

|                                                                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Bloc-notes</b> de Didier Nordon                                                                                                                                                                   | 4   |
| <b>Point de vue</b><br><i>Le constructivisme</i><br>par Paul Caro                                                                                                                                    | 5   |
| <b>Les impossibles de la finance</b><br>par Christian Walter                                                                                                                                         | 6   |
|  <b>Présence de l'histoire</b><br><i>Turpin, chimiste... et excentrique</i><br>par Georges Bram et Nguyen Trong Anh | 10  |
| <b>Science et gastronomie</b><br><i>Alimentation curative</i>                                                                                                                                        | 13  |
| <b>Jeu-concours : Droites concourantes du triangle</b>                                                                                                                                               | 22  |
| <b>Perspectives scientifiques :</b>                                                                                                                                                                  |     |
| <i>Jupiter visitée</i>                                                                                                                                                                               | 14  |
| <i>La qualité de vie</i>                                                                                                                                                                             | 15  |
| <i>Fond infrarouge</i>                                                                                                                                                                               | 16  |
| <i>L'ecstasy</i>                                                                                                                                                                                     | 17  |
| <i>Poisson-éléphant</i>                                                                                                                                                                              | 20  |
| <i>Les adaptations des Sherpas</i>                                                                                                                                                                   | 21  |
| <i>Écriture ancienne</i>                                                                                                                                                                             | 22  |
| <i>Des intrus d'Amérique</i>                                                                                                                                                                         | 24  |
| <i>Marmottes infanticides</i>                                                                                                                                                                        | 25  |
| <i>La mortalité en Russie</i>                                                                                                                                                                        | 25  |
| <i>Les vraies dents du filtreur</i>                                                                                                                                                                  | 26  |
| <i>«Voir» le noyau</i>                                                                                                                                                                               | 27  |
| <i>Poumon et fluor</i>                                                                                                                                                                               | 27  |
| <b>Savoir technique</b>                                                                                                                                                                              | 28  |
| <i>Sacs gonflables</i> , par Robert Resh                                                                                                                                                             |     |
|  <b>Logique et calcul</b><br><i>Les nombres-univers</i><br>par Jean-Paul Delahaye                                 | 104 |
| <b>L'image du mois</b><br><i>Mère punaise</i> , par Bernard Chaubet                                                                                                                                  | 108 |
|  <b>Analyses de livres</b>                                                                                        | 110 |
| - <i>À la découverte des réserves naturelles de France</i> , par Françoise Mosse                                                                                                                     |     |
| - <i>The Same and not the Same</i> , par Roald Hoffmann                                                                                                                                              |     |
| - <i>Les créationnistes</i> , par Jacques Arnould                                                                                                                                                    |     |

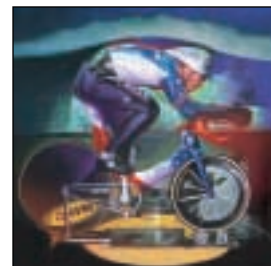
## DOSSIER SPORT ET SCIENCE

### L'entraînement des athlètes olympiques

40

par Jay Kearney

Les sciences du sport permettent aux athlètes de haut niveau d'améliorer leurs performances en développant leurs qualités physiologiques et mentales



|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| <b>Le mythe olympique</b>            | 34 |
| <b>Le saut à la perche</b>           | 36 |
| <b>Le mouvement d'escalade</b>       | 37 |
| <b>Imaginer la performance</b>       | 38 |
| <b>La bicyclette idéale</b>          | 48 |
| <b>Dopage à la testostérone</b>      | 50 |
| <b>Oxygène dopant</b>                | 51 |
| <b>Un monde à part</b>               | 52 |
| <b>Le public du football</b>         | 53 |
| <b>L'urbanisation de la montagne</b> | 54 |

### Les bélugas du Saint-Laurent

56

par Pierre Béland

Une loi protège ces baleines blanches contre les chasseurs, mais la pollution industrielle les menace d'extinction.

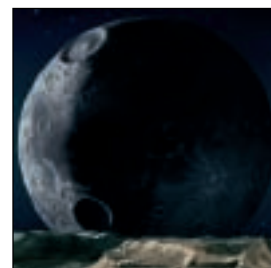


### La ceinture de Kuiper

64

par Jane Luu  
et David Jewitt

Au-delà des orbites de Pluton et de Neptune, un anneau de petits objets ceinture le Système solaire.

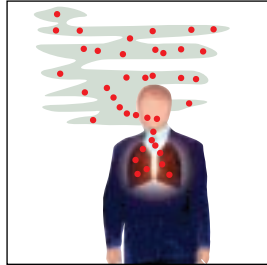


## La prédisposition au cancer

72

par Frederica Perera

Afin de prévenir l'apparition de la maladie, les spécialistes d'épidémiologie moléculaire tentent de dépister les personnes les plus susceptibles d'avoir un cancer ; pour ce faire, ils recherchent les signes biologiques d'une telle prédisposition.

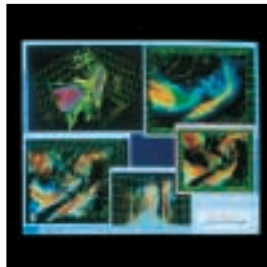


## Programmes pour réseaux fiables

80

par Kenneth Birman  
et Robbert van Renesse

Les techniques qui permettent aux réseaux d'ordinateurs de se réorganiser peuvent rétablir le fonctionnement d'un réseau quand une partie de celui-ci tombe en panne.

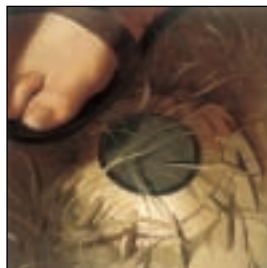


## L'horreur des mines antipersonnel

88

par Gino Stada

Les mines antipersonnel tuent ou mutilent 26 000 personnes par an, surtout des civils et des enfants. Leur interdiction est urgente.



## La technique des rameurs de la Grèce ancienne

92

par John Hale

Les Athéniens s'imposèrent en Méditerranée parce qu'ils ramaient, assis sur un coussin. Leur technique, longtemps oubliée, a été réinventée par les rameurs de compétition au XIX<sup>e</sup> siècle.



## Science et sports...

Ces mois, l'amateur de sport est comblé avec Roland Garros, le championnat d'Europe de football, le Tour de France et les Jeux olympiques. Pour parfaire sa satisfaction, nous publions un dossier sur la vue scientifique de la pratique sportive (voir *Sport et Science : une alliance contre nature?*, pages 32 à 54). Ce choix peut surprendre, car les deux disciplines entretiennent des rapports lointains et ambigus.

La physique explique le mouvement, c'est sa fonction, mais les coureurs pratiquent les modalités cinématiques de leurs courses depuis quelques millions d'années sans approfondir le rôle des maelströms aériens qui ralentissent leurs progressions...

Les spécialistes du chaos pourraient expliquer les scores des équipes de football en arguant que la dynamique des matchs est sensible aux conditions initiales. Dans la même veine, quel entraîneur érudit oserait-il prétendre que la glorieuse incertitude du sport dépend du principe quantique découvert par Heisenberg?

Le darwinisme sportif reste une discipline balbutiante, et pourtant le confort matériel des sportifs de haut niveau pourrait augmenter leur survie et leur faculté reproductrice. En fouillant bien, la raison de certains exercices pénibles serait élucidée : la motivation des exploits des leveurs de fontes ne seraient-ils pas le désir de séduire et de maîtriser les appâts enveloppés et pondéreux des lanceuses de poids?

Qui dit exercice de force, pense aussitôt dopage. Dans ce domaine, le sport est frappé d'ostracisme : un athlète convaincu de dopage voit ses records invalidés ; un physicien qui découvre une loi naturelle n'est pas soumis à un contrôle. Le théorème de Fermat serait-il invalidé si, pour accompagner son effort, Andrew Wiles avait abusé de l'érythropoïétine exogène?

En revanche, les vents de l'hyperbole soufflent plus du côté des commentateurs sportifs que chez les vulgarisateurs scientifiques : l'envolée du sprinter est plus souvent qualifiée de géniale que les réussites du prix Nobel de chimie... Là encore la science révèle sa faiblesse et une trop grande modestie.

Philippe BOULANGER

## Jeux de pistes

**Q**ue signifie, dans un article de recherche, l'expression «telle piste semble prometteuse»? Elle signifie : «cette piste n'a rien donné». Jamais en effet un chercheur n'aurait l'inconscience de publier une idée sans avoir tenté de l'exploiter. Cela reviendrait à donner des armes à l'adversaire pour se faire battre de vitesse par lui.

Conseil aux chercheurs néophytes : ne vous lancez jamais sur une piste présentée comme prometteuse !

## Souvent intellectuel varie

**V**oici 10 ou 20 ans, les observateurs notaient que la radio et la télévision tendent à normaliser le langage. Ils expliquaient ce phénomène par un mécanisme psychologique évident : jusqu'au fin fond des campagnes, chacun veut parler «aussi bien» que ceux qui s'expriment sur les ondes nationales.

Aujourd'hui, les mêmes observateurs, ou leurs émules, notent que les particularismes langagiers et les accents régionaux sont loin de s'atténuer. Et ils expliquent ce phénomène par un mécanisme psychologique évident : face à une télévision trop uniforme, chacun veut d'autant plus réaffirmer son identité locale.

Ne nous moquons pas. Pas plus que nous ne nous moquons des grands couturiers. D'une année à l'autre, ces derniers passent de la robe ample à la mini-jupe, et inversement. Est-ce leur faute si la beauté apparaît tantôt en se cachant, tantôt en s'exhibant? Quant à nous, il nous suffit d'imiter les grands couturiers pour avoir l'air beaux. C'est merveilleux !

## Ach so, dit-il en portugais

**À** chaque langue son génie propre : traduire est un exercice infiniment difficile, quasi impossible. Entre le français et l'anglais, par exemple. Le français, ayant pour idéal la clarté, vise le mot juste, celui qui dit exactement ce que l'on veut dire. L'anglais, au contraire, recherche toujours le mot, la phrase aussi ambigus que possible. Le mot juste en anglais est le mot qui n'est pas juste.

Cette dernière phrase, prise en soi, a déjà de quoi donner le vertige, un de ces vertiges comme les logiciens aiment à en connaître de temps à autre. D'autant plus qu'elle a été prononcée au cours d'une conférence par un Anglais, et que cet Anglais s'exprimait en français ! Interpréter ladite phrase devient alors plus étourdissant encore qu'ausculter un paradoxe logique. À elle seule, elle vaut ces systèmes de miroirs parallèles où, à force d'être renvoyé d'une image à une autre, on se croit en mesure d'atteindre l'infini actuel ! (Peter Brook, *Le diable c'est l'ennui*, Actes Sud-Papiers, 1991.)

Les penseurs font pour les esprits ce que les couturiers font pour les corps : ils les habillent. Est-ce leur faute si la vérité, aussi fuyante que la beauté, apparaît tantôt dans une théorie, tantôt dans son contraire? Il serait injuste d'exiger des penseurs qu'ils la saisissent. Demandons-leur simplement des théories, que nous n'avons qu'à répéter après eux.

## L'obsession du concept

**L**es amateurs se souviennent du personnage de Labiche qui, obsédé d'antiquité, flaire du romain partout, jusque dans le tesson de la cruche cassée par un domestique et hâtivement enterrée au fond du jardin. «Cet homme-là trouverait du romain dans une allumette chimique !»

Un nouveau type comique a vu le jour : l'obsédé du concept. Ce personnage voit du concept partout. Il en voit dans la propagande, laquelle est un combat conceptuel, puisqu'elle est une tentative d'ébranler les bases axiomatiques d'un adversaire. Il en voit dans le fait de lire l'heure, puisque c'est calculer modulo 12. Il en voit dans le fait de voyager au moins cher et non au plus court, car, grâce aux mathématiques, il sait que cela revient à suivre une géodésique non euclidienne. La lecture d'un roman policier elle-même est conceptuelle, car sa compréhension nécessite pas mal d'outils théoriques.

Ce personnage n'est pas une caricature littéraire de ceux qui suivent les modes intellectuelles et artistiques. N'est pas Labiche qui veut. Ces réflexions se veulent sérieuses. Leur auteur – on s'en serait douté, hélas – est mathématicien. Jugeant le concept maltraité par l'école, il en entreprend la défense (Pierre Schapira, *Défense du conceptuel*, Le Monde, 26 avril 1996).

Pauvre concept ! Encore un qui pourrait dire : «Mon Dieu, gardez-moi de mes amis !» Personnifiant ainsi les dégâts causés par le culte du concept, notre auteur tire contre son camp et apporte de l'eau au moulin de ceux qui prônent un retour au «concret». Au fait, comment s'appelle le concept sous-jacent au geste du lecteur qui, lisant une telle prose, se tapote l'index contre la tempe ?

## La lumière noire

**O**lbers se demandait pourquoi le ciel nocturne est noir, alors qu'une infinité d'étoiles conjuguent leurs lumières et devraient l'éclairer. On peut, de même, se demander pourquoi, depuis le temps que paraissent des articles «réalisant une percée spectaculaire», le champ de la pensée n'est pas devenu aussi éblouissant que le Soleil.

Peut-être ce second paradoxe a-t-il une explication voisine de celle du premier. Il n'est pas de percée sans gravats, pas de création d'étoiles sans matière sombre associée. Comme les étoiles qui naissent et s'éloignent de nous à la vitesse d'expansion de l'univers, les articles qui font des percées accumulent les gravats, c'est-à-dire des difficultés nouvelles, à travers lesquelles, à nouveau, il faut faire des percées, engendrant de nouveaux gravats. Chaque article emporte avec lui la parcelle de lumière qu'il crée, et le ciel infini du savoir reste noir.

## Décourageant

**«C'**est à force d'étudier l'homme que nous nous sommes mis hors d'état de le connaître.» Le pessimisme de Rousseau est-il excessif? Pas sûr. Le savoir semble avoir une fâcheuse tendance à s'interposer entre le monde et celui qui l'étudie : on finit par étudier une théorie pour elle-même, et oublier l'objet que cette théorie tente de décrire.

La discussion reste ouverte. Mais un point ne souffre pas discussion : la déloyauté qu'il y a à afficher cette citation là où je l'ai vue, c'est-à-dire dans le hall d'entrée, en bas de la bibliothèque Sainte-Geneviève. La jeunesse studieuse est ainsi contrainte de passer devant une affiche signifiant : «Montez étudier, les petits, mais plus vous le ferez, plus vous vous éloignerez de votre but.» C'est ce qu'on appelle ajouter l'injure à la blessure.

# Le mauvais procès des constructivistes

PAUL CARO

**L**e 22 avril 1996, la revue *Chemical and Engineering News* publie un éditorial intitulé *Le cancer de l'anti-science*, où Allen Bard dénonce les attaques actuelles contre la science. Ces attaques se déploient, d'un côté, sur le front intellectuel, philosophique, historique, politique, sociologique et, de l'autre, sur le front médiatique et populaire : celui des parasciences et du paranormal. A. Bard exhorte ses collègues et les institutions professionnelles à réagir contre une situation qui hypothèque l'avenir de la science. Il accuse le «postmodernisme» d'être responsable de l'image dégradée de la science.

Pour les Américains, le postmodernisme est essentiellement la philosophie française contemporaine, celle des Derrida, Deleuze, Lyotard, Foucault, etc. dont l'influence dans les universités américaines est considérable. On reproche au postmodernisme un éclectisme systématique, de mettre tout sur le même plan, de traiter à égalité les différentes approches de savoir, rationnelles ou non. Pour le postmodernisme, la science serait comme un moyen comme les autres, équivalent aux autres, d'atteindre la vérité ; elle ne pourrait donc revendiquer un statut particulier.

En Europe, le constructivisme, plutôt que le postmodernisme, met directement en cause le système scientifique. «Constructivisme» est un terme ambigu, parce qu'il est utilisé dans des acceptions très différentes. En théorie de l'éducation, il désigne une approche pédagogique où l'étudiant choisit lui-même son chemin et apprend d'une manière interactive, un mode d'apprentissage bien adapté aux réseaux informatiques. Pour la philosophie scientifique, c'est une méthode qui engendre des concepts et des propositions mathématiques d'une manière «génétique», à partir de propositions et de concepts élémentaires ; développée dès 1924 par le Cercle de Vienne, il s'agit de logique mathématique.

Les constructivismes ici visés sont les épistémologies qui contestent, à des degrés divers, le principe de causalité, la logique du raisonnement, et son usage pour l'interprétation des expériences. L'idée de base est que la croyance dans une méthode scientifique unique, valable

dans tous les domaines, est une illusion, un rêve. La confiance dans la science serait du domaine de la foi.

## LA SCIENCE N'EST PAS LA VULGARISATION

En apparence, le débat sur l'épistémologie est technique, bourré de références croisées, orné de tout l'apparat universitaire classique. En fait, beaucoup des ouvrages cités dans l'analyse constructiviste de la production scientifique sont des ouvrages destinés au grand public. Ceux-ci décrivent des recherches de pointe, à la mode, présentées comme ayant des implications métaphysiques ou philosophiques considérables. Des questions intéressantes certes, mais marginales par rapport aux travaux de la grande majorité des chercheurs. Réduire la science à ces questions bien connues du public et des médias assure automatiquement une audience aux épistémologues constructivistes.

Le langage de la science est hermétique. La vulgarisation informe utilement le public, mais il s'agit généralement de sujets qui peuvent se «romancer», soit que le chercheur puisse être présenté comme un héros, soit que sa recherche se prête à l'exposition de récit de création, soit que le décor de sa recherche soit mystérieux. Bref, la vulgarisation scientifique est un genre littéraire.

Les constructivistes exploitent un système de vulgarisation qui vise la séduction sociale en présentant le chercheur, le savant, comme un intermédiaire entre le monde quotidien du public et le monde supérieur du savoir. Ils se placent donc dans un cadre dominé par l'argument d'autorité. Pour démolir le principe de causalité, ils s'appuient sur ces textes écrits pour le grand public par des savants célèbres et titrés. Ceux-ci ont du succès parce qu'ils manipulent un discours qui exploite un vocabulaire de nature poétique (fractales, chaos, attracteur étrange, trou noir, complexité...). Ces récits sont construits sur des archétypes mythiques qui permettent de faire passer, à travers des spécialités un peu étroites, d'authentiques et excellentes leçons de science.

Sur cette base déformée, les constructivistes fabriquent un autre récit, où la

science et ses acteurs sont vilipendés. Dans certains ouvrages constructivistes, tel *L'invention de la réalité*, sous la direction de P. Watzlawick (éditions du Seuil), on trouve des attaques hargneuses contre la science et la technique, accusées «d'ôter toute signification à l'homme et à la civilisation». Ce discours n'est pas éloigné des positions anti-humanistes de l'écologie dure, qui refuse à l'homme la place qu'il se serait abusivement octroyée au centre du monde ; il est aussi dans la ligne du fameux manifeste d'*Unabomber*, terroriste américain récemment arrêté, et on le retrouve dans de nombreux écrits plus policés, tels ceux de Jacques Ellul. La communauté scientifique est généralement déroutée par ces attaques haineuses, passionnelles, auxquelles il est difficile d'opposer des raisonnements... qui ne sont pas entendus.

La tentation de répondre à la passion par la passion est grande : dans les colloques, les chercheurs et universitaires qui tentent de s'opposer à la montée du constructivisme en arrivent à suggérer qu'il est à l'épistémologie ce que le nazisme est à la politique et, peut-être, partie de celle-ci.

Le sentiment qu'est venu le temps du pluralisme, de la diversité des approches, autorise nos constructivistes à s'étonner que «la mémoire de l'eau ne puisse constituer un thème fort légitime de recherche fondamentale» (J. -L. Le Moigne, in *Penser le futur*, PSA éditeur). Et de s'indigner que les institutions publiques de recherche ne veulent pas «courir le risque». La «mémoire de l'eau», une affaire proposée par Giorgio Piccardi, un savant italien, dans les années 1950, est typiquement un thème mythique classique qui n'a aucune réalité, ce qui est facile à démontrer : la communauté scientifique internationale, pourtant friande de nouveautés, l'ignore complètement. C'est un exemple de la manière dont les constructivistes, plus sensibles au «médias-tique qu'au scientifique», mettent tout ce qui paraît «scientifique» sur le même plan, sans esprit critique.

Les communautés scientifiques et techniques devraient combattre les arguments populistes des constructivistes. Je ne crois pas que l'enseignement des sciences puisse, aujourd'hui, redresser rapidement une image du monde scientifique et technique qui se dégrade. La montée des ignorances et des superstitions est l'un des problèmes majeurs de notre temps, et une menace.

**Paul Caro est délégué aux affaires scientifiques de la Cité des sciences et de l'industrie, membre correspondant de l'Académie des sciences.**

# Les impossibles de la finance

CHRISTIAN WALTER

*Les fortes fluctuations boursières, krachs et bulles spéculatives, sont mieux modélisées par de nouvelles formes de hasard qui laissent plus de place aux décisions humaines singulières.*

**P**ouvons-nous préserver notre argent contre l'inflation ? Serait-ce impossible, car, comme le courant électrique, le pouvoir d'achat ne peut se stocker ? L'argent se dévalue, et nous cherchons à placer notre épargne à des taux d'intérêt, variables avec le temps.

Il n'en a pas toujours été ainsi. Avant la Première Guerre mondiale, la situation de la «rente» ou des parités monétaires était plus stable, au point que l'on fabriquait des règles rigides avec des graduations fixes pour calculer les parités de change. Cette constance a été un accident de l'histoire, pourtant, l'idée d'une capitalisation régulière à un taux d'intérêt constant a toujours fait rêver.

## LA CAPITALISATION UTOPIQUE

Peut-on capitaliser à l'infini ? On connaît la métaphore du franc placé à l'époque de Vercingétorix, qui aurait si bien fructifié qu'il représenterait aujourd'hui la valeur marchande des réserves d'or mondiales ou même plus. Les enfants d'aujourd'hui peuvent regretter l'imprévoyance de leurs aïeux : que n'ont-ils placé un franc à l'époque ! Ce regret peut être tempéré par le fait que les héritiers de l'ancêtre prévoyant devraient partager leur richesse avec beaucoup de descendants...

Le siècle des Lumières s'est beaucoup intéressé à la mathématique appliquée et à l'arithmétique sociale. On commençait à étudier les probabilités et les statistiques pour les appliquer à la finance et à l'assurance. De nombreux textes examinent les activités humaines pour y chercher des certitudes de même nature que dans les sciences de la nature. En 1785, un futur guillotiné, Mathon de la Cour écrit une utopie actuarielle : *Le songe d'un*

*actuaire*, qui concentre les courants de la pensée des Lumières en matière financière et s'achève dans une vision cosmique.

Dans ce songe, le héros, Fortuné Ricard, maître d'arithmétique, établit un testament décrivant l'utilisation future de 5 sommes de 100 livres au cours des six prochains siècles. Après un siècle, la première somme de 100 livres est portée à plus de 13 000 livres et Mathon de la Cour propose de l'utiliser pour financer des prix portant sur des dissertations théologiques.

Après deux siècles, la seconde somme de 100 livres a produit, calcule Mathon, 1 700 000 livres. Là il propose de créer 90 prix de 10 000 livres chacun, prix qui seront décernés chaque année par différentes académies du royaume, 15 prix pour les actions vertueuses – on retrouve les idées des Lumières – 15 pour les ouvrages de sciences et de littérature, 10 ceux d'arithmétique et de calcul, 10 pour les livres d'agriculture, etc.

Trois cent ans après, la troisième somme a produit 226 millions : une partie de ce montant est utilisée pour fonder 500 caisses patriotiques de prêts gratuits (!) et l'autre pour fonder 12 musées dans les plus grandes villes de France.

Au quatrième siècle après le dépôt, les intérêts exponentiels de la quatrième somme sont de 30 milliards et servent à construire 100 villes «de 150 000 âmes chacune», villes dans les zones les plus agréables qu'on pourra trouver en France et Mathon explique où trouver les lieux correspondants. Au cinquième siècle, les intérêts sont consacrés à payer la dette nationale de la France... et de l'Angleterre ! Trente milliards constituent des fonds de rente. Mathon de la Cour s'arrête au bout de six siècles, car il ne sait plus quoi faire de son argent...

## ACTIONS, OBLIGATIONS ET CAISSE D'ÉPARGNE

Rêve d'actuaire au siècle des Lumières ! Examinons une période plus courte où les données sont chiffrées : de 1950 à aujourd'hui, la rentabilité du marché des actions de Paris a été de 6,66 pour cent net d'inflation. Quiconque aurait investi 100 francs il y a 45 ans sur un portefeuille d'actions posséderait aujourd'hui un montant qui représenterait un taux de 6,66 pour cent net d'inflation capitalisé annuellement. Les obligations rapportent 3,97 pour cent net d'inflation, tandis que les placements sur livrets de caisse d'épargne puis sur Sicav monétaire rapportent 0,09 pour cent net.

Sur de longues durées, des catastrophes détruisent les richesses, et sur des périodes moyennement longues, les fluctuations sont notables. La rentabilité certaine est impossible puisque les taux d'intérêt fluctuent : d'où une interrogation sur le risque des placements financiers.

En finance, le risque d'un investissement est la possibilité de ne pas obtenir la rentabilité espérée. On suppose que plus grande est la rentabilité espérée, plus importantes seront les fluctuations, donc le risque. Ainsi, en 1953, la performance brute du marché des actions a été de 26 pour cent, en 1963, de -15 pour cent, en 1978, de 55 pour cent, en 1987, de -24 pour cent. *Fluctuat nec mergitur*.

On caractérise les choix d'investissements par les espérances de gain et les risques associés. Pour ce faire, on détermine statistiquement deux paramètres, la moyenne des rentabilités successives, et leur écart-type (écart-type dénommé, dans le jargon des marchés financiers, la volatilité). Si la rentabilité espérée est de 8 pour cent, et la volatilité de 4 pour cent, il y a 66 pour cent de chance d'avoir une rentabilité réelle égale à  $8 \pm 4$  pour cent, et 95 pour cent de chance d'avoir  $8 \pm 7,84$  pour cent. La parabole de la volatilité enveloppe les valeurs possibles de la performance du portefeuille. Plus on accepte de prendre de risque, plus cette prise de risque se traduit par une volatilité élevée, qui modifie la forme de la parabole. Ces différences de rendement et de risque permettent les échanges, certains préférant la rentabilité et le risque, d'autres choisissant les placements sûrs et moins rentables.

La volatilité annuelle des marchés d'actions est égale à 25 pour cent, celle des obligations françaises de 7,6 pour cent, celle des placements monétaires pratiquement nulle. Gérants profes-

sionnels et épargnants particuliers, se posent la même question : sachant qu'une capitalisation infinie sans risque est utopique, quelle est la prise de risque acceptable ?

## RISQUE SYSTÉMATIQUE ET RISQUE SPÉCIFIQUE

On distingue deux risques : le risque «systématique» et le «risque spécifique». Le risque «systématique» est celui du marché global : il correspond au choix d'investir sur une place boursière particulière. L'autre risque, le «risque spécifique», traduit le supplément de variabilité qui résulte de l'achat d'une action particulière. Quand on diversifie suffisamment un portefeuille, on annule l'effet du risque spécifique : seul subsiste le risque systématique.

On retrouve, dans cette séparation en deux composantes du risque, la distinction de Gauss entre erreurs accidentelles et erreurs systématiques. Il s'agit donc de savoir si les fluctuations des rentabilités spécifiques des actions participent bien d'une analyse en termes d'erreurs accidentelles.

Si l'on accepte l'hypothèse que les fluctuations des rentabilités boursières suivent une loi normale (la courbe «en cloche» de Gauss), la loi des grands nombres assure que les rentabilités spécifiques du portefeuille se compensent au cours du temps, et se rapprochent de la rentabilité systématique. Sur une longue période, une gestion active du portefeuille serait inutile, puisque ses performances convergeront vers la performance du marché global. Fortune du théorème central limite, désespoir des gérants de portefeuille.

Si la loi de distribution des rentabilités est normale, les investisseurs attendent tranquillement que le temps passe et que le risque s'annule progressive-

ment, en racine carrée du temps pour une loi gaussienne. En réalité, le marché ne fonctionne pas selon la loi normale, et l'on sait aujourd'hui que la rentabilité spécifique peut représenter une importante contribution à la rentabilité totale : les mesures de performance font apparaître, sur de courtes ou moyennes périodes, des résultats significativement différents de ceux auxquels on pouvait s'attendre dans un univers gaussien. On en rend compte en utilisant non pas une loi gaussienne (ou classique) de répartition des fluctuations, mais une loi où la queue de la distribution est plus étirée.

## LA BOURSE N'EST PAS GAUSSIENNE

Remarquons que l'idée que le hasard régit les lois de fluctuations du marché boursier est révolutionnaire. Cette idée a été proposée le 29 mars 1900 par un mathématicien français, Louis Bachelier, qui a soutenu une thèse de doctorat en mathématiques intitulée *Théorie de la spéculation* (devant Henri Poincaré). Dans cette première approche, Bachelier considérait que les fluctuations des valeurs obéissaient à la loi normale de Gauss.

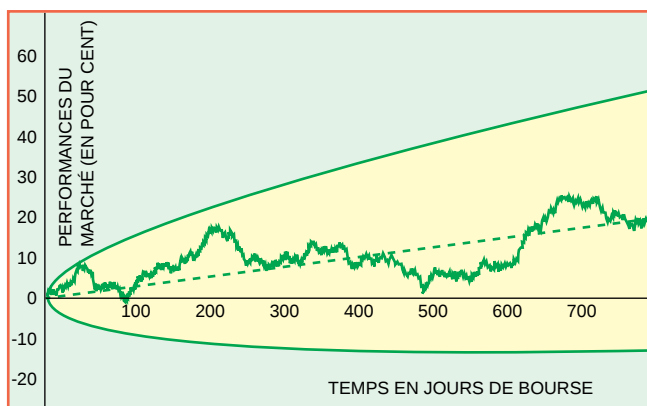
Or nous avons vu que les grandes variations de certaines actions sont plus fréquentes que ne l'indique la loi normale, et qu'elles contribuent notablement à l'évolution globale du marché. Si la bourse est fonction d'aléas très nombreux, ces aléas ne suivent pas, comme l'avait supposé Bachelier, la règle de n'être pas trop dispersés ni trop hétérogènes ; au contraire, les aléas sont parfois fortement hétérogènes. Ainsi, en suivant la démarche, de Bachelier, on est conduit à une loi appelée «stable» de Paul Lévy, qui généralise la loi normale de Gauss aux cas d'aléas

fortement dispersés. Si les fluctuations des rentabilités spécifiques s'apparentent à un «bruit» qui fluctue de manière aléatoire à toutes les échelles de temps autour de l'espérance de rentabilité systématique, ce bruit n'est pas gaussien. Pendant de très longues périodes, plus longues que celles prévues par la loi normale, la rentabilité réelle d'un investissement est bien supérieure (ou inférieure) à l'espérance de rentabilité.

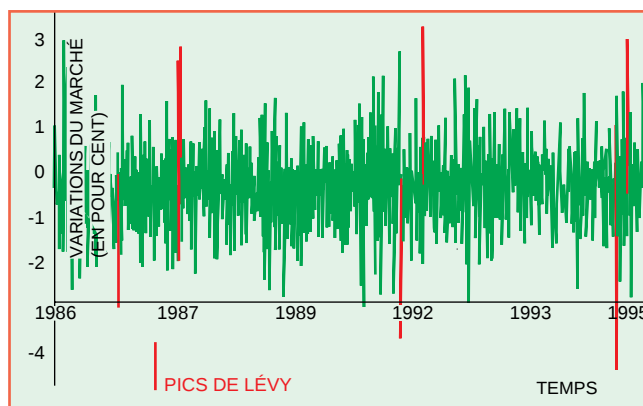
Cette constatation a semblé rouvrir un espace de liberté pour les gestions actives dont les acteurs recherchent des rentabilités spécifiques au moyen de l'analyse financière classique. Quand les fluctuations autour d'une moyenne sont très rapides, toute gestion active est impossible ; c'est le cas des modèles gaussiens de marché, avec vibration de la rentabilité spécifique autour de la rentabilité systématique. Si, au contraire, elles sont amples et lentes, les gestionnaires pourraient intégrer des éléments financiers sur les sociétés et obtenir des performances supérieures à celles du marché. Cette possibilité est-elle opératoire ?

## LA TECTONIQUE DES KRACHS

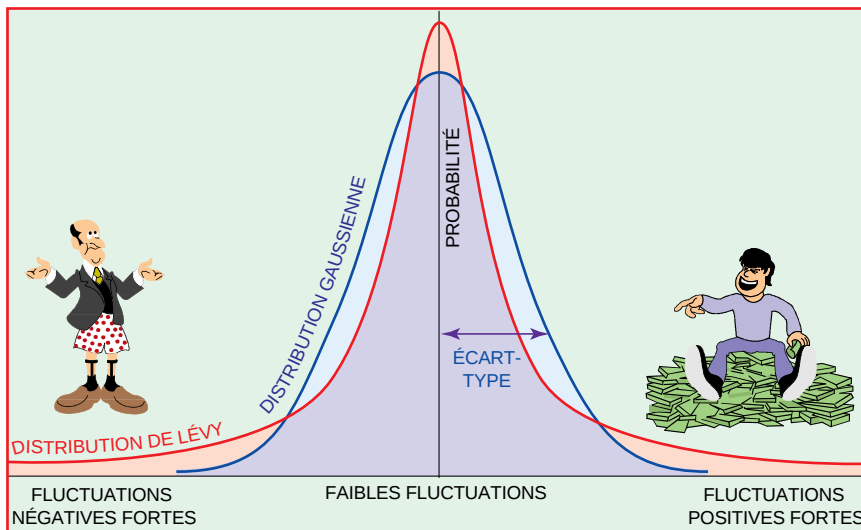
Une meilleure caractérisation des fluctuations, c'est-à-dire une meilleure adéquation à la réalité du marché, permet certainement une meilleure quantification du risque, mais qu'en est-il de la prévisibilité des grandes fluctuations ? Un changement de loi de probabilité permet-il de trouver une certaine forme de prévisibilité ? Après leur avoir fait miroiter un espoir, nous découragerons encore les gestionnaires : le changement de la loi marginale d'un processus aléatoire n'indique rien quant à la prévisibilité de l'événement à venir.



1. Les performances d'un marché gaussien en fonction du temps (en vert) sont encadrées par une parabole de volatilité. La rentabilité moyenne augmente linéairement selon l'axe de la parabole, laquelle correspond à un intervalle de confiance de 95 pour cent.



2. Variations quotidiennes du taux de change dollar-franc sur dix ans, exprimées en pourcentages. On observe un trop grand nombre de grandes valeurs (pics de Lévy, en rouge) par rapport à une variabilité gaussienne : la loi de Lévy rend mieux compte du phénomène.



**3. Les amplitudes des fluctuations boursières en fonction de leurs fréquences sont mieux représentées par une distribution à queue étirée et à flancs maigres, comme la distribution de Lévy, que par une distribution de Gauss. Une plus grande probabilité des fortes variations rend mieux compte des krachs et des bulles spéculatives. On explique ces grandes fluctuations par le comportement mimétique des opérateurs boursiers ou par l'effet d'une nouvelle importante comme par exemple l'annonce de la réunification allemande.**

Observons avec plus de précision les variations des cours, en utilisant l'indice de la bourse des actions américaines, le *Standard & Poor 500* (SP 500). On calcule la variabilité mensuelle des actions sur une période totale de 70 ans : cette rentabilité mensuelle moyenne est de 0,81 pour cent et la volatilité mensuelle de 5,82 pour cent si l'on aligne au mieux les valeurs mesurées sur une courbe de Gauss. Cela veut dire que le SP 500 peut fluctuer entre 0,81 pour cent  $\pm$  5,82 pour cent dans les deux tiers des cas (intervalle de confiance à 66 pour cent). La baisse maximale observée durant cette période est de -35,28 pour cent sur un mois, soit l'équivalent de six écarts-types. Avec une loi normale, la probabilité qu'une baisse mensuelle des cours soit de cette ampleur est égale à un milliardième ! Cela signifie qu'il faudrait attendre 83 millions d'années pour qu'un tel événement se reproduise !

En utilisant une loi stable de Lévy, l'ajustement des paramètres de cette loi au SP 500 donne une probabilité de 0,002, soit une durée de retour d'environ 40 ans. On voit que l'évaluation des krachs avec des lois larges est bien plus réaliste qu'avec des lois de Gauss.

Hélas cette connaissance de la fréquence de survenance des krachs ne dit rien sur la date du prochain. Il faut donc utiliser une autre approche pour répondre à cette question.

L'exemple des tremblements de terre vient à l'esprit. Une rupture sismique s'apparente à l'existence d'un point critique précédé d'émissions acoustiques, les «grincements des failles»,

signature de cette détérioration progressive : le système s'organise vers la rupture. Pourrait-on mettre en évidence en Bourse des équivalents de grincements de failles, préludes à des secousses plus fortes ?

Le remplacement de la loi normale, s'il ne prévoit pas la date du prochain krach, renseigne malgré tout sur la dynamique du marché boursier. Les queues de distribution décrites par des lois de Pareto-Lévy seraient la trace de phénomènes appelés «critiques auto-organisés» qui régiraient les comportements des opérateurs en interaction.

## MODÉLISATION ET PRÉVISIBILITÉ

On essaye de relier un type de comportement à une forme de distribution. Ce faisant, on a redécouvert, depuis une dizaine d'années, les analyses de Keynes sur le mimétisme des opérateurs en situation d'incertitude. En effet, les paniques boursières comme les euphories résultent de processus cumulatifs de baisse ou de hausse des cours. Ces mouvements sont souvent autoréalisateurs.

On relie alors les phénomènes critiques auto-organisés, conduisant aux lois de puissance en physique, et les anticipations autoréférentielles, conduisant aux lois de puissance en finance (krachs et bulles spéculatives).

Les modèles de comportement des opérateurs traitent de l'impact des croyances des agents sur le fonctionnement du système global. Dans les modèles à anticipations rationnelles, on

suppose que les individus prennent leurs décisions de façon autonome, sans interaction.

Aujourd'hui, on imagine plutôt que, dans certaines situations d'incertitude, l'individu n'est plus sûr de son système de prévision personnel, et ce d'autant moins que le climat est incertain. Le gestionnaire de fonds imite alors son voisin. Ce comportement a été observé chez les fonds de pension, dont les gestions présentent des apparences imitatives. Cela n'est pas absurde ni véritablement surprenant. Les gérants de ces fonds, ou les gérants de SICAV, doivent réaliser de bonnes performances en fonction de leurs objectifs. Les classements réguliers des performances des SICAV ou des fonds rappellent en permanence qui fait quoi. Dans l'hypothèse où un gérant n'aurait aucune visibilité sur le marché, et donc aucune confiance dans une quelconque prévision (et en tous cas pas dans la sienne), la meilleure attitude ne consisterait-elle pas à se demander : «Que fait mon voisin ? Si je l'imité et que je me trompe, nous nous tromperons ensemble». La relativité des performances sera alors une protection contre des mauvaises appréciations de gestion. On peut voir dans ce comportement mimétique une conséquence de la concurrence acharnée pour la collecte de l'épargne : l'influence des classements relatifs dans les réallocations de l'épargne entre fonds peut entraîner des pertes d'autonomie chez les gérants qui sont influencés par ceux avec qui ils communiquent.

## TACHES SOLAIRES ET FEUX DE FORÊTS

Comment formaliser ce degré de croyance par l'individu en son propre jugement ? Par des modèles de contagion mimétique. Dans ce cas, les anticipations ne seraient plus rationnelles au sens classique du terme, mais autovalidantes ou imitatives. Plus la contagion augmente, plus les vagues de panique diffusent, plus le mimétisme croît et plus on resserre une tension qui se résorbe dans les krachs. Les variantes de cette approche vont des anticipations autoréalisatrices aux modèles «taches solaires».

Supposons que le marché évolue en fonction des taches solaires. On observe alors les taches du Soleil, et on agit comme si elles avaient une influence... qu'elles ont par voie de conséquence. D'autres approches utilisent des automates cellulaires : la variable étudiée est le nombre d'agents paniqués. La structure temporelle fractale de la panique apparaît nettement, comme manifestation d'un état critique auto-organisé. Des fluctuations importantes correspon-

dent à des contagions d'amas de grande taille : un grand nombre d'opérateurs est concerné. La crise est due simplement à la convergence des anticipations, et non à un événement extérieur au marché, comme une annonce d'un résultat économique. Quand une certaine valeur critique est dépassée, le système bascule. Quand le climat d'incertitude du marché devient trop grand, on arrive à des situations où chacun peut quasi simultanément prendre une position acheteuse ou vendeuse. Il y a alors une polarisation des anticipations, et on dit que le marché *percole*.

La percolation du marché s'analyse avec des modèles de type «feux de forêts». L'existence de vagues de panique laissant derrière elles des espaces vacants, les opérateurs non contaminés étant regroupés en «amas», est analogue à la diffusion des incendies en forêt.

Après un certain temps, la réalité reprend ses droits : le jour où l'on publie le résultat de l'entreprise, le marché revient à la valeur réelle de l'action. Quand la bulle éclate, le saut résultant entre la valeur réelle et la valeur anticipée est trop grand pour être calibré par loi de Gauss : cette loi n'est pas adaptée à la prise en compte des bulles et de leur éclatement.

### UNIFICATION THÉORIQUE DES GRANDES ET DES PETITES FLUCTUATIONS

Benoît Mandelbrot, par ses travaux sur les variations des prix économiques et spéculatifs, a cherché à rendre compte du caractère commun des fluctuations, quelle que soit leur taille. En cela, son approche s'écartait de la théorie classique qui séparait la tendance du bruit. Les deux modèles de B. Mandelbrot (1963 et 1965) ont décrit les grandes fluctuations et les persistance spéculatives haussières ou baissières, au moyen de lois stables de Lévy et de mouvements browniens fractionnaires : les fractales, dont B. Mandelbrot a prédit l'applicabilité aux phénomènes économiques et boursiers. On peut par une formule lapidaire résumer la caractéristique du marché selon B. Mandelbrot : le marché est très calme, sauf quand il bouge beaucoup. B. Mandelbrot suggérait de passer d'une conception des marchés fondée sur l'équilibre et la rationalité, conception issue de la physique classique, à une conception qui donnerait plus d'importance à la turbulence et à l'instabilité : la physique des systèmes complexes.

Les progrès de l'informatique et l'augmentation de la disponibilité de la puissance de calcul, comme de l'ensemble des données disponibles, ont permis de

faire apparaître, grâce aux données de haute fréquence (relevé des cotations heure par heure, minute par minute) des phénomènes qui n'étaient pas observés jusqu'alors, et qui ont validé partiellement les intuitions de B. Mandelbrot : par exemple, des corrélations à longue portée ou des structures discontinues. Il n'en reste pas moins que certains phénomènes ne sont pas encore décrits : par exemple, il n'existe pas de théorie reliant les prix et les volumes de transactions. Les séries chronologiques des prix sont étudiées sans référence à la profondeur et à la liquidité du marché. N'est-ce pas réducteur pour la compréhension des bulles spéculatives ?

### UNE CONTAGION LOGICIELLE ?

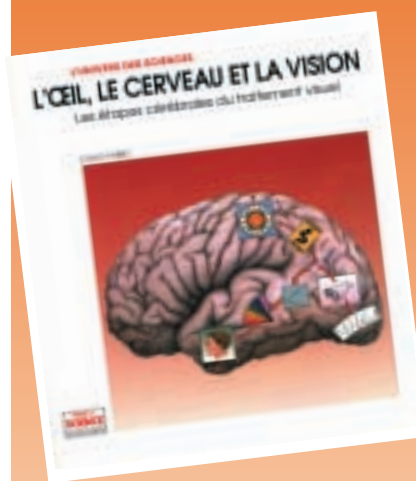
Simultanément, de la même manière que l'informatique permettait une meilleure caractérisation du comportement des marchés boursiers, se sont élevées des voix pour dire que l'informatique était aussi à l'origine des bulles spéculatives qu'elle observait mieux. Il s'agit de la question des programmes automatiques d'achat et de vente de titres, en fonction de filtres de variations données. Les stratégies automatisées ont-elles créé par «contagion logicielle» le krach de 1987 ? Nombre de tests ont porté sur des filtres d'intervention : si un cours a trop monté ou trop baissé par rapport à un niveau hypothétique, un seuil, alors le logiciel, ordonne ou déclenche l'ordre de vente ou d'achat. En fait, ces filtres ne sont pas stables, et aucun automatisme ne peut remplacer l'intuition humaine. B. Mandelbrot a montré en 1965 que les techniques des filtres, dès l'instant où des mécanismes non gaussiens régissent les marchés, étaient voués à l'échec. Aussi, le rôle de l'automatisation des ordres dans les bulles spéculatives n'est pas aussi clair que ses détracteurs le laissaient entendre.

La géométrie fractale de B. Mandelbrot représente-t-elle «l'avenir indépassable de la modernité» financière ? Question à laquelle aucun conjecturiste ou actuaire ne pourrait répondre, tant sont variées les voies actuelles en finance théorique.

**Christian WALTER est actuaire au Crédit Lyonnais, membre agrégé de l'Institut des Actuaire Français et chargé de cours à l'ESSEC.**

**Ce texte est la retranscription du débat enregistré avec Émile Noël au Palais de la Découverte, qui sera diffusé sur France Culture le 3 juillet 1996, à 9 heures.**

## L'UNIVERS DES SCIENCES



### L'ŒIL, LE CERVEAU ET LA VISION

L'œil est un avant-poste du cerveau : lorsque nous regardons une scène, la lumière bombarde, dans notre rétine, plus de 100 millions de cellules photoréceptrices ; celles-ci convertissent l'énergie lumineuse en signaux électriques qui sont envoyés vers les aires visuelles de notre cerveau.

240 pages – 185 F

**Code 1867**

POUR LA  
**SCIENCE**  
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 98

