

■ POUR LA

SCIENCE

Décembre 2002

Édition française de Scientific American

SPÉCIAL CERVEAU



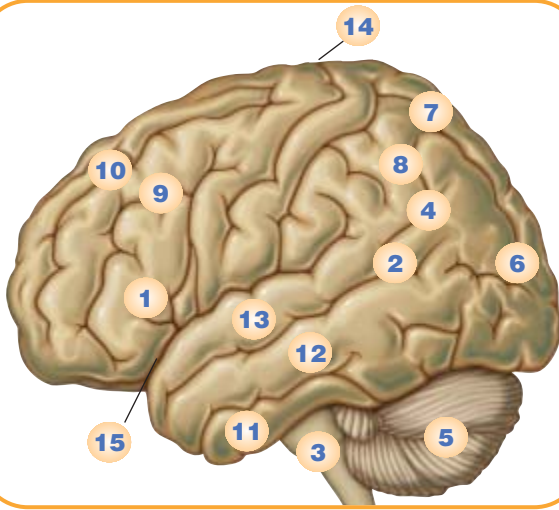
Des fenêtres sur
la conscience

FRANCE METRO 6,40 €, DOM 7,70 €, BEL : 7,60 €,
CH : 12 FS, ESP : 9 €, CAN : 9,75 \$, LUX : 7,30 €,
PORT.CONT. : 7,50 €, MAY : 9,60 €, REU : 9,60 €

M 02687 - 302 - F: 6,40 €

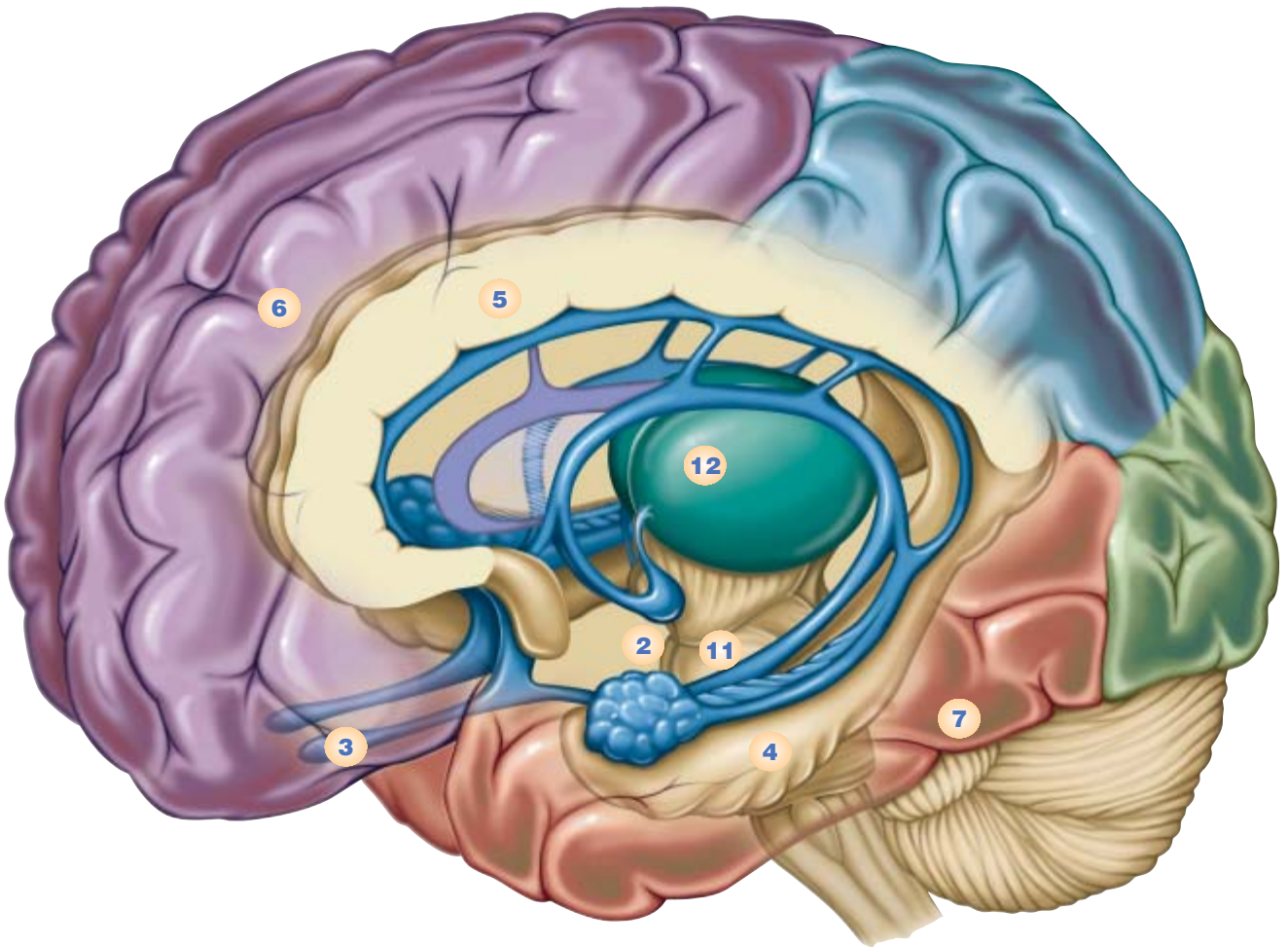


ATLAS DU CERVEAU

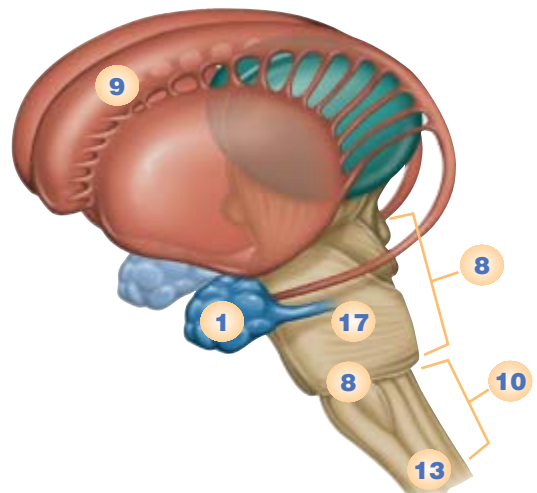


- 1- Aire de Broca/
Gyrus frontal inférieur
- 2- Aire de Wernicke
- 3- Bulbe rachidien
- 4- Carrefour temporo-pariétal
- 5- Cervelet
- 6- Cortex occipital
- 7 Cortex pariétal supérieur

- 8- Cortex pariétal inférieur
- 9- Gyrus frontal moyen
- 10- Gyrus frontal supérieur
- 11- Gyrus temporal inférieur
- 12- Gyrus temporal moyen
- 13- Gyrus temporal supérieur
- 14- Scissure de Rolando
- 15- Scissure de Sylvius



- 1- Amygdale (ou noyau amygdalien)
- 2- Hypophyse
- 3- Bulbe olfactif
- 4- Cortex enthorinal
- 5- Corps calleux
- 6- Gyrus cingulaire
- 7- Gyrus fusiforme
- 8- Mésencéphale
- 9- Noyau caudé
- 10- Pont
- 11- Substance noire
- 12- Thalamus
- 13- Tronc cérébral



TRIBUNE DES LECTEURS

BLOC-NOTES

de Didier Nordon

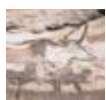
SCIENCE ET ÉCONOMIE

Je pense (mal) donc j'essuie (les pertes)
par Ivar Ekeland



SCIENCE ET GASTRONOMIE

Gelées de Carême
par Hervé This



PRÉSENCE DE L'HISTOIRE

Lascaux oublié
par Brigitte et Gilles Delluc

PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

- Le trou noir au cœur de la Voie lactée ■ Les archives du roi de Qatna ■ Parlez-vous Champagne?
- Les bateaux de Magan ■ Momies péruviennes
- Courants d'air dans la plaine du Pô
- Une assurance sur l'avenir ■ Le paléoclimat de Mars

ÉNIGMATHS

De la fuite dans les idées
par Dennis Shasha



ART ET SCIENCE

Le squelette du jardin
par Michael Lyons et Gert Van Tonder



IDÉES DE PHYSIQUE

Les mélanges du froid
par Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



LOGIQUE ET CALCUL

Découpages articulés
par Jean-Paul Delahaye

ANALYSES DE LIVRES

■ *Pleine Lune*, de Michael Light ■ *Au-delà du visible, de l'atome à l'infini*, de David Malin ■ *Les insectes – Monstres ou splendeurs cachées*, de Jacques de Tonnancour ■ *Tamaya, Les épaves de Saint-Pierre*, de Michel Météry.

INDEX ANNUEL 2002

2 encarts d'abonnement pages 16 et 17, encarts commande de livres et abonnement pages 160 et 161, un encart Restaurants du cœur et Encyclopédia Universalis.
En couverture : © MEHAU KULYK / SCIENCE PHOTO LIBRARY.

Spécial Cerveau

INTRODUCTION

Les consciences

par Élisabeth Pacherie

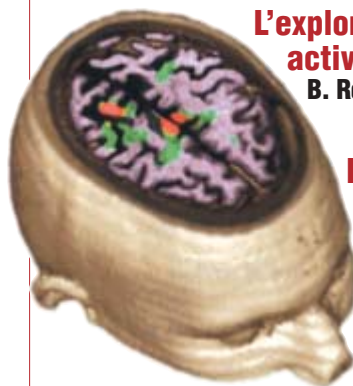
22

Science et conscience

par Jean Delacour

26

LES MÉTHODES D'EXPLORATION



L'exploration du cortex par son activité électromagnétique

B. Renault et L. Garnero

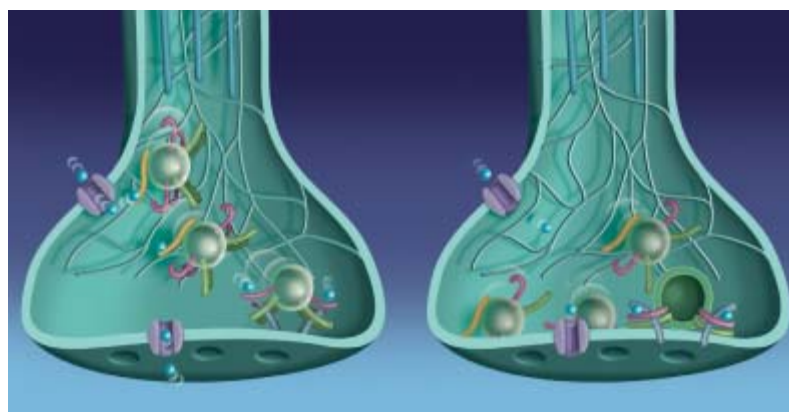
34

**L'imagerie cérébrale :
IRM et TEP**

Bernard Mazoyer

42

FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME NERVEUX CENTRAL



**Le développement et l'évolution
du système nerveux**

par Philippe Vernier

50

Le câblage du cerveau

par Alain Chédotal

58

Du trafic dans les neurones

par Thierry Galli et Fabienne Paumet

66

La conscience



LES RACINES DE LA CONSCIENCE

**Synchronisation neuronale
et représentations mentales**
par Wolf Singer

74

**Les cheminements de la conscience
chez l'enfant**
par Olivier Houdé

80

La conscience animale
par Pierre Buser

84

Perception visuelle et conscience
par Michel Imbert

90

**La perception subliminale :
un aperçu sur l'inconscient**
par Lionel Naccache et Stanislas Dehaene

96

Apprentissage et conscience
par Axel Cleeremans

104

La conscience du temps
par Antonio Damasio

110

LES TROUBLES DE LA CONSCIENCE

**La synesthésie :
entendre en couleur**
par Jeffrey Gray

114

Quelle conscience durant le coma ?
par Steven Laureys

122

**Les troubles de la conscience
dans la maladie d'Alzheimer**
par Philippe Robert

130

Biologie de la dépression
par Michel Hamon

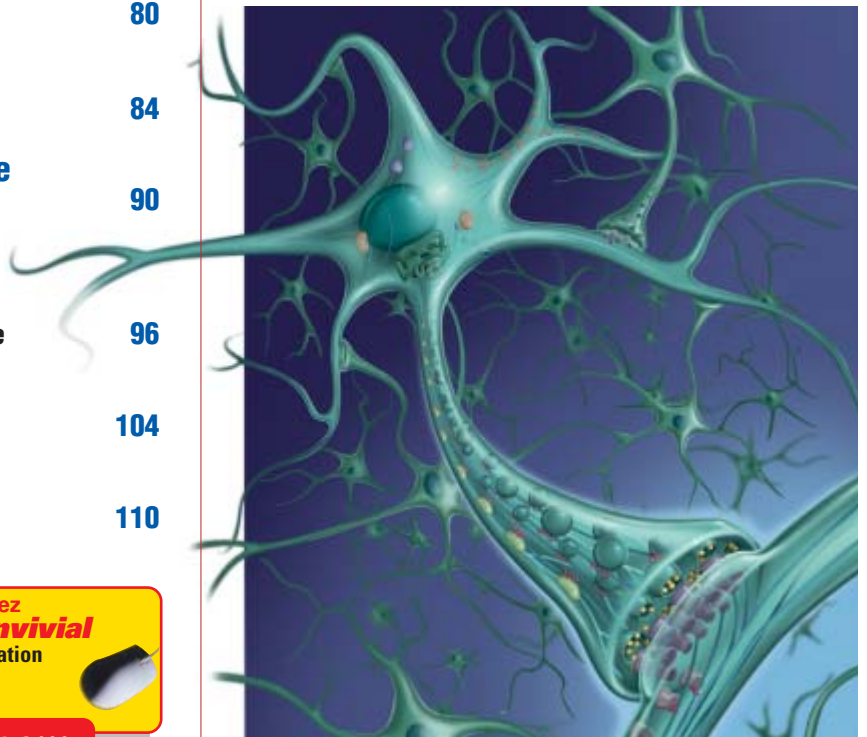
134

**Réalité virtuelle :
un défi pour la conscience**
par Isabelle Viaud-Delmon et Roland Jouvent

140

La neuropharmacologie de la conscience
par Jean-Pol Tassin

146



À partir de la rentrée, retrouvez
Un nouveau site plus convivial

- pour chaque article un complément d'information
- un moteur de recherche intégré
- un annuaire des sites web scientifiques

www.pourlascience.com

Tribune des lecteurs

Mirages acoustiques

L'article *Mirages acoustiques* (voir *Pour la Science*, août 2002) m'a rappelé un événement insolite rapporté par une parente dans ses mémoires : « Mes deux sœurs et moi, à Taverne (près de Grenoble), le 15 août 1944, nous entendîmes un sourd grondement transmis par le sol. Nous nous retrouvâmes dans le couloir, intrigués. C'était, la radio nous l'apprit bientôt, le débarquement allié sur les côtes de Provence. » En effet, celui-ci eut lieu entre Cavalaire et Agay – soit à 250 kilomètres de Grenoble. Peut-il s'agir d'un mirage acoustique ?

Daniel MILAN, Grenoble

Réponse de J.-M. Courty

Oui, de façon plausible. Le grondement sourd qui semblait transmis par le sol a pu en fait être réfracté dans l'atmosphère en raison d'une inversion de température. Pour en être sûr, il faudrait étudier le relevé météorologique précis de la région le jour de l'événement. Un physicien américain a réalisé ce travail pour plusieurs batailles de la guerre de Sécession. Pour chacune des sept batailles qu'il a analysées, il a expliqué l'origine du mirage acoustique qui a empêché les commandants d'entendre et d'expliquer correctement les sons de la bataille. À *Seven Pines*, par exemple, le général Johnston discutait encore des détails de son plan alors que l'ennemi avait déjà engagé le combat. Cette bataille, restée silencieuse pour Johnston distant de trois kilomètres, avait été parfaitement audible par les habitants de Richmond situés 12 kilomètres plus loin.

Les géologues et Wegener

Dans l'*Après la tectonique des plaques* du numéro d'octobre 2002, P. Thomas écrit que les géologues ont ignoré la dérive des continents pendant 50 ans alors que les preuves existaient. Pour lui, cela constitue un « record dans l'histoire des sciences ». Je suis obligé de dire avec force que la réalité est l'inverse. Pour s'en persuader, il suffit de lire deux ouvrages, *Wegener, le père de la dérive des continents*, de M. Schwarzbach, publié en 1985, et le livre de Wegener lui-même, *La genèse des continents et des océans*, dont la traduction française a paru en 1990. On s'aperçoit immédiatement que les seuls scientifiques qui ont soutenu Wegener étaient des géologues. Il s'agit d'abord d'Émile Argand, souvent considéré comme le plus grand géologue du XX^e siècle. Argand milita sans cesse en faveur des idées de Wegener. On pourrait citer encore Du Toit ou A. Holmes.

Maurice MATTAUER, Montpellier

Réponse de Pierre Thomas

Ces « 50 ans d'ignorance du problème » sont, je l'accorde, une caricature, mais qui reflète une réalité que j'ai vécue. Il y a eu certes des débats acharnés du temps de Wegener, mais les partisans de la tectonique des plaques étaient minoritaires. En particulier en France, où ils étaient tellement marginalisés par les universitaires français « en place » que l'étudiant de premier cycle que j'étais à l'Université de Clermont-Ferrand n'avait pas connaissance de la tectonique des plaques via l'Université, mais par la presse. Pour simplifier, ce n'est qu'au cours de l'année universitaire 1974-1975 que la tectonique des plaques est arrivée dans les enseignements que j'ai reçus, à l'Université Paris 7. Je connais des universités où elle est arrivée avant (Grenoble), mais aussi d'autres où elle est arrivée bien après. La situation était peut-être meilleure dans certains pays ; elle était pire dans d'autres. Par exemple, ce n'est que dans les années 1980-1990 que la tectonique des plaques a été enseignée en ex-URSS.

Réactions en chimie

Péril en la demeure Chimie !, avertissent H. This, B. Denoyer et G. Bram dans le dernier numéro. En remplaçant $\rightleftharpoons$ par le signe « $\rightleftharpoons$ » dans l'écriture des réactions chimiques, les nouveaux programmes feraient faire à la discipline un bond d'un siècle... en arrière. Plus encore, en empêchant les élèves de disposer de la clef moléculaire des transformations chimiques, ils vont accentuer l'inquiétante désaffection pour les sciences. D'où une suggestion au ministre (qui présidait en 2001 le Conseil national des programmes) : faites donc « l'économie de la réforme » !

Passons sur les étonnantes inexactitudes factuelles : le signe « $\rightleftharpoons$ » n'a pas été abandonné depuis un siècle, il est couramment utilisé dans des ouvrages de référence. Nous ne sommes pas, non plus, revenus à Berthelot. L'examen des programmes montre que les élèves raisonnent couramment avec des modèles moléculaires comme assemblages d'atomes, avec l'interprétation microscopique des concepts de température et de pression, avec la notion de courant électrique comme courant de charges, avec l'idée que la matière est constituée de protons, neutrons et électrons, etc. Bref, le double regard macroscopique et microscopique est sollicité depuis la seconde, et l'interprétation de la réaction chimique en termes de chocs efficaces fait explicitement partie des contenus du programme de terminale.

Il convient cependant de proposer aux élèves des symboles qui distinguent bien les deux

échelles. L'échelle macroscopique est celle qu'ils pratiquent au laboratoire. Ils observent qu'une transformation se déroule dans un seul sens, déterminé par les conditions initiales. En comparant le quotient réactionnel à la constante d'équilibre, ils peuvent même prévoir le sens de l'évolution. Mais quel que soit le sens de cette évolution, matière et charges se conservent. Le signe « $\rightleftharpoons$ », dans l'écriture « $A + B = C + D$ », exprime ces lois de conservation. Dans cette logique, $\rightleftharpoons$ doit être réservée à la description microscopique, au mécanisme réactionnel. Mais quel est-il en vérité ? Considérons la synthèse de l'ammoniac. Va-t-on faire croire aux élèves que la collision simultanée de quatre molécules produit deux molécules d'ammoniac, ou qu'à l'inverse la collision de deux molécules d'ammoniac restitue les réactifs initiaux, comme le suggère l'écriture : $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$? Le mécanisme réactionnel est bien plus complexe que ce qu'en dit l'équation ci-dessus, et il ne peut être abordé au lycée.

$\rightleftharpoons$, dans cet exemple, ne correspond donc ni à l'échelle macroscopique ni à l'échelle microscopique. À quoi correspond-elle, alors ? À un choix de représentation possible, auquel tiennent ceux qui en ont l'habitude. Mais les élèves n'ont pas d'habitude, ils n'ont rien à abandonner. Si leurs professeurs leur disent que le signe « $\rightleftharpoons$ » exprime des lois de conservation qui ne préjugent ni du sens de l'évolution globale ni des processus microscopiques, ils le prendront comme tel. (...)

Jacques TREINER, Président du Groupe d'experts des programmes du secondaire pour la physique et la chimie. Retrouvez l'intégralité de sa lettre sur le site de Pour la Science.

Réponse de H. This, G. Bram et B. Denoyer

La réponse de J. Treiner à notre point de vue est peu convaincante. Ne nous arrêtons pas sur l'introduction, qui utilise l'argument d'autorité (le ministre actuel présidait le Conseil national des programmes) et sur les confusions entre niveaux (nous avons parlé de la double flèche au lycée seulement, et de la molécule à l'école). En revanche, ne laissons pas croire que les « ouvrages de références » utilisent le signe égal : la consultation des principaux manuels de chimie (ceux de Atkins, Volhardt, Huhey, March, Jean-Marie Lehn) nous fait conclure que les chimistes et des physiciens comme J. Treiner n'ont pas les mêmes lectures. Les lois de conservation sont aussi bien exprimées par $\rightleftharpoons$ que par « $\rightleftharpoons$ », et $\rightleftharpoons$ ne présume pas non plus du sens de la transformation ; ainsi pour la réaction de synthèse gazeuse de l'ammoniac, aucune des deux notations ne préjuge de la nature de la transformation et du mécanisme réactionnel. Nous avons le sentiment qu'une notation ne doit être changée que si la nouvelle notation facilite la compréhension d'un phénomène. En quoi le signe « $\rightleftharpoons$ » exprime-t-il mieux que $\rightleftharpoons$ l'équilibre entre les différentes espèces chimiques ? Van't Hoff a bien expliqué pourquoi $\rightleftharpoons$ a l'avantage sur le signe « $\rightleftharpoons$ » de montrer que l'équilibre est dynamique.

Au fait, et la molécule dès l'école ?

Bloc-notes

DIDIER NORDON

Le handicap crée la théorie

Un professeur à l'aise devant les élèves se préoccupera-t-il beaucoup de l'état de la recherche en pédagogie? Sans doute pas. Un comique habile à obtenir les rires de son auditoire ira-t-il étudier les savantes thèses sur l'humour? C'est peu probable. Un homme serein face à la vie et à la mort ressentira-t-il le besoin de se plonger dans des traités de métaphysique? On peut penser que non. Un amoureux comblé potassera-t-il les manuels enseignant l'art de séduire? Il a mieux à faire.

On théorise quand ça coince, pas quand ça marche. Pour qu'un individu en vienne à vouloir assimiler les abstruses théories consacrées à telle ou telle pratique, il faut que celle-ci lui pose problème. Dépourvu de l'intuition qui facilite la progression, il ne peut acquérir la pratique qu'en étant encadré, appuyé sur des doctrines, soutenu par une abondance d'arguments. Pour lui, rien n'y coule de source. À la longue, toutefois, un phénomène paradoxal risque de se produire : sa maladresse peut l'amener à écrire à son tour, persuadé que la théorie qu'il s'est péniblement forgée au fil du temps doit aider le lecteur puisque, à lui qui n'avait aucun don *a priori*, elle a permis, estime-t-il, d'améliorer sa pratique.

Ainsi naissent tant de théories proposées non par ceux dont l'intuition du sujet est la meilleure, mais par ceux qui, avec leurs béquilles, croient courir aussi vite que s'ils étaient nés avec de bonnes jambes.



Difficile : qualificatif difficile

Dissertation classique, en trois points. Thèse. La conjecture de Goldbach est plus difficile que l'hypothèse de Riemann. En effet, la première date du XVIII^e siècle et, depuis lors, résiste aux tentatives de démonstration. La seconde, ayant dû attendre le XIX^e

pour être énoncée, a donc un siècle de résistance en moins à son actif.

Antithèse. L'hypothèse de Riemann est plus difficile que la conjecture de Goldbach. En effet, l'hypothèse de Riemann a plus de prestige, donc attire les meilleurs. Elle fait sécher des mathématiciens plus forts que ceux qui sèchent sur la conjecture de Goldbach.

Synthèse. Elles sont d'égale difficulté. En effet, les moyens modernes, les puissantes théories disponibles de nos jours, sont les mêmes, exactement les mêmes, pour attaquer l'une et pour attaquer l'autre. Or elles s'y dérobent l'une comme l'autre.

Conclusion. Employer le mot «difficile» à propos de mathématiques est banal, mais donner une définition satisfaisante de ce terme paraît... très difficile.

La cause seconde

La cause précède l'effet. Cette idée, acceptée par le bon sens, trouble les savants. Les philosophes doutent de pouvoir l'étayer en général et dans l'abstrait. Les physiciens se demandent si, au niveau quantique, elle garde un sens...

Il est pourtant inutile d'aller chercher loin pour trouver un contre-exemple qui la réfute. Que font l'artiste attelé à une œuvre censée lui survivre ou le dictateur bâtissant un empire éternel? Que font le riche laboureur parlant à ses enfants ou le bourgeois dictant son testament? Ils réagissent tous à un événement qui ne s'est pas encore produit : leur future mort. Une grande part de nos actions ne sont rien d'autre que des conséquences tirées par nous d'un fait dont nous ne savons ni quand ni comment il aura lieu.

La mort est donc une cause postérieure à l'effet – et parfois de très longtemps. Plus fort encore : lorsque la cause se produit, elle met fin à l'effet!

Hypermégaphiloglossomanie

Alerte! Une nouvelle perversion sexuelle vient de naître. Connue sous le nom d'hypermégaphiloglossomanie – ou, de façon moins élégante, passion pour les mots d'amour trop grands – elle ne sévit, à l'heure actuelle, qu'au sein de la population restreinte des biologistes. Pourvu qu'elle ne se répande pas plus!

La perversion a déjà fait l'objet de caricatures de la part d'écrivains. En voici deux. «Le désir? Un flot de lubérine dans l'hypo-



thalamus. Et l'orgasme? Un flot d'endomorphines pour inhiber l'hypothalamus» (André Chauchat, *SOS sosie*, éd. Le Pommier). «Le mécanisme physiologique, responsable de l'érection, implique la libération de monoxyde d'azote dans

le corps caverneux de la verge lors de la stimulation sexuelle. L'oxyde d'azote active alors l'enzyme guanylate cyclase, ce qui entraîne une augmentation des concentrations de guanosine monophosphate cyclique, induisant un relâchement des muscles lisses du corps caverneux, et favorisant l'afflux sanguin» (Frank Deroche, *Effets secondaires*, éd. Le Dilettante).

Pour un profane, ces textes n'ont aucune ressemblance, sinon le recours à des mots qui tiendraient d'ici jusqu'à Pontoise. Un trouble, alors, surgit, que seuls les biologistes sauraient apaiser. N'attendons pas d'eux qu'ils disent ce qu'il en est vraiment du désir et de la passion, ce n'est pas leur rayon, mais si, oui ou non, les textes ci-dessus se contredisent.

Bizarrie des comportements...

Tel, qui fait des sorties de 200 km à vélo, n' imagine pas monter autrement qu'en ascenseur les deux étages menant à son appartement. Tel autre s'entraîne trois fois par semaine en vue des marathons de New York et de Paris, mais prend sa voiture pour aller acheter son pain. Pourquoi ces courageux rechignent-ils devant de si petits efforts? Parce que, chez le citoyen actuel, l'activité physique ne consiste pas à utiliser spontanément son corps pour répondre aux nécessités quotidiennes, mais à avoir un sport favori, à posséder l'équipement y afférent et à ne s'exercer que dans le cadre imposé par ce sport.

Voyager à pied ou à vélo, avec ses bagages, rappelle quel dur obstacle représente tout déplacement non motorisé. Cette façon de retrouver le contact avec le monde n'est pas la nôtre. L'effort physique ne vise pas à supprimer un des artifices dans lesquels nos vies sont immergées, histoire de «voir comment c'était avant». Nous ne le concevons guère que sous forme sportive, c'est-à-dire un artifice de plus. Nous méprisons l'effort quand nous y sommes contraints à l'image des ouvriers ou paysans d'autrefois. Nous l'apprécions quand nous nous l'imposons, et sommes prêts à payer l'inscription à un club rien que pour bénéficier du droit d'aller courir en rond autour d'un stade.



Je pense (mal) donc j'essuie (les pertes)

IVAR EKELAND

Les bulles spéculatives résultent de différences d'évaluation du prix de revente des actions.

Au plus haut de la bulle Internet, l'histoire suivante courait les salles de marché. Un gamin passe dans Wall Street avec un chiot dans les bras. On lui demande : « Où vas-tu avec ce chien ? » « Je vais le vendre. » « Et combien en veux-tu ? » « Un million de dollars. » Il passe son chemin sous les quolibets, et un quart d'heure après il revient, sans chien, mais avec deux chats. « Et alors, ton chien, tu l'as vendu pour un million de dollars ? » « Oui. » « Et qu'as-tu fait de l'argent ? » « J'ai acheté deux chats pour cinq cent mille chacun. »

Les bulles spéculatives ont existé bien avant Internet. Je renvoie le lecteur à *L'argent*, de Zola, où il en trouvera un magnifique exemple, suivi dans son environnement naturel d'escrocs et de naïfs. L'explication classique de ces bulles est qu'elles reposent sur une hypothèse de hausse continue et indéfinie des cours : les prix sont très élevés aujourd'hui, mais si j'achète à ce prix-là, je suis sûr de revendre encore plus cher demain. Quel meilleur emploi pour les profits ainsi réalisés que de les réinvestir, afin qu'eux aussi fassent des petits ? Ainsi, plus les prix grimpent, plus ils attirent d'argent ; le jour où ils cessent de monter, la demande s'effondre, et le film se déroule en sens inverse : comme les investisseurs enregistrent des pertes, ils cherchent à réaliser leurs profits antérieurs, tout le monde est vendeur en même temps, il n'y a plus d'acheteur, et les prix dévalent la pente.

Le malheur dans cette explication est qu'on ne voit guère pourquoi tout le monde pense que le titre va monter indéfiniment. Par ailleurs, elle cadre mal avec les faits. Si je pense qu'un titre va monter, on voit mal pourquoi je le vendrai aujourd'hui pour le racheter demain : j'aurai plutôt tendance à le garder, comme cela, j'éviterais les coûts de transaction. Or l'une des caractéristiques des bulles spéculatives est, au contraire, une frénésie de transactions. Enfin, elle ne rend pas compte de certains phénomènes : durant deux mois de 2000, par exemple, la capitalisation boursière de *3Com* a été inférieure à la seule valeur de la part qu'elle détenait de l'une de ses filiales, *Palm*. Comment la valeur du tout pourrait-elle être moindre que celle de la partie ?

José Scheinkman et Wei Xiong, de Princeton, ont proposé un modèle plus convaincant des bulles spéculatives. Leur idée est que les investisseurs ne font pas tous les mêmes prévisions et comme chacun accorde une confiance exagérée à sa propre opinion, c'est de cette divergence exacerbée que naissent les bulles. En théorie financière orthodoxe, la valeur d'une action, sa valeur fondamentale, est la valeur actuelle des dividendes futurs. La définition est bien sûr insuffisante : les intervenants ne détiennent pas leurs actions assez longtemps pour toucher beaucoup de dividendes et ce qui les détermine, c'est le prix auquel ils pourront revendre le titre, la valeur optionnelle.

On tourne en rond : pourquoi le détenteur du titre pourrait-il revendre le titre à un prix différent de la valeur fondamentale ? Parce que, cette fameuse valeur fondamentale, personne ne la connaît : il faudrait pour cela connaître les dividendes futurs et ils sont entachés d'une grande incertitude. C'est là que se déploie le savoir-faire des analystes financiers qui, évaluant les cours

antérieurs et leurs informations, proposent une évaluation de la valeur fondamentale. Il est vrai que cette valeur des analystes est plus ou moins suivie par les acheteurs et les vendeurs, sinon il n'y aurait pas d'échanges, mais dans le cas des bulles, les valeurs optionnelles sont extrêmement différentes.

L'intuition de J. Scheinkman et W. Xiong est que, même si les informations sont les mêmes pour tous, chaque analyste privilégie certaines sources et évalue différemment la valeur fondamentale. Ce qui va déclencher les échanges. L'investisseur dont l'évaluation est la plus forte achètera le titre, aux yeux de ceux qui le lui vendront, plus cher qu'il ne vaut. Un peu plus tard, l'évolution naturelle du flux d'information pourra faire que la situation se renverse, et que l'acquéreur, devenu à son tour pessimiste, revende le titre à son ancien détenteur, devenu entre-temps optimiste. La différence d'évaluation alimente donc un flux permanent d'échanges. Elle déconnecte également la valeur optionnelle de la valeur fondamentale. En effet, chaque investisseur, faisant confiance à ses propres sources d'information, calcule sa valeur fondamentale du titre. Mais il sait que les autres investisseurs, faisant confiance à d'autres sources, vont calculer la valeur fondamentale d'une autre manière, qu'il estime erronée, mais qui est la valeur à laquelle il pourra leur revendre le titre. En d'autres termes, la valeur fondamentale de l'acheteur est la valeur optionnelle du vendeur. Enfin, pas exactement, car l'acheteur, dans sa propre évaluation, fait le même genre de calcul, et pense qu'il pourra me revendre le titre à un cours différent de ce qu'il estime être sa valeur fondamentale. Il y a une certaine circularité dans la définition correcte de la valeur optionnelle, mais les économistes ont l'habitude de cela et s'en sortent très bien.

On définit ainsi une valeur optionnelle, différente de la valeur fondamentale : nous voilà rentrés dans la bulle spéculative. Les échanges se multiplient et les cours se maintiennent à un niveau très au-dessus de la valeur fondamentale. C'est là un des traits les plus remarquables du modèle de J. Scheinkman et W. Xiong : les prix n'explosent pas indéfiniment, ils se stabilisent à un niveau élevé. Bien entendu, au fil du temps, à force de confronter les prévisions à la réalité, ces différences s'estompent et la bulle se résorbe. Mais l'expérience prouve qu'une confiance inébranlable dans sa propre opinion est un des traits les mieux attestés de notre nature et que nous sommes capables de maintenir une opinion erronée contre vents et marée. Selon certains résultats expérimentaux, par exemple, les événements cités par les sujets comme ayant moins de deux pour cent de chances de se produire se réalisent dans 40 pour cent des cas.

Pourquoi alors *3Com* vaudrait-il moins cher que sa filiale *Palm* ? C'est que les fluctuations d'opinion sur *Palm* étant plus importantes que sur *3Com* (parce que celle-ci a d'autres participations qui la stabilisent), on a plus de chances de trouver un jour un gogo qui vous rachète l'action *Palm* à un prix exorbitant que d'en trouver un qui vous rachète l'action *3Com* au-dessus de sa valeur fondamentale.



Gelées de Carême

HERVÉ THIS

Par crainte du prion, les consommateurs délaissent les gélatines de mammifères. Ils pourraient utiliser les gelées de poissons... d'eaux chaudes!

Bien que la gélatine ne fasse pas partie des matériaux déclarés à risque par les agences de sécurité alimentaire, bien que la gélatine résulte d'opérations d'extraction qui suppriment les risques (traitement par des bases ou des acides), bien que les producteurs de gélatine aient montré que leurs gélatines n'étaient pas infectieuses, le public n'en croit rien : il redoute la gélatine de mammifères et cherche d'autres molécules gélifiantes pour ses gels, gelées, aspics ou bavarois. À l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de Paris (ESPCI), Madeleine Djabourov, Christine Joly-Duhamel et Dominique Hellio ont étudié la gélification des gélatines de poisson et exploré les relations entre la température de gélification de ces gélatines et la température de l'eau où vivent les poissons.

Les aspics sont sans doute des plats aussi anciens que la cuisson de viande dans l'eau : chauffé à plus de 55 °C, le tissu collagénique qui est présent autour des fibres musculaires, dans les cartilages et dans les peaux, se dissocie ; initialement sous la forme de triples hélices, les molécules de collagène qui constituent ce tissu se séparent et se dispersent dans l'eau, prenant alors le nom de gélatine. Puis, quand les solutions contenant les molécules de gélatine refroidissent, les molécules se réassocient par les extrémités, formant des segments de triples hélices ; par assemblage de brins, grâce à des liaisons faibles, nommées liaisons hydrogène, entre un atome d'hydrogène d'une molécule de gélatine et un atome d'oxygène d'une autre molécule, un réseau à trois dimensions s'établit, piégeant les molécules d'eau et les composés dissous dans les mailles du réseau. La structure formée, où l'eau est piégée dans un solide, est ce que la physico-chimie dénomme un gel. Éliminons une interrogation : la gelée de poisson a la même absence de goût que la gelée de viande si l'extraction est bien faite !

En pratique, la préparation est simple : le bouillon où cuit longtemps une viande,

gélifie quand il refroidit. D'où la question qui doit être posée en temps de crainte alimentaire : si le cuisinier craint la gélatine, pourquoi boit-il du bouillon qui donne la gélatine ? L'analyse montre que c'est la gélatine inconnue, préparée par l'industrie, qui inquiète, malgré les études qui ont montré l'absence d'infectivité des gélatines issues de bovins contaminés.

LE POISSON VOUS DIS-JE !

Que la crainte soit justifiée ou non, les faits sont là : le public délaisse les gelées de mammifères, mais il serait prêt à utiliser des gélatines de poisson. D'où la question : quels gels ces gélatines forment-elles ? Gélifient-elles de la même façon que les gélatines de mammifère ?

Avec ses collègues, M. Djabourov a exploré ces questions dans le cadre d'un programme européen de recherche sur la valorisation des coproduits de la pêche. On s'attendait à ce que les gélatines de poissons diffèrent de celles des mammifères, car les poissons ne sont pas homéothermes : vivant dans des environnements plus variés, ils devaient présenter plus de biodiversité. En 1956, par exemple, le chimiste suédois K. Gustavson avait observé que la température de dénaturation des collagènes (température de dissociation du collagène et formation de molécules isolées qui en résulte) augmentait avec la température des eaux où vivent les poissons.

Puis, en 1971, les chimistes américains W. Harrington et N. Rao avaient exploré la relation entre la température de gélification des collagènes et les variations de la composition en acides aminés de ces protéines : essentiellement la proline et l'hydroxyproline (une molécule de collagène est composée d'un millier d'acides aminés, environ). Ils ont découvert que la quantité d'hydroxyproline dans la séquence diffère selon les collagènes.

Au total, toutes ces études montraient qu'il faudrait sans doute comparer les gélatines extraites de poissons d'eaux froides, d'eaux chaudes, d'eaux douces

et d'eaux salées. Les peaux de ces divers poissons ont donc été lavées, puis le collagène a été extrait à l'acide acétique ; après purification par centrifugation, le collagène a été précipité au sel.

Grâce aux études effectuées depuis plusieurs décennies sur les gélatines de bovins, l'équipe de l'ESPCI savait que les gels de gélatine atteignent très lentement l'équilibre : les molécules de gélatine mettent des temps variables à s'associer en réseaux, selon l'écart entre la température ambiante et la température de gélification, mais toujours très longs (plus de quatre heures). Ces évolutions sont suivies par polarimétrie : la rotation de la lumière polarisée augmente avec la formation de segments de triples hélices. Les physico-chimistes ont déterminé les températures de gélification de gélatines de divers poissons : alors que les gélatines de bœuf et de porc gélifient à la température de 36 °C, celle de thon gélifie à seulement 29 °C, celle de sole à 28 °C, et celle de morue à 15 °C. Ainsi était confirmé le pressentiment que la température de gélification dépendrait de la température du milieu où vivent les poissons : la morue notamment est bien un poisson d'eaux froides ! D'autre part, les physico-chimistes ont montré que la formation de triples hélices commence à des températures différentes selon les collagènes, avec un ordre qui correspond à celui des températures de fusion.

Ces résultats, qui intéressent l'industrie, ont évidemment des conséquences culinaires importantes : un gel qui fond à température inférieure est, ne l'oublions pas, une gelée qui tient moins bien au réchauffement en cuisine. De sorte que les cuisiniers ainsi renseignés seront avisés d'utiliser plutôt des gélatines extraites de poissons d'eaux chaudes ou de continuer à utiliser de bonnes vieilles gélatines de bovins.

Rendez-vous de France Info et de Pour la Science, le 26 décembre, avec la chronique Info Sciences de M.-O. Monchicourt.