comment un chasseur de papillons pourrait-il être recruté comme chargé de recherche si la commission qui décide est majoritairement acquise aux modes modernes?

La belle affaire, a-t-on dit : les herbiers ou collections de papillons sont jolis, mais inutiles. Là encore, méfions-nous de jugements hâtifs : cet été, les revues *Nature* et *Science* ont signalé l'état de santé désastreux des grenouilles du monde entier : le crapaud doré semble avoir disparu des Antilles ; dans d'autres régions, plusieurs espèces ne sont plus qu'en petit nombre ; les grenouilles sèchent sur pied, et un examen postmortem montre qu'elles ont été infectées par un champignon dont on ignorait qu'il attaquait les

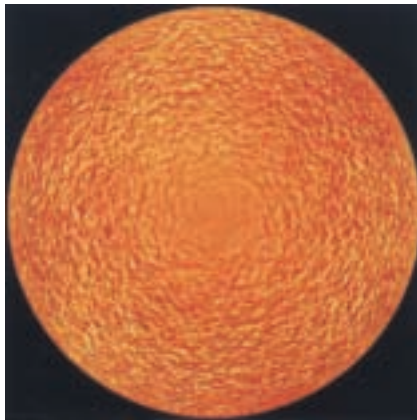
batraciens. Hélas, les spécialistes des grenouilles sont devenus encore plus rares que les batraciens eux-mêmes, et personne ne sait interpréter les observations : s'agit-il de phénomènes cycliques, et donc réversibles? Ou bien cette infection risque-t-elle de devenir une pandémie? Peut-on se passer de grenouilles sans souffrir ensuite d'invasions de moustiques et de limaces? Les grenouilles sont-elles sensibles au champignon parce qu'elles avaient été fragilisées par les ultraviolets, que l'atmosphère dégradée filtrerait mal? La disparition des grenouilles annonce-t-elle notre apocalypse? La disparition programmée des batrachologistes et autres naturalistes de terrain nous oblige à avouer notre ignorance.

Comment éviter un trop fort effet des modes sur l'attribution des crédits de recherche et, donc, sur la survie de certaines disciplines? Comment compenser le pouvoir de nuisance de commissions démocratiques, où la majorité impose logiquement sa loi? La commission des subventions pour la recherche de l'OTAN a utilisé une méthode qui consistait à ne distribuer selon les critères démocratiques classiques que 90 pour cent des crédits disponibles, et à réserver les dix pour cent restants aux projets hors mode, quitte à renvoyer ces dix pour cent à la séance suivante, quand ce type de demande manquait. C'est ainsi qu'elle a réussi à subventionner une étude turco-irlandaise sur le contenu des rêves dans les différentes civilisations européennes, une étude italo-américaine sur l'utilisation de photographies de satellites pour l'étude de l'évolution architecturale d'une ville italienne, des études des petits animaux des forêts africaines, etc.

Les chercheurs ne doivent pas redouter l'existence de modes, mais ils doivent les lancer plus que les suivre, et les institutions scientifiques doivent plus les contrôler que les subir.

Guy OURISSON est vice-président de l'Académie des sciences.





La musique des sphères

MARC LACHIÈZE-REY • JEAN-PIERRE LUMINET

Des Pythagoriciens à la physique moderne, les démarches intellectuelles qui cherchent à appréhender le monde utilisent la notion d'harmonie.

Les globes voltent sous mes doigts, traçant les courbes musicales de ce poème.

(André Suarès, «Le Musicien des sphères», dans *Images de la grandeur*, 1901)

En physique, l'une des plus intéressantes théories d'unification des interactions tente de décrire les particules non pas comme des corpuscules ponctuels, mais comme des vibrations de minuscules «cordes», entités géométriques à une dimension. Ce type de modélisation, fondé sur des symétries mathématiques particulières, constitue l'un des derniers développements d'une tradition qui remonte aux Pythagoriciens.

Pour ces derniers en effet, l'Univers devait nécessairement se manifester par des proportions «justes», par des rythmes, par des nombres : le monde chantait et vibrerait harmonieusement ! Dès le VI^e siècle avant notre ère, ils avaient remarqué que les intervalles musicaux tels que l'octave, la quinte, la tierce, etc., s'obtiennent en faisant vibrer des cordes dont les longueurs sont des fractions entières de la longueur qui engendre la note fondamentale, comme $1/2$, $2/3$, $3/4$, etc. Considérant le cosmos dans son ensemble comme un système harmonieux, ils en avaient déduit que les sept notes naturelles de la gamme étaient en correspondance avec les sept corps célestes connus (le Soleil, la Lune et les cinq planètes visibles), auxquels s'ajoutaient trois sphères supplémentaires pour atteindre le nombre dix, parfait entre tous (car c'est notamment la somme des quatre premiers entiers).

Un peu plus tard, au IV^e siècle, Platon décrit, dans l'*Épinomis*, cette harmonie céleste, en déclarant notamment que les astres exécutent «le plus magnifique de tous les chœurs». Cicéron évoque dans le *Songe de Scipion* ce son «si intense et si agréable» qui remplit les oreilles de son héros : «l'impulsion et le mouvement de ces orbes [célestes] sont réglés selon certains intervalles inégaux, obéissant à des rapports de proportion très exacts. Les plus aigus sont tempérés par les plus graves, et leur équilibre donne différentes harmonies.»

Cette tradition, assimilant le cosmos à un instrument de musique, se perpétue pendant le Moyen Âge et jusqu'à la renaissance scientifique. Au XVII^e siècle, le jésuite encyclopédiste Athanasius Kircher évoque, dans l'*Œuvre universelle des muses* (*Murgia universalis*), «la grande musique du monde, cette merveilleuse correspondance des cieux, des éléments et des créatures» (voir la figure 4), tandis que le médecin londonien Robert Fludd décrit, dans *Des deux mondes* (*Utriusque Cosmi*), l'Univers comme un luth monocorde conçu par Dieu, dont les dix registres (les dix sphères célestes pythagoriciennes) traduisent l'harmonie de la Création.

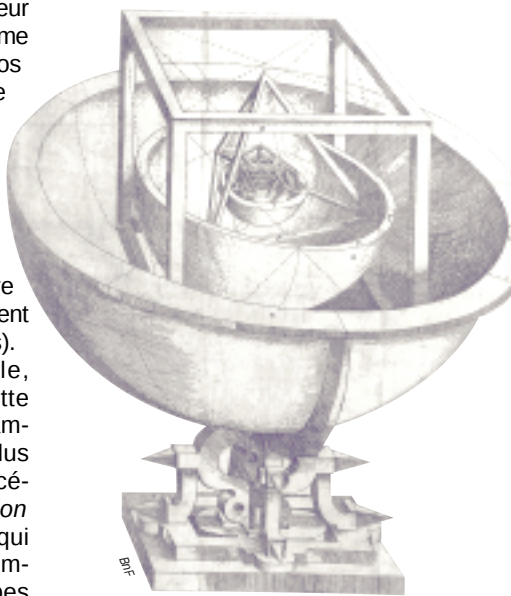
Pour le Français Marin Mersenne, tout ce qui s'exprime par des proportions peut être traité en termes d'harmonie et donc, en particulier, la disposition des orbes célestes. À la même époque, l'astronome allemand Johannes Kepler reprend l'idée qu'un astre émet un son d'autant plus aigu que

son mouvement est rapide, et l'adapte à sa découverte de la nature elliptique des orbites planétaires : des intervalles musicaux bien définis sont associés aux planètes (voir la figure 3). Kepler voit dans cet enrichissement de la symphonie céleste la confirmation de sa découverte : la «beauté harmonique» du monde, qui selon lui émane d'une volonté divine explicite et s'adresse directement à notre âme.

Près d'un siècle plus tard, l'œuvre d'Isaac Newton englobe deux visions du monde apparemment antagonistes : d'une part une conception mécaniste (le monde s'explique comme une grande horloge réglée par des lois universelles) ; d'autre part, l'idée que la nature reste soumise à une harmonie d'ordre supérieur – d'où son intérêt profond pour l'alchimie, la théologie, voire l'astrologie. En réalité, les immenses succès de sa mécanique (prédiction du retour des comètes périodiques, découverte de la planète Neptune par le calcul) seront en partie dus à la mise en œuvre de nouvelles et puissantes constructions mathématiques, dont l'accord avec le monde observable exprime l'harmonie de ce dernier. Newton accomplit ainsi le rêve de Kepler : «Cet arrangement aussi extraordinaire du Soleil, des planètes et des comètes n'a pu avoir pour source que le dessein et la Seigneurie d'un être intelligent et puissant» (*Principes de la Philosophie Naturelle*, 1687)

L'HARMONIE DANS LA PHYSIQUE MODERNE

Après Newton, l'harmonie sera toujours invoquée par les physiciens pour décrire et pour comprendre le monde, mais sous des formes nouvelles. «Quand, à une certaine occasion, j'ai demandé au professeur Einstein comment il avait trouvé la théorie de la relativité, il me répondit qu'il l'avait trouvée parce qu'il était tout à fait convaincu de l'harmonie de l'Univers» rapporte l'épistémologue Hans Reichenbach. Métaphysique, philosophie, religion, ésotérisme, références musicales et artistiques disparaissent du discours explicite de la



1. Dans *Le secret du monde*, Kepler voyait l'Univers comme un emboîtement de solides parfaits : «les solides symétriques s'insèrent les uns après les autres avec tant de précision entre les orbites appropriées qui si un paysan demandait à quels crochets les cieux sont fixés, il serait facile de lui répondre».

science. Physique et astrophysique parlent pourtant de spectres, de fréquences, de résonances, de vibrations, d'analyse harmonique. Grâce à cette dernière notamment, n'importe quel signal variable dans le temps peut se décrire par une composition de fonctions trigonométriques.

Cette harmonie est exprimée sous une forme mathématique, plus souvent géométrique que musicale conformément au programme que Galilée propose dès 1623 dans *Il Saggiatore* (*L'Essayeur*). «Or [l'Univers] est écrit en langue mathématique, et ses caractères sont les triangles, les cercles et autres figures géométriques, sans lesquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot, sans lesquels on erre vraiment en un labyrinthe obscur». La physique post-newtonienne oscille en fait entre une conception purement mécaniste et une vision plus harmonique. Cette hésitation rappelle un antagonisme évoqué par Héraclite, selon lequel l'harmonie émise par la lyre résultait d'une lutte entre la tension des cordes et le bois.

La vision harmonique possède à son actif quelques-unes des synthèses fondatrices de la physique : après les tentatives géométriques et musicales de Kepler, il y eut la formule empirique de Titius-Bode, établie à la fin du XVIII^e siècle, qui décrivait la distance des planètes au Soleil par une suite harmonique : la Terre est à $0,4 + 0,3 \times 2^1$, soit une unité astronomique du Soleil, Mars en est à $0,4 + 0,3 \times 2^2$ unités astronomiques, etc. Autre exemple, au XIX^e siècle, la classification des raies spectrales de l'atome d'hydrogène en fonction de ses fréquences vibratoires fut initialement proposée par le Suisse Johan Balmer, puis reprise par le Suédois Johannes Rydberg. Ils découvrirent que les fréquences des raies d'émissions (qui résultent d'une désexcitation de l'atome) s'expriment par une formule unique qui faisait intervenir des nombres entiers, à la manière des intervalles musicaux. Aujourd'hui, cette «harmonie» spectrale s'explique bien dans le cadre de la mécanique quantique : les niveaux d'énergie des électrons d'un atome étant discrets et non continus, ils peuvent être mis en correspondance avec des nombres entiers.

L'harmonie secrète du monde prend aujourd'hui le nom de symétrie. La physique contemporaine utilise en effet les symétries de la géométrie moderne, c'est-à-dire l'invariance de certaines figures ou objets mathématiques par des transformations mathématiques (des groupes de symétries), pour décrire, classifier, unifier les particules élémentaires et leurs interactions, ainsi que les modèles d'Univers dans son ensemble. Platon ou Kepler ne faisaient rien d'autre. La théorie des groupes, l'outil mathématique moderne qui permet

d'exprimer les symétries, a seulement élargi la palette des symétries utilisables : au lieu d'utiliser les symétries simples de la sphère ou des polyèdres réguliers (invariance par des rotations continues ou discontinues), les physiciens utilisent des symétries plus complexes (groupe d'inva-

riance de matrices, groupes cristallographiques, etc.), mais qui ouvrent de nouvelles perspectives. C'est avec ces groupes que sont décrits les comportements des particules, que sont développées la théorie quantique des champs, les théories de jauge ou la théorie des supercordes.



Scivias Codex Illuminatus, Monastère de Rudesheim

2. Dans ses *Divines harmonies*, Hildegarde de Bingen (1098-1179), abbesse du monastère des Bénédictines de Rudesheim, décrit sa musique comme un moyen de saisir la joie et la beauté originelle du paradis. Cette miniature extraite du *Scivias* (*Connaît le chemin*) illustre la conception de la mystique rhénane, selon laquelle l'homme est, dès sa naissance, en accord symphonique avec le ciel.



3. Dans *Harmonices Mundi*, œuvre majeure de Kepler, l'astronome expose sa troisième loi selon laquelle les carrés des temps des révolutions sidérales sont proportionnels aux cubes des grands axes de leurs orbites. Kepler associe à chaque planète non plus une seule note, comme c'était le cas avec des orbites circulaires, mais plusieurs notes, déterminées par la variation de la vitesse sur l'orbite elliptique. Pour mieux se convaincre de sa trouvaille, Kepler note que «La Terre chante mi, fa, mi afin que tu conjectures, à partir des syllabes, que la misère et la famine prévalent dans notre domicile».

LE CHANT QUANTIQUE

Une longue controverse, prolongée jusqu'au début de notre siècle, a opposé les visions corpusculaire et ondulatoire de la lumière. Selon Newton, les rayons lumineux étaient constitués de petits grains de lumière, mais cette conception ne pouvait rendre compte des phénomènes d'interférences ni de diffraction. Dans l'expérience de Young, par exemple, un pinceau de lumière traverse deux trous situés devant un écran. Or, sur l'écran, n'apparaissent pas des impacts de corpuscules, mais une alternance de zones sombres et de zones claires ; ces «franges d'interférences» résultent de la composition de l'onde lumineuse avec elle-même, tantôt s'annulant (zones sombres), tantôt se renforçant (zones claires).

L'hypothèse ondulatoire, quant à elle, est incompatible avec l'effet photoélectrique : des électrons peuvent être arrachés à un métal soumis à une irradiation lumineuse. Pour expliquer cet effet, Einstein avait supposé en 1905 que la lumière est constituée d'un ensemble de corpuscules, les photons.

Le corpuscule, objet quasi-ponctuel précisément localisable, et l'onde, structure délocalisée, «étalée» dans tout l'espace, sont apparemment antagonistes. La nature vibratoire des ondes lumineuses, l'analogie avec les ondes sonores qui en constituent le modèle, leur confère explicitement une connotation harmonique, insistant notamment sur ce qui réunit les objets physiques, tandis que la vision purement corpusculaire considère le monde comme un assemblage de particules individuelles.

Chacune de ces conceptions – mécaniste et particulière d'un côté, harmonique et ondulatoire de l'autre –, est insuffisante si elle est prise séparément. La révolution de la physique quantique a consisté à résoudre la contradiction, en introduisant une vision «dualiste» : ni particulière, ni ondulatoire dans le sens classique, le «champ quantique» incarne une synthèse

4. Le médecin alchimiste Robert Fludd (1619) décrit l'Univers comme un instrument de musique à une corde dont les modes vibratoires représentent les astres. La corde cosmique embrasse deux octaves de sept notes chacune. Les deux octaves s'étendent du sol grave (Γ) associé à la Terre, jusqu'à un sol aigu associé à l'Empyrée (la demeure des dieux) (gg), en passant par le sol médian associé au Soleil (G).

des aspects mécaniste et harmonique. Non seulement la lumière, mais aussi la matière, sont des champs quantiques.

Un champ quantique remplit l'espace entier, comme une immense membrane prête à vibrer. Ses vibrations (analogues à celles d'un tambour qui émet des sons) se manifestent, selon leur nature, sous forme de lumière, ou sous forme de particules : matière, lumière, rayonnements, toute la réalité observable du monde n'est qu'excitation de champs quantiques. Certains modes de vibration du champ électromagnétique correspondent à la lumière ordinaire, d'autres aux ondes radio, aux rayons X, etc. D'autres champs matérialisent des quarks (les constituants élémentaires du neutron et du proton) et des électrons. Tous ces champs constituent le monde. Les lois de la physique quantique ne sont autres que les règles harmoniques qui gouvernent les vibrations des champs.

CORDES VIBRANTES

Malgré son expression en termes de champs, la physique quantique est encore sous-tendue par une représentation de certaines particules élémentaires, comme l'électron ou le photon, en termes de points de dimension nulle. Cela pose plusieurs problèmes conceptuels. Par exemple, des infiniment grands apparaissent dans les calculs lorsque des infiniment petits, dus aux dimensions nulles des particules, se retrouvent au dénominateur. Ces «singularités» sont indésirables, car, en physique, toute quantité mesurable doit être finie. La

présence de telles singularités était déjà gênante en physique classique. De surcroît, en physique quantique, l'idée de particule de dimension nulle s'accorde mal avec les relations d'incertitude – selon lesquelles il est impossible, par exemple, de localiser en un point infiniment précis la position d'une particule. Mais surtout, comment attribuer à une particule sans dimension les degrés de liberté correspondant aux différents nombres quantiques, tels que la charge électrique, le spin (ou moment cinétique élémentaire) ?

La théorie des cordes résout en partie ces difficultés en identifiant les entités élémentaires – les particules – à des lignes ou à des boucles extrêmement petites, et non à des points. Toutes les propriétés des particules résultent alors des différents modes de vibrations de ces cordes ouvertes ou fermées. Introduit dans les années 1960, le concept de corde fut abandonné, puis réintroduit 20 ans plus tard en vue d'une unification des lois de la physique : certains physiciens espèrent aujourd'hui que cette théorie rendra compte des quatre interactions fondamentales connues – la gravitation, l'électromagnétisme, les interactions nucléaires forte et faible – en termes d'une «superinteraction» unique.

Enrichie d'une symétrie supplémentaire, la «supersymétrie» (selon laquelle toute particule de spin entier a un partenaire supersymétrique de spin demi-entier), la théorie des cordes a été renommée «théorie des supercordes». Toutefois, les physiciens ne peuvent la formuler de façon cohérente que dans un



4. Certains théoriciens ont imaginé que les éléments constitutifs du monde pourraient être des cordes de diamètre infime et non des particules ponctuelles (sans dimension). Les interactions entre cordes seraient les fondements de la physique microscopique.

espace muni d'un grand nombre de dimensions. Le monde serait ainsi fait d'entités à une dimension (les cordes) vibrant dans un espace à n dimensions ($n = 10$ ou 26 , selon les modèles) (voir la figure 4).

Premier problème, comment retrouver les trois dimensions usuelles de l'espace (les supercordes ne prévoient pas de dimension supplémentaire du genre «temps»)? Le plus simple est de considérer que les dimensions supplémentaires sont fortement enroulées sur elles-mêmes, selon un rayon de courbure infime. À notre échelle de résolution, l'espace semblerait posséder trois dimensions, pour les mêmes raisons qu'une ficelle, objet à trois dimensions, semble ne posséder qu'une dimension lorsqu'elle est vue de loin, du fait de sa faible épaisseur. Ce n'est qu'à des échelles microscopiques (de l'ordre de 10^{-35} mètre, la longueur de Planck) que les dimensions supplémentaires de l'espace seraient manifestes.

Ces théories, mathématiquement si complexes que personne ne parvient aujourd'hui à les maîtriser vraiment, ont de nombreux aspects séduisants. En particulier, la gravitation, qui paraît si différente des autres interactions (elle n'est pas quantifiable au sens habituel du terme) y est décrite de manière naturelle. Si ces théories se révèlent pertinentes, il restera à interpréter la nature intime du monde, dont les propriétés résulteraient des modes vibratoires de cordes à jamais inaccessibles à nos sens.

On retrouve ainsi, par un biais inattendu, la musique secrète des Pythagoriciens, qui n'est perceptible qu'aux «oreilles» adaptées à leur écoute. Dans le *Songe de Scipion*, Cicéron disait que la musique des astres ne pouvait s'entendre qu'en quittant la Terre pour rejoindre les orbes gigantesques du ciel. La théorie des supercordes nous suggère que la musique des particules microscopiques ne pourrait s'appréhender qu'en plongeant au cœur de l'infiniment petit.

Marc LACHIÈZE-REY et Jean-Pierre LUMINET, directeurs de recherche au CNRS, sont commissaires de l'exposition «Figures du ciel» qui se déroule à la bibliothèque François-Mitterrand du 10 octobre au 10 janvier 1999.

Marc LACHIÈZE-REY et Jean-Pierre LUMINET, *Figures du ciel*, Seuil / Bibliothèque nationale de France, 1998

***Les nouvelles théories des cordes, Pour la Science*, avril 1998**

Étienne KLEIN et Marc LACHIÈZE-REY, *La quête de l'unité*, Albin Michel, 1996

Jean-Pierre LUMINET, *Les poètes et l'univers*, Le Cherche Midi, 1996

Dominique PROUST, *L'harmonie des sphères*, Dervy, 1990.

Baisse des taux en Europe : les politiques contre les banques centrales

Le Monde, 8 octobre 1998

Le «levier» de la politique monétaire

BERNARD GUERRIEN • SOPHIE JALLAIS

Ce levier serait les taux d'intérêt des banques centrales. D'autres leviers, comme les taxations, ont plus d'effets sur l'activité économique.

En ces temps de perturbations boursières et de mouvements de capitaux, l'attention se porte sur la «politique monétaire» des autorités. Notamment sur les déclarations du président de la *Federal Reserve* américaine, examinées à la loupe par les savants exégètes financiers. Une bonne politique monétaire renforce la croyance en des «valeurs sûres» – essentiellement, les titres (obligations et bons du Trésor) émis par l'État.

Éliminons une idée simpliste : une bonne politique monétaire n'a pas pour première finalité la protection de vos économies : elle est conçue pour réguler l'activité économique et le niveau des prix. La politique monétaire détermine l'activité des banques, qui créent de la monnaie lorsqu'elles acceptent les demandes de crédit. Cette régulation peut être directe, de type réglementaire, par un rationnement du crédit, la banque centrale imposant une limite à la prodigalité des banques ; le terme très suggestif de «corset» a été utilisé en Angleterre dans les années 1950 pour désigner la contrainte imposée par le crédit rare.

Toutefois une intervention directe de l'État serait mal acceptée par les tenants plus ou moins durs du libéralisme. Aussi l'action indirecte prévaut-elle : la banque centrale n'interdit pas le crédit, mais agit sur les taux d'intérêt, rendant le crédit plus ou moins cher. Les taux d'intérêt, fixés par la banque centrale ou le Trésor public, constituent le taux minimum de référence pour les banques. Ainsi la «politique monétaire» ne porte pas sur la monnaie, mais sur les taux d'intérêt !

Comment ces taux modifient-ils la masse monétaire ? Indirectement, par le biais de l'activité économique qui induit la création monétaire (à travers le crédit) ; la relation causale entre les variations de la production et celles de la masse monétaire s'exerce dans le sens produit-monnaie et non dans le sens contraire, comme journalistes et économistes le laissent entendre. Nous sommes loin de

l'époque où l'or et l'argent étaient des éléments essentiels de la masse monétaire, au point que l'afflux de métaux amenés d'Amérique par les galions espagnols de Philippe II provoquait une hausse brusque de la demande de biens, donc de l'activité et surtout des prix.

Les taux d'intérêt déterminent le coût des emprunts : une hausse entraîne le retrait de certains projets, une baisse en rend d'autres attrayants. Ainsi, les variations du taux d'intérêt influent-elles sur l'activité économique, et donc sur la création monétaire : l'action causale n'est pas du type monnaie-activité, mais de la forme taux intérêt-activité-masse monétaire. Les fluctuations, parfois brutales, des marchés boursiers qui suivent les variations – réelles ou anticipées – des taux d'intérêt de la Réserve fédérale américaine ou de la *Bundesbank* en témoignent. Toutefois le levier des taux d'intérêt a «beaucoup de jeu», et la réaction de l'appareil économique à cette commande peut être imprévue, voire perverse.

LA «LOI DE GOODHART»

Pendant les années 1980, les autorités monétaires ont essayé de contrôler la masse monétaire (par les taux d'intérêt), en fixant des marges dans lesquelles elle devait évoluer (politique alors qualifiée de «monétariste»). L'échec fut patent, en partie à cause d'une particularité de l'économie : les «particules élémentaires» économiques sont des êtres pensants et actifs, qui modifient leur comportement en tenant compte du contexte. Ainsi, les individus, quand ils constatent que certaines «lois» – régularités observées – régissent l'activité économique, alors ils en tiennent compte et, ce faisant, les transforment (ou les infirment).

Le phénomène est patent dans les domaines monétaire et financier : dès qu'on constate une régularité ou que les autorités imposent une règle, alors les agents économiques modifient leur comportement, de sorte que la régularité

disparaît ou la règle est contournée. Goodhart, un économiste de la Banque d'Angleterre, a constaté qu'il suffit que les autorités annoncent publiquement les objectifs qu'elles se fixent concernant l'évolution de la masse monétaire pour qu'ils ne se réalisent pas.

Et cela pour une raison fort simple : afin d'éviter des pertes, dans le cas où les objectifs gouvernementaux ne seraient pas atteints, les agents font appel à des moyens de paiement autres que ceux pris en compte par les autorités (dans l'évaluation par celles-ci de la masse monétaire) ou, si nécessaire, en inventent de nouveaux (qui sont, sous des formes diverses, des reconnaissances de dettes). En conséquence, l'évolution de la masse monétaire est difficilement prévisible, voire chaotique, et plus personne ou presque n'accorde une grande importance à cette évolution, dont la mesure dépend d'ailleurs de l'indicateur utilisé pour l'évaluer.

Pour le «pilotage», l'État dispose d'un autre levier : les interventions sur la production, la consommation et la distribution, que ce soit de façon directe (construction d'infrastructures ou entreprises nationales) ou indirecte (à travers les taxes et subventions). C'est la politique budgétaire. Ce levier est moins à la mode que le taux d'intérêt et, pourtant, son action est moins imprécise, puisque plus en prise avec l'activité économique. Évidemment, elle s'inscrit contre l'idée – trop répandue – que ce type d'intervention risque de perturber cette «fine mécanique» que serait le marché. Toutefois, si l'on regarde de plus près, on constate que l'intervention directe de l'État à travers la réglementation (système de protection sociale, notamment), la production et la taxation-impôts agit très fortement sur l'économie, puisqu'elle porte sur la moitié de l'activité de la plupart des pays. Hélas pour notre entendement, leur publication est moins « parlante » que les fluctuations boursières, suivies heure après heure dans les médias...